

ISSN 0032—874X

10 ПРИРОДА

1979



Ежемесячный
популярный
естественнонаучный
журнал
Академии наук СССР

Основан в 1912 году



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. КОБЗАРЬЕВ

Академик
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



— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы. Подробно о программе см.: «Природа», 1979, № 1, с. 28.

На первой странице обложки. Степная дыбка — великан среди кузнечиков (длина его больше десяти сантиметра). См. в номере: Танасийчук В. Н. «Исчезающий кузнечик».

Фото В. Н. Танасийчука.

На четвертой странице обложки. Водопад в каньоне Хавасу (южная часть бассейна Колорадо). См. в номере: Кондратьева Т. И., Горшков С. П. «Бассейн Колорадо становится областью внутреннего стока».

Фото из кн.: С. G. Crampton «Land of Living Rock.» N. Y., 1972.

В НОМЕРЕ

Артюшков Е. В., Шлезингер А. Е., Яншин А. Л. Причины вертикальных движений земной коры	2
Левин В. М., Маев Р. Г. Свет и звук: взаимодействие в среде	11
Добрецов Ю. П., Долгошеин Б. А., Кириллов-Угрюмов В. Г. Мюнклонные атомы	22
Голенецкий С. В., Мазец Е. П. «Венера-11 и -12» исследуют космические γ -всплески	30
Гроте К. Сотрудничество братских академий	37
Шилов А. Е. Металлокомплексный катализ и его место в науке о катализе	44
Арнольд В. И. Теория катастроф	54
Шрейдер Ю. А. Взаимодействие наук и синтез знания	64
 Алексеев В. В., Сапожников В. В. Экспериментальная экосистема — «Этэкос»	70
 Кондратьева Т. И., Горшков С. П. Бассейн Колорадо становится областью внутреннего стока	76
Дьяков В. И. Был ли на Дальнем Востоке бронзовый век?	82
Биджиев Р. А., Сергиенко В. М. Роль планетарных циркуляций в образовании бокситов	89
Памяти Акселя Ивановича Берга	96
НОВОСТИ НАУКИ	88, 98
КРАСНАЯ КНИГА	
 Танасийчук В. Н. Исчезающий кузнечик	117
РЕЦЕНЗИИ	
Терентьев М. В. «За следующим горизонтом человечества...»	118
НОВЫЕ КНИГИ	123
В КОНЦЕ НОМЕРА	
Погодин С. А., Раскин Н. М. Судьба архива Германа Бургаве	125

Причины вертикальных движений земной коры

Е. В. Артюшков, А. Е. Шлезингер, А. Л. Яншин

В последние десятилетия все большее внимание геологи уделяют горизонтальным тектоническим движениям. Новая глобальная тектоника (концепция литосферных плит), согласно которой происходят значительные горизонтальные перемещения земной коры и дрейф континентов, широко завладела умами многих специалистов, работающих в области наук о Земле. Значительно меньше изучают вертикальные тектонические движения, которые практически не рассматриваются новой глобальной тектоникой и не находят в ней объяснения. Вместе с тем внутри литосферных плит именно вертикальные движения имеют доминирующее значение, они создают основные структурные элементы земной коры и рельеф ее поверхности. Лучше всего вертикальные движения изучены на континентах и во внутриматериковых морях. Поэтому в нашей статье речь пойдет именно об этих областях.

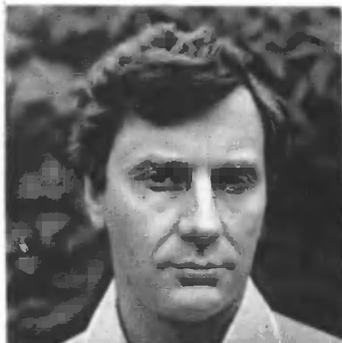
Причину вертикальных движений земной коры невозможно понять без знания строения глубоких земных недр и процессов, которые в них протекают. Основная характерная особенность внутреннего строения Земли — существование жидкого ядра, более плотного, чем окружающая его твердая нижняя мантия. Включения вещества ядра содержатся и в нижней мантии, но здесь они находятся в твердом состоянии. Изотерма плавления этого вещества проходит примерно вдоль границы ядро — мантия. По мере разогрева Земли в результате радиоактивного распада твердые включения вещества ядра в расположенном над ядром слое нижней мантии расплавляются. Это приводит к разрушению скелета породы нижней мантии и дифференциации материала по плотности. Более тяжелое вещество оседает в расплаве и присоединяется к жидкому ядру. После этого остающаяся смесь веществ оказывается легче расположенной

выше породы нижней мантии, которая еще содержит тяжелые включения вещества ядра. В результате конвективной неустойчивости эта смесь — легкий материал внедряется в вышележащие слои мантии.

Наиболее вероятно, что легким материалом, выделившимся за время жизни Земли на границе ядра и мантии, сложен верхний слой Земли примерно в 1000 км, т. е. в первом приближении — верхняя мантия. Расположенный ниже слой — нижняя мантия представляет собой еще не разделенное по плотности вещество Земли.

Подъем легкого материала в нижней мантии происходит, скорее всего, вдоль расположенных на значительном расстоянии друг от друга каналов с пониженной вязкостью. При подъеме легкого материала выделяется большая энергия, что приводит к его значительному дополнительному нагреву. Поэтому в верхнюю мантию легкий материал поступает с более высокой температурой по отношению к окружающим областям, заполненным поднявшимся сюда в предшествующие геологические эпохи и уже успевшим охладиться легким материалом.

Опуская рассмотрение процессов, связанных с движениями в мантии легкого материала, отметим, что над каналами его крупные массы, нагретые до температуры около 1300° С, должны подниматься до глубин 100—200 км. Эта температура примерно на 500° выше температуры вещества, расположенного на таких глубинах в областях, где подъема легкого материала не происходит. Поэтому его внедрение создает температурные неоднородности в верхней части мантии Земли. Поступающий сюда сильно нагретый легкий материал испытывает частичное плавление, сопровождающееся новой дифференциацией по плотности. Его наиболее легкие компонен-



Евгений Викторович Артюшков, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Института физики Земли АН СССР. Занимается проблемами физики твердой Земли. Автор многих работ, посвященных происхождению движений в недрах Земли и на ее поверхности, в том числе монографии: Геодинамика. М., 1979. В «Природе» опубликовал статью «Что приводит в движение земную кору» (1973, № 10). Член редколлегии журнала «Природа».



Александр Ефимович Шлезингер, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Геологического института АН СССР. Специалист в области тектоники платформенных областей, осадочных чехлов морей и океанов. В «Природе» опубликовал статью «Черноморская впадина — глубочайший молодой провал на поверхности Земли» (1978, № 5).



Александр Леонидович Яшин, академик, заместитель директора Института геологии и геофизики Сибирского отделения АН СССР (Новосибирск), заведующий лабораторией региональной тектоники Геологического института АН СССР. Автор фундаментальных работ по геологии молодых платформ. Главный редактор и автор тектонической карты Евразии. Президент Московского общества испытателей природы. Лауреат Государственных премий СССР. В «Природе» опубликовал статью «Как же образуются залежи солей?» (1978, № 7).

ты, всплывая, могут достигать нижней границы земной коры.

В тектонически активных областях непосредственно под корой действительно наблюдаются мощные линзы вещества мантии с сильно пониженными скоростями продольных сейсмических волн (7,2—7,8 км/с) и плотностью 3,1—3,3 г/см³. Это вещество называется аномальной мантией в отличие от относительно холодной нормальной мантии со скоростями 8,1—8,3 км/с и плотностью 3,35 г/см³, обычно расположенной под корой в стабильных областях. Аномальная мантия имеет температуру 1000—1200° С. Например, на западе США под корой мощностью около

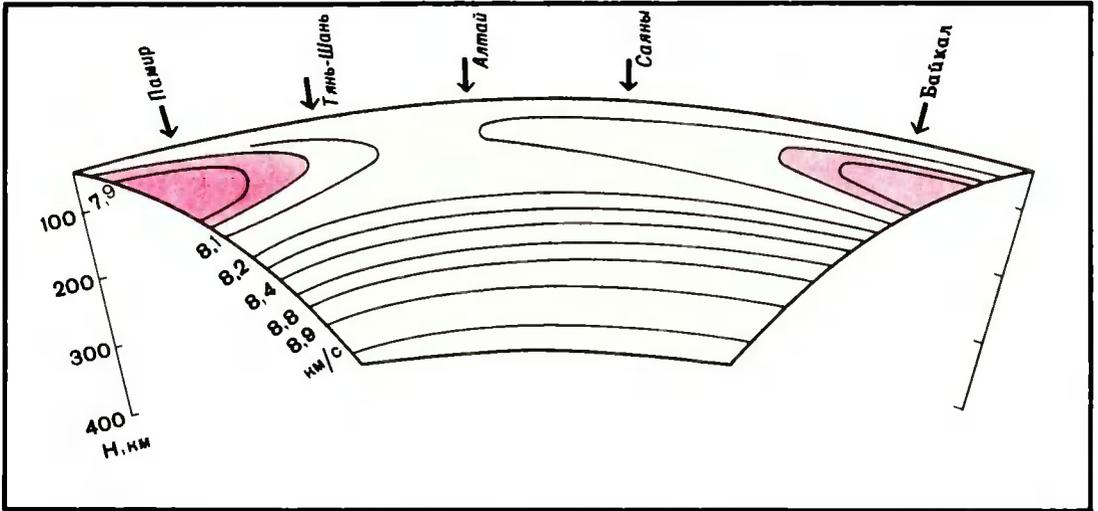
30—40 км находится слой аномальной мантии той же мощности. Крупные массы аномальной мантии расположены и под срединно-океаническими хребтами.

Как мы увидим ниже, с внедрениями легкого материала в верхнюю мантию связана тектоническая активность, проявляющаяся на поверхности Земли. Подъем легкого материала в нижней мантии должен быть прерывистым не только в пространстве, но и во времени. Он должен начинаться только после накопления легкого материала под нижней мантией в достаточно большом количестве. Таким образом можно объяснить существование тектонических циклов — резкую активизацию

тектонических движений с периодом около 200 млн лет.

В верхних слоях Земли, на глубинах в среднем от 100 до 200 км, в слое, названном астеносферой, вязкость резко понижается. Над этим слоем расположен литосферный слой, включающий в холодных стабильных областях кору и верхние, наиболее холодные и вязкие слои мантии. Аномальная мантия, быстро всплывая в астеносфере, подходит к гораздо более вязкой литосфере. Здесь скорость ее под-

ли, легкий материал накапливается, вытесняя находившееся здесь ранее менее нагретое и более плотное вещество астеносферы. Такие участки с повышенной температурой мантии играют роль «ловушек» для легкого материала. Напротив, участки с пониженной температурой мантии соответствуют понижениям подошвы литосферы. Легкий материал при своем движении стремится их обтекать. Такие погруженные участки подошвы литосферы играют роль «антиловушек».



Горизонтальные вариации скоростей продольных волн (цифры на изолиниях) под тектонически активной областью Центральной Азии. Эти вариации, скорее всего, связаны с неоднородным нагревом верхних слоев мантии.

ема резко падает. Аномальная мантия начинает растекаться вдоль нижней границы (подошвы) литосферы.

Мощность литосферы не постоянна. Вязкость мантии на небольших глубинах определяется в основном температурой, которая сильно изменяется в горизонтальном направлении. Поэтому изменяется и мощность литосферы. Она увеличивается под холодными и относительно стабильными платформенными областями до 100 км и резко понижается под сильно нагретыми тектонически активными областями до 20—30 км.

В областях, где подошва литосферы располагается ближе к поверхности Зем-

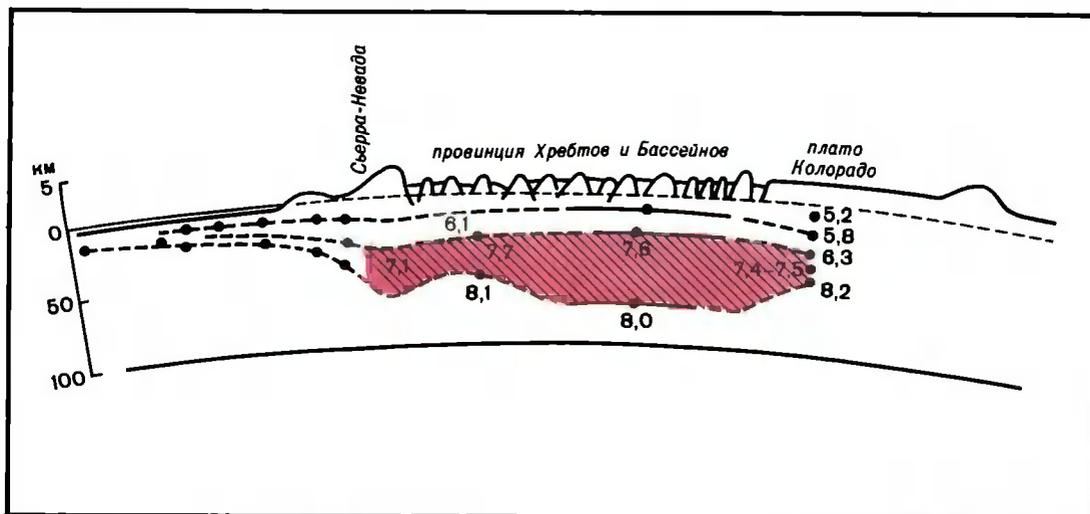
ля, вся континентальная кора или ее основная часть прошла через стадию горообразования, которая характеризуется интенсивной магматической активностью, а следовательно высокими температурами коры и мантии и пониженной мощностью литосферы. Поэтому под горным сооружением обычно существует крупная ловушка легкого мантийного вещества. После окончания горообразовательного процесса крупное поднятие на поверхности Земли сравнительно быстро разрушается. Однако кора и особенно мантия под ним сохраняют повышенную температуру еще в течение очень долгого времени. Как показывают расчеты, для охлаждения слоя до глубины около 100 км, соответствующей границе литосферы в платформенных областях, требуется время в 300—500 млн лет.

Литосфера вместе с аномальной мантией в ловушках плавает на подстилающей ее астеносфере, давление в которой примерно постоянно в горизонтальном

направлении. В период охлаждения материала в области ловушки под бывшим горным сооружением плотность верхних слоев мантии продолжает оставаться пониженной. Поэтому кора над ловушкой оказывается изостатически приподнятой по отношению к окружающей территории, и здесь существует структура типа кристаллического щита платформы. С течением времени температура верхних слоев мантии постепенно падает, а высота ловушки уменьшается. Одновременно возрастает

его потока. Таким образом, однажды образовавшись, ловушка оказывается способной себя поддерживать, захватывая все новые порции аномальной мантии.

Амплитуда поднятий территории над ловушкой определяется количеством и температурой захваченного в нее легкого материала. Если ловушка находится достаточно далеко от области подъема легкого материала, то в нее поступает его сравнительно небольшое количество и новый материал успевает заметно охладить-



Строение коры мантии под западной частью США. Заштрихована аномальная мантия. Цифрами обозначены скорости продольных волн.

плотность мантии и уменьшается высота территории по отношению к окружающим ее областям с холодной литосферой.

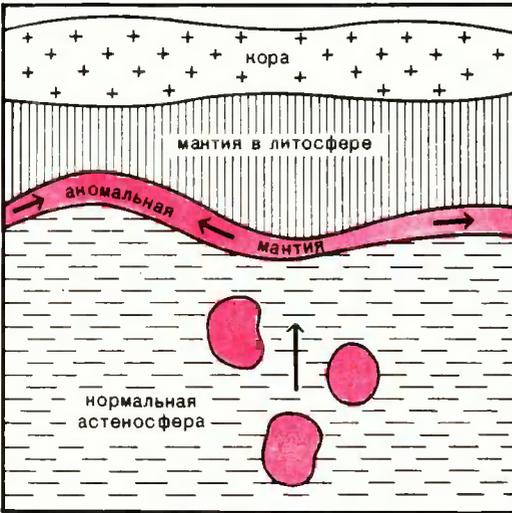
Высота ловушки под щитами соизмерима с мощностью расположенного над ней слоя мантии в литосфере. Поэтому захват в ловушку новых порций горячего материала — аномальной мантии — приводит к значительному прогреву литосферы и сокращению ее мощности на величину порядка высоты ловушки. В следующую эпоху подъема в мантию легкого нагретого материала процесс может повториться, если рассматриваемая ловушка вновь окажется не слишком удаленной (меньше или порядка 1000 км) от вертикального

ся при перетекании вдоль подошвы литосферы. В таких условиях на поверхности Земли поддерживается невысокое поднятие. При последовательном многократном поступлении в ловушку сравнительно небольшого объема легкого материала образуются длительно живущие кристаллические щиты-платформы типа Балтийского или Канадского.

Если структура типа кристаллического щита с крупной ловушкой расположена вблизи области подъема из глубины аномальной мантии, то она захватывает ее сильно нагретой и в большом количестве, что немедленно сопровождается образованием значительного изостатического поднятия. Одновременно начинается интенсивное прогревание вышележащего слоя мантии в литосфере, которое сильно понижает его вязкость. Когда последняя снижается до значения 10^{22} — 10^{23} пауз, то аномальная мантия получает возможность сравнительно быстро, за время 10^6 — 10^7 лет, вытеснить расположенное над

ней более тяжелое вещество мантии за счет конвективной неустойчивости. В результате аномальная мантия подходит вплотную к коре, а вещество мантии, ранее находившееся в литосфере, вытесняется вниз и в стороны, постепенно прогреваясь и приобретая характерную для астеносферы температуру.

Над линзой горячей мантии с температурой 1000—1200° С раздел астеносферы и литосферы сильно поднимается и располагается в пределах земной коры,



Растекание аномальной мантии вдоль подошвы литосферы [стрелками показано направление движения мантии].

поэтому ловушка достигает большой высоты. Это приводит к образованию высокого поднятия, изостатически скомпенсированного мощным слоем легкого материала. Типичным примером может служить указанная выше обширная зона поднятий в западной части Северной Америки. Мощность коры здесь не превышает нормальных для платформенных областей значений, несмотря на то, что абсолютная высота территории в среднем равна 2—2,5 км. Это означает, что практически все поднятие изостатически скомпенсировано слоем аномальной мантии. В ряде районов мощность коры здесь снижается до 30 км и менее, при этом мощность слоя аномаль-

ной мантии соответственно возрастает.

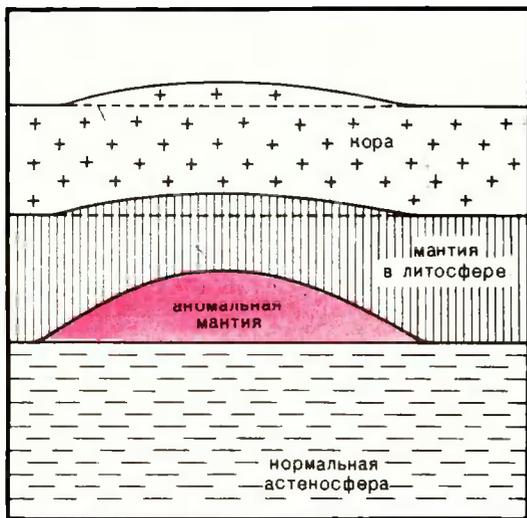
Ряд современных горных сооружений сформировался на платформах в области кристаллических щитов, образовавшихся на месте ранее существовавших здесь горных сооружений. Высота щитов постепенно уменьшается во времени, и иногда они перекрываются небольшим осадочным чехлом. Затем в эпоху оживления восходящих движений некоторые щиты испытывают поднятия, превращаясь в так называемые области тектонической активизации.

Так, например, на месте Тянь-Шаня в палеозое существовали складчатые горные сооружения, формирование которых закончилось около 220 млн лет назад. После сглаживания рельефа здесь существовал щит, к олигоцену (40 млн лет назад) постепенно погружившийся и местами перекрытый осадками мощностью до нескольких сотен метров. Около 25 млн лет назад территория начала подниматься. В плиоценовое и четвертичное время, за последние 5—7 млн лет, здесь в результате преимущественно вертикальных движений сформировался высокогорный рельеф. Таким образом, после прекращения палеозойского горообразовательного процесса под бывшими горами на месте современного Тянь-Шаня сохранялась ловушка, которая была заполнена аномальной мантией в следующую эпоху быстрого подъема легкого материала с границы ядро — мантия. Такие же ловушки существовали и под другими современными областями тектонической активизации.

Горные области могут включать также глубоко погруженные холодные участки с резко повышенной мощностью литосферы. Если подошва литосферы в них оказывается ниже подошвы слоя аномальной мантии под соседними горными областями, то такие участки в поднятие не вовлекаются. К подобным структурам, по-видимому, относятся Ферганская и Джунгарская депрессии. Они испытывают быстрое изостатическое погружение за счет накопления большого количества осадков, сносимых со смежных горных хребтов. Эти участки превращаются в межгорные и предгорные впадины.

Осадочные бассейны на платформах образуются на месте бывших кристаллических щитов. Как отмечалось выше, щиты существуют в приподнятом по отношению к соседним областям положении в связи с периодическим поступлением легкого материала в ловушки на нижней границе литосферы. Если, однако, в какую-то эпо-

ху ловушка оказывается очень далеко от источника легкого материала, то она его совсем не захватывает или захватывает в малых количествах. В таком случае поднятие коры и прогрев литосферы оказываются выраженными в меньшей степени или вообще не происходят. В связи с понижением температуры верхних слоев мантии ловушка уменьшается. Соответственно, в следующий раз, если она и захватывает легкий материал, то уже в меньшем количестве, которого для поддержания



Поднятие литосферы в области кристаллического щита над ловушкой, заполненной аномальной мантией.

высокого стояния поверхности Земли оказывается недостаточно. После этого начинается прогрессирующее уменьшение высоты ловушки, а следовательно увеличение мощности литосферы. Когда на месте бывшей ловушки подошва литосферы прогибается, легкий нагретый материал начинает обтекать ее прогнутый участок. В результате такие структуры остаются все время холодными и поэтому также оказываются самоподдерживающимися.

По мере охлаждения вещества в ловушке ее плотность увеличивается, что приводит к сжатию литосферы и образованию на поверхности Земли депрессии, глубина которой равна величине сжатия

этого слоя. Заполнение депрессии осадками увеличивает нагрузку на литосферу и сопровождается ее изостатическим погружением до глубины, примерно в четыре раза превышающей глубину начальной депрессии. Общая глубина осадочного бассейна при уплотнении аномальной мантии на величину до $0,2-0,3 \text{ г/см}^3$ и высоте ловушки в $20-30 \text{ км}$ может достигнуть $5-8 \text{ км}$.

Согласно современным представлениям, нижний базальтовый геофизический слой коры состоит главным образом из пород основного состава. При низких давлениях или высоких температурах их устойчивому состоянию соответствует группа минералов, образующая габбро с плотностью $2,9-3,0 \text{ г/см}^3$. При повышении давления или понижении температуры устойчивой становится группа минералов, имеющая тот же средний химический состав, но соответствующая другой породе — эглогиту с более высокой плотностью — $3,5-3,6 \text{ г/см}^3$.

Давление в «базальтовом» слое на глубинах в среднем от 20 до 40 км равно $5-11 \text{ кбар}$, а температура в нем $300-500^\circ \text{C}$. В этих условиях стабильными являются близкие к эглогиту породы с высокой плотностью. Однако при таких температурах переход к таким плотным породам идет крайне медленно, за время, равное или превышающее 10^9 лет. Поэтому связанное с ним утяжеление коры растягивается на огромное время.

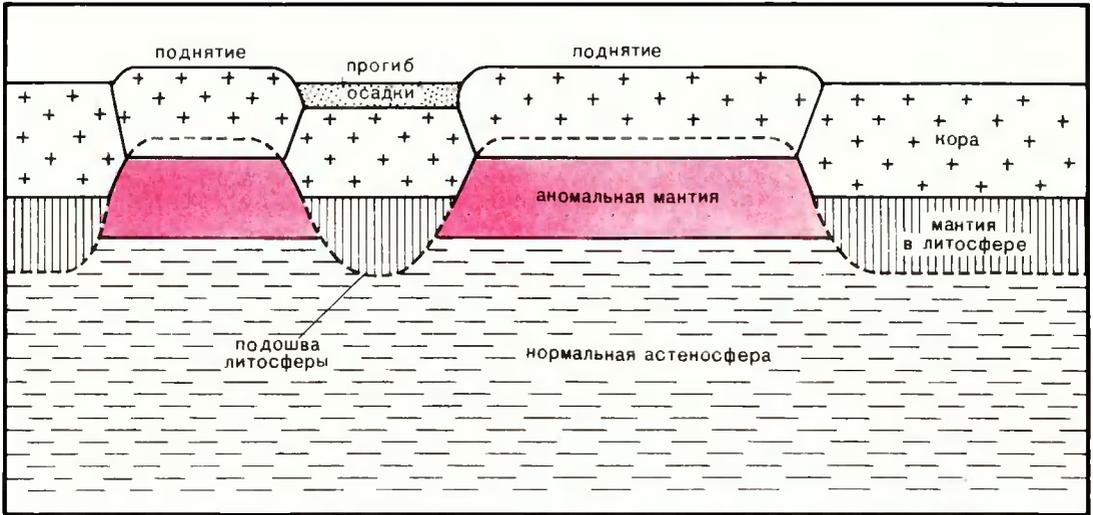
Сейсмические исследования обнаруживают во многих платформенных областях в нижних частях коры слой мощностью в $10-15 \text{ км}$ со скоростями продольных сейсмических волн $7,1-7,3 \text{ км/с}$. Такие скорости скорее характерны не для базальта, а для гранатового гранулита с плотностью $3,1-3,2 \text{ г/см}^3$. В ряде районов, особенно под глубокими впадинами, в нижних частях коры наблюдаются еще более высокие скорости — $7,4-7,6 \text{ км/с}$. Такие скорости должны быть характерны для гранатового гранулита с плотностью $3,3-3,4 \text{ г/см}^3$.

Уплотнение базальта при переходе в гранатовый гранулит на величину $0,2-0,3 \text{ г/см}^3$ в слое толщиной в $10-15 \text{ км}$ вызовет сжатие коры на $0,7-1,5 \text{ км}$, что, в свою очередь, обусловит образование заполненного осадками бассейна глубиной до $3-6 \text{ км}$.

Особенно значительное погружение вызывается переходом самой нижней ча-

сти базальтового слоя коры в эклогит. Такой переход в 8-километровом слое дает сжатие коры на 1,2—1,4 км. Глубина образования при этом осадочного бассейна в 5—6 км близка к мощности слоя, испытывающего переход в эклогит. Наиболее типичные скорости продольных волн в эклогите — 8,2—8,3 км/с — близки к скорости в расположенной в большинстве стабильных областей под корой мантии перидотитового состава. Поэтому отличить под

При поступлении к подошве литосферы очень крупных масс сильно нагретой аномальной мантии она может не только заполнить ловушки, но и расположиться достаточно мощным слоем под областями понижений подошвы литосферы. Прогревая мантию в литосфере, аномальная мантия делает ее менее вязкой, вытесняет более холодное и плотное вещество мантии из литосферы и приходит в непосредственное соприкосновение с базальтовым



Стана поднятий и прогибов, возникших в результате подхода к коре аномальной мантии. Поднятия изостатически скомпенсированы слоем аномальной мантии. Между ними возникают прогибы с мощной литосферой.

корой эклогит от перидотита сейсмическими методами очень трудно.

Общее прогибание территории при переходе от щитов к осадочным бассейнам может определяться каким-либо из описанных процессов либо их совместным действием. В сумме они способны обеспечить компенсированное осадконакоплением погружение коры до 15—18 км. Судя по повышению скоростей в нижних частях коры под некоторыми кристаллическими щитами, уплотнение ее нижнего слоя начинается еще на стадии их высокого стояния. Однако погружения здесь не происходит в связи с наличием в ловушке легкого материала.

слоем коры. При этом базальты нижних частей коры начинают нагреваться.

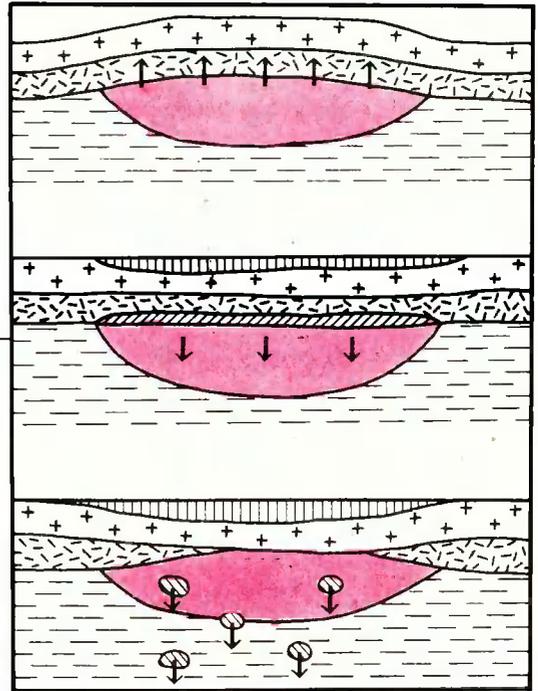
Скорость фазового перехода габбро — эклогит, как указывалось выше, очень низкая при температурах 300—500° С, типичных для нижних частей коры на платформах. С ростом температуры она резко увеличивается, примерно на один порядок величины на каждые 100°. Когда температура поднимается до 800° С, характерное время перехода снижается до 10⁶ лет, а увеличение плотности при переходе еще является значительным. При достижении таких температур в базальтовом слое развивается быстрый, с геологической точки зрения, переход базальта в гранатовый гранулит, а затем в эклогит.

Быстрое увеличение плотности в базальтовом слое коры возможно лишь в узком интервале температур (800—1000° С), когда фазовый переход уже происходит с большей скоростью, но еще приводит к значительному уплотнению породы. С дальнейшим повышением температуры уплотнения базальта уже практи-

чески не происходит. Такие условия могут осуществляться при проникновении аномальной мантии к коре в холодных платформенных областях, особенно под осадочными бассейнами с мощной литосферой. Охладившись во время вытеснения холодной мантии из литосферы, аномальная мантия должна подходить к коре, нагретой на несколько сотен градусов ниже, чем под областями тектонической активизации. Блоки плотного гранатового гранулита и эклогита, образовавшиеся в местах контакта с корой легкой нагретой мантии, отрываются от коры и тонут в аномальной мантии с низкой вязкостью. В результате аномальная мантия приходит в контакт с новыми частями базальтового слоя, которые также испытывают фазовый переход, отрываются от коры и тонут в мантии. По мере погружения гранатового гранулита, с увеличением давления он переходит в эклогит с плотностью $3,5-3,6 \text{ г/см}^3$, более плотный, чем нормальная мантия в астеносфере. Эклогит погружается в астеносферу и накапливается у ее подошвы.

В результате описанного процесса от коры отрывается мощный слой, соответствующий всему базальтовому слою или его нижней части. Ставшая более тонкой кора испытывает быстрое изостатическое погружение. Глубина образуемого при этом морского бассейна может быть легко определена из условия изостатического равновесия. При мощности эклогитизированного слоя базальта в 20 км , его начальной плотности в $2,9 \text{ г/см}^3$, мощности слоя аномальной мантии в 20 км и ее плотности в $3,25 \text{ г/см}^3$ глубина морского бассейна достигнет 3 км . При более значительной начальной мощности базальтового слоя в 30 км , что соответствует более резкому сокращению мощности консолидированной коры, глубина возникшего бассейна увеличится до 5 км . Морской бассейн постепенно заполняется осадками, под тяжестью которых кора продолжает погружаться. Погружение увеличивается также при охлаждении и уплотнении аномальной мантии. Существенно, что погружению территории всегда предшествует поднятие. Оно возникает в то время, когда аномальная мантия подходит к подошве литосферы и сохраняется на стадии ее проникновения к коре.

В качестве типичного примера глубоководного бассейна рассмотрим Южно-Каспийскую впадину. Мощность осадков в ней достигает $20-25 \text{ км}$. Из них нижние 10 км осадков накопились по крайней мере с юры, а возможно и с палеозоя, т. е. за



Последовательные стадии процессов, приводящих к образованию глубоководного бассейна внутреннего моря при поступлении аномальной мантии к холодной коре континентальной платформы.

Вверху — поднятие в момент подхода к коре аномальной мантии; в середине — погружение при переходе части базальтового слоя в более плотные гранатовый гранулит и эклогит; внизу — отрыв эклогитизированного базальтового слоя и образование глубоководного бассейна.

-  осадочный слой вместе со слоем воды
-  гранитный слой
-  базальтовый слой
-  аномальная мантия
-  нормальная мантия
-  гранатовые гранулиты и эклогиты

время более 150 млн лет, а верхний слой мощностью до 15 км образовался со среднего плиоцена, за последние 4—5 млн лет. До новейшего погружения на месте Южного Каспия существовал платформенный осадочный бассейн, т. е. мощность консолидированной коры здесь должна была быть нормальной для платформ. В настоящее время под Южным Каспием она сократилась до 10—12 км. Незадолго до начала погружения по периферии платформы зафиксировано поднятие. Поэтому и глубоководная часть Южно-Каспийской впадины также, скорее всего, была приподнятой. Для описываемой области характерен чрезвычайно сильный разогрев верхних слоев мантии. Слой повышенной электропроводности под Южно-Каспийской впадиной поднимается до глубины 40—60 км, на ее периферии опускается на глубину 100—120 км, а под расположенной к северу от Кавказа Скифской плитой погружается до 200—300 км. Температуру на нижней границе коры оценивают примерно в 600—1000° С (точно определить ее при наличии толстого слоя осадков сложно).

Таким образом, для рассматриваемой области характерны все признаки быстрого погружения коры за счет фазового перехода базальта в эклогит: начальная платформенная стадия развития, последующее поднятие территории, сменяющееся резким погружением, уменьшение мощности консолидированной коры и сильный разогрев мантии. В глубоководной части Южного Каспия под осадками залегают породы с «базальтовыми» скоростями сейсмических волн — 6,8—6,9 км/с мощностью в 10—12 км. Гранитный геофизический слой здесь отсутствует. Это может быть связано с метаморфическими реакциями в «гранитном» слое при контакте с горячей аномальной мантией, значительно изменяющими скорости упругих волн.

Длительность и однонаправленность вертикальных движений во многих областях связаны с большой продолжительностью существования неровностей подошвы литосферы. Поднятия этой границы — ловушки — периодически захватывают легкий материал, и расположенные над ними области испытывают восходящие движения. Прогибы подошвы литосферы — антиловушки — обычно обтекаются легким материалом, а расположенные над ними области остаются холодными и испытывают погружение.

Характер вертикальных движений изменяется, когда изменяется структура неоднородностей на подошве литосферы. Так, если ловушка на платформе долгое время не получает притока легкого материала и вместе с ним тепла, то на ее месте образуется антиловушка. При этом испытывающий поднятие кристаллический щит превращается в погружающийся осадочный бассейн.

При поступлении под кору аномальной мантии в области образования внутреннего моря вытесняется ранее существовавшая под осадочным бассейном холодная мантия в литосфере. Вместе с ней исчезают и неоднородности мощности литосферы, что приводит на время к прекращению развития структур более высокого порядка внутри осадочного бассейна.

Неоднородности мощности литосферы при больших горизонтальных перемещениях литосферных плит сохраняются. Поэтому, несмотря на смещения последних на тысячи километров, связанные с этими неоднородностями однонаправленность и длительность вертикальных движений также сохраняются. Подъем из глубины легкого материала происходит в различных областях Земли. Если при дрейфе литосферных плит ловушки оказываются недалеко от восходящих потоков легкого материала, то они вновь его захватывают, а прогибы подошвы литосферы легкой материал продолжает обтекать. Таким образом, однонаправленный характер и длительность вертикальных движений коры во многих областях не противоречат дрейфу континентов.

Свет и звук: взаимодействие в среде

В. М. Левин, Р. Г. Маев



Владим Моисеевич Левин, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института по биологическим испытаниям химических соединений. Занимается исследованиями акустических и оптических явлений в различных средах.



Роман Григорьевич Маев, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией физики живых систем того же института. Область научных интересов связана с изучением оптических и акустических явлений, воздействия физических факторов на биологические объекты.

Свет и звук — основные волновые явления, с которыми человек сталкивается как в повседневной жизни, так и в процессе своей научно-технической деятельности. В материальной среде одновременное распространение звуковых и световых волн не может быть независимым: возникают эффекты взаимного влияния на характер распространения этих волн — акустооптическое взаимодействие.

В данной статье речь пойдет главным образом об эффектах прямого, не связанного с разогревом среды взаимодействия оптического излучения с ультра- и гиперзвуком. Под ультразвуком понимают диапазон звуковых частот, лежащий от верхней границы слышимого звука (20 кГц) вплоть до 1 ГГц. Звуковые волны с ча-

стотами свыше 1 ГГц обычно называют гиперзвуком. В основе такого взаимодействия лежат два основных явления: упругооптический эффект и эффект высокочастотной электрострикции.

Упругооптический эффект, открытый в начале прошлого века Д. Брюстером и А. Зеебеком, представляет собой изменение показателя преломления среды под действием упругих деформаций в ней. Величина этого изменения Δn пропорциональна упругой деформации S среды:

$$\Delta n \sim S.$$

Здесь коэффициент пропорциональности p (постоянная Поккельса) характеризует упругооптические свойства среды.

Суть эффекта электрострикции заключается в том, что под действием элек-

трического поля световой волны в среде возникают упругие напряжения σ , пропорциональные квадрату напряженности E этого поля:

$$\sigma \sim E^2.$$

Но прежде чем приступить к обсуждению эффектов взаимодействия света со звуком, скажем несколько слов о природе этого взаимодействия. Своим происхождением упругооптический эффект обязан зависимости скорости распространения света в среде от свойств среды. Звуковые волны, представляющие собой процесс переноса деформаций, локальным образом изменяют свойства среды, меняя тем самым и показатель преломления. В жидкостях, для которых характерны волны сжатия — растяжения, звук изменяет прежде всего плотность среды. В твердых телах, наряду с деформацией сжатия, акустическая волна переносит сдвиговые деформации, при которых плотность среды остается неизменной, зато меняется поляризуемость структурной единицы кристаллической решетки — элементарной ячейки.

Исследования последних лет¹ показали, что в твердых диэлектриках и полупроводниках эффективность акустооптического взаимодействия существенно зависит от частоты падающего света. В частности, она сильно возрастает вблизи областей аномальной дисперсии, т. е. там, где энергия фотона $\hbar\omega$ близка к разности энергии двух квантовых состояний тела. Для видимого света аномальная дисперсия обычно обусловлена электронными переходами. В твердых телах, где отдельные электронные уровни расщепляются в энергетические зоны, аномальная дисперсия возникает за счет переходов между полностью заполненной электронами валентной зоной и свободной зоной проводимости. Основным механизмом упругооптического взаимодействия является изменение энергетического зазора между зонами (ширины запрещенной зоны ϵ_g) за счет деформации кристаллической решетки.

Зависимость упругооптического эффекта от частоты света особенно сильна

в полупроводниках, где в сравнительно узком спектральном интервале величина эффекта может меняться в сотни и тысячи раз. Кроме того, в полупроводниках имеется специфический механизм акустооптического взаимодействия, связанный с наличием некоторого количества свободных носителей. Под действием звуковой волны носители перераспределяются в пространстве, и образуется волна электронной плотности, движущаяся вместе со звуковой волной. Модуляция звуком концентрации свободных носителей заметно изменяет оптические свойства вещества вблизи края полосы собственного поглощения, т. е. при $\hbar\omega \approx \epsilon_g$. Этот же механизм, связанный с формированием волны электронной плотности, оказывается основным механизмом взаимодействия ультразвука с далеким инфракрасным излучением, по частоте близким к плазменной частоте свободных носителей в полупроводниках².

Характер акустооптических эффектов в среде зависит от интенсивности светового потока. Если интенсивность света невелика, то электрострикцией можно пренебречь, и основную роль здесь играет упругооптический эффект. Под воздействием звуковой волны в среде возникает периодическое изменение показателя преломления, движущееся вместе со звуковой волной. При прохождении через такую структуру монохроматического светового луча в среде помимо основного (проходящего) пучка возникают пучки отклоненного в результате дифракции света. За счет эффекта Доплера при рассеянии на движущейся решетке возникает сдвиг частоты дифрагированного света; частота света, отклоненного в сторону распространения акустической волны, увеличивается на величину звуковой частоты Ω , а частота света, отклоненного в противоположную сторону, уменьшается на ту же величину.

При больших интенсивностях оптического излучения основную роль начинают играть эффекты, обусловленные электрострикцией. Под действием электрических полей световых волн в среде возникают переменные упругие напряжения, частоты которых лежат в ультразвуковом и гиперзвуковом диапазонах. Если прост-

¹ Nelson D. F., Lax M. Theory of the Photoelastic Interaction. — *Phys. Rev.*, 1971, v. B3, № 6, p. 2778. Левин В. М., Маев Р. Г., Филатова З. И. Новый механизм акустооптического взаимодействия в пьезополупроводниковых кристаллах. — «Письма в ЖЭТФ», 1973, т. 17, № 2, с. 127; Левин В. М., Маев Р. Г., Полуэктов И. А. Особенности поведения фотоупругих констант в полупроводниковых соединениях. — Препринт ФИАН, № 122. М., 1975.

² Проклов В. В., Шкердин Г. Н., Гуляев Ю. В. Дифракция электромагнитных волн на звуке в проводящих кристаллах. — «Физ. и техн. полупроводников», 1972, т. 6, № 10, с. 1915.

ранственная периодичность этих напряжений совпадает с длиной создаваемой ими звуковой волны, то имеет место резонанс и происходит эффективная генерация высокочастотного звука. Возникшие звуковые волны могут усиливаться мощным оптическим излучением за счет одновременного действия эффектов упругооптической дифракции и электрострикции. В случае усиления акустических тепловых шумов это явление получило название вынужденного рассеяния Мандельштама — Бриллюэна.

в связи с появлением источников когерентного электромагнитного излучения и нуждами развивающихся на их основе новых отраслей техники.

В результате непосредственного взаимодействия монохроматической световой волны с дифракционной решеткой, образованной звуком, возникает свет с частотами ($\omega \pm \Omega$) — так называемый первый порядок дифракции. Более высокие порядки дифракции возникают при взаимодействии со звуковой волной света, уже рассеянного в первый порядок. Дифрак-

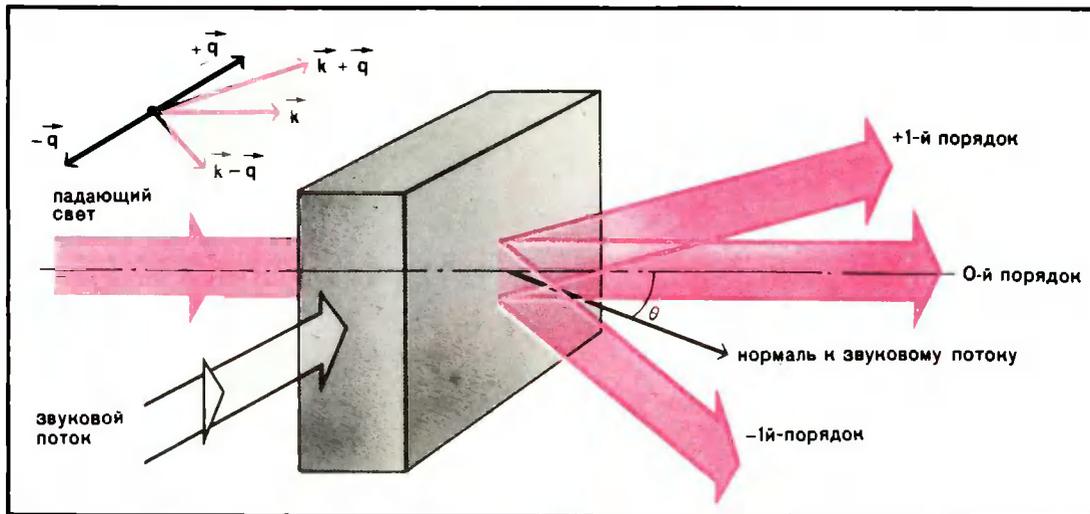


Схема дифракции света на ультразвуковой волне. Продифрагировавший свет распространяется в узких конусах лучей вблизи направлений суммарного и разностного волновых векторов ($k \pm q$), где k — волновой вектор света, q — волновой вектор звуковой волны.

АКУСТООПТИЧЕСКАЯ ДИФРАКЦИЯ

Изучение дифракции света на ультразвуке началось в 20-е годы после пионерских работ Л. Бриллюэна и Л. И. Мандельштама, в которых рассматривалось рассеяние света на некогерентных акустических волнах в твердых телах — акустических фонах. В 1932 г. П. Дебай, Ф. Сирс и одновременно с ними Р. Люка и П. Бикар наблюдали дифракцию света на звуковой волне, возбуждаемой внешним источником. К настоящему времени это явление детально исследовано применительно к различным средам как теоретически, так и экспериментально. Особенно интенсивно эти исследования ведутся в последние годы

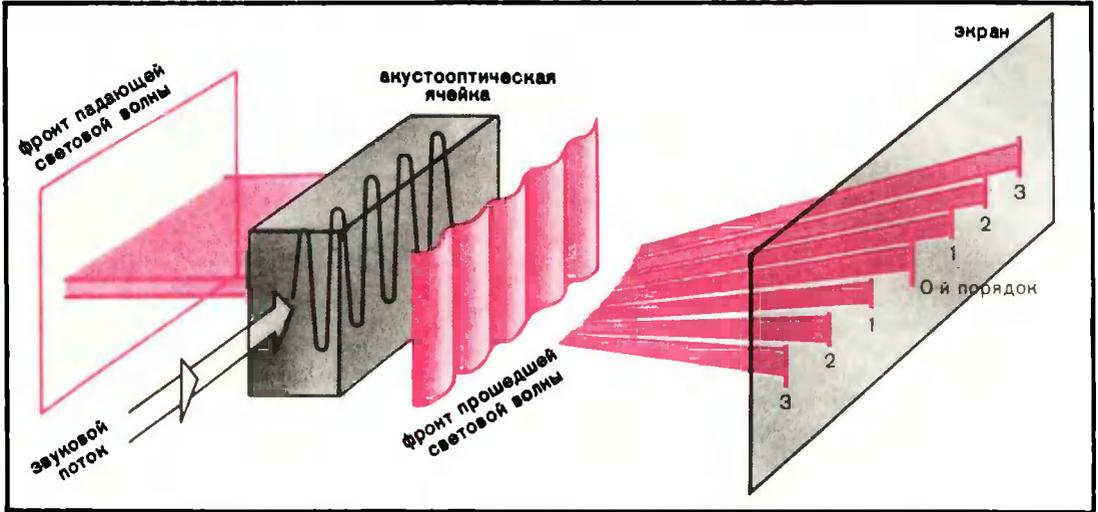
ция света на ультразвуке возникает при любой геометрии акустооптического взаимодействия. Однако эффективность ее в общем случае мала. Интенсивность I_1 света, отклоненного в первый порядок, составляет, в лучшем случае, миллионные доли процента от интенсивности падающего света I_0 . Столь низкая эффективность объясняется тем, что электромагнитные волны, излучаемые различными точками области акустооптического взаимодействия, попадают на экран с различными фазами и, интерферируя, гасят друг друга. Лишь при определенном угле падения света θ на звуковой пучок излучение, приходящее на экран от различных точек, оказывается синфазным. Эффективность дифракции возрастает при этом на много порядков — возникает явление резонансной дифракции. С квантовомеханической точки зрения, оно представляет собой процесс взаимодействия квантов электромагнитного и упругого полей: фотона и фонона. Падающий фотон с энергией $\hbar\omega$ и импульсом $\hbar k$ поглощает (испускает) акустиче-

ский фотон с энергией $\hbar\Omega$ и импульсом $\hbar\vec{q}$; при этом образуется фотон с энергией $\hbar\omega_1$ и импульсом $\hbar\vec{k}_1$. Резонансная дифракция имеет место, если для квазичастиц, участвующих во взаимодействии, выполняются законы сохранения энергии и импульса:

$$\begin{aligned}\omega \pm \Omega &= \omega_1; \\ \vec{k} + \vec{q} &= \vec{k}_1.\end{aligned}$$

Эти соотношения, называемые также условиями синхронизма, и определяют геометрию акустооптического взаимодействия при резонансной дифракции.

Понятно, что если интенсивности отклоненного в результате дифракции и падающего света близки, то дифракционная картина в целом определяется характером взаимодействия с ультразвуком



Дифракция Рамана — Ната. Световая волна падает нормально на звуковой пучок. За счет периодической неоднородности показателя преломления различные точки плоской волны после прохождения звукового пучка имеют различные фазы. Фронт прошедшей световой волны представляет собой гофрированную поверхность. Такая волна эквивалентна значительному числу плоских волн, распространяющихся под малыми углами друг к другу.

Эффективность резонансной дифракции зависит не только от глубины модуляции звуком показателя преломления, но и от размера области взаимодействия света и звука в направлении распространения продифрагировавшего света — длины взаимодействия L . Интенсивность отклоненного за счет дифракции света I_1 увеличивается как с ростом интенсивности звука Φ , так и с возрастанием длины взаимодействия:

$$I_1 \sim p^2 L^2 \Phi I_0.$$

При достаточной длине взаимодействия эта интенсивность сравнивается с интен-

сивностью падающего света. В зависимости от соотношения между длинами волн звука Λ и света λ , а также длиной взаимодействия L , акустооптическое взаимодействие может происходить по-разному. Обычно различают два вида резонансной дифракции: дифракцию Рамана — Ната и дифракцию Брэгга.

Дифракция Рамана — Ната наблюдается при нормальном падении света на акустический пучок. Длина звуковой волны должна быть достаточно велика, чтобы было справедливо соотношение: $\Lambda^2 \gg \lambda L$. В этом случае условия синхронизма оказываются выполненными одновременно для света, отклоненного в различные порядки дифракции. В результате свет, отклоненный при акустооптической дифракции в 1-й порядок, вновь дифрагирует на звуковой волне, частично отклоняется во 2-й порядок; дифракция света, отклоненного во 2-й порядок, приводит к образованию 3-го порядка и т.д. В соответствии с этим при выходе из области акустооптического взаимодействия падающий

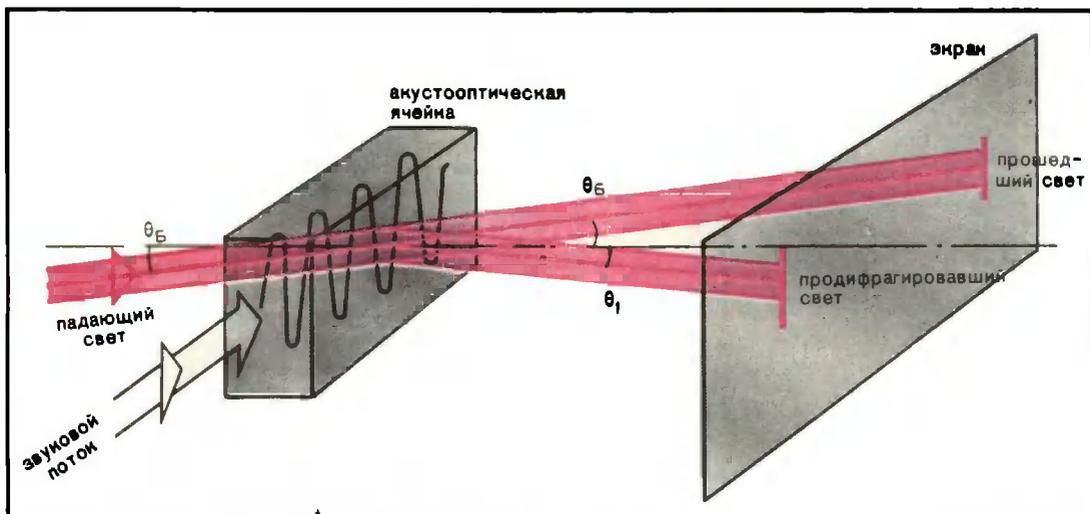
световой луч разбивается на целую серию лучей, распространяющихся под малыми углами к направлению падающего луча:

$$\theta_m^1 = m\lambda/\Lambda; \quad m=1, 2, 3, \dots$$

Дифракция Рамана — Рата наблюдается при рассеянии света на звуковых волнах с частотами от нескольких десятков мегагерц и ниже. С уменьшением длины взаимодействия (т. е. ширины звукового пучка) интервал акустических частот, для которых возможен этот вид дифракции, расширяется в область более высоких частот.

дифракции света возрастает с увеличением плотности потока звуковой энергии до тех пор, пока падающий световой поток не отклоняется полностью. При дальнейшем увеличении мощности вводимого звука часть отклоненного света, вновь дифрагируя на звуковой решетке, выходит из акустического пучка по направлению падающего излучения.

С точки зрения классической оптики, брэгговская дифракция представляет собой частичное отражение световой волны от дифракционной решетки. Такая ди-



Дифракция Брэгга. Свет, проходя сквозь звуковую решетку, частично отражается от нее. Интенсивность рассеянного света определяется интерференцией волн, отраженных в максимумах деформации. Интенсивность максимальна, когда разность оптического хода для лучей, отраженных от соседних максимумов, равна длине световой волны.

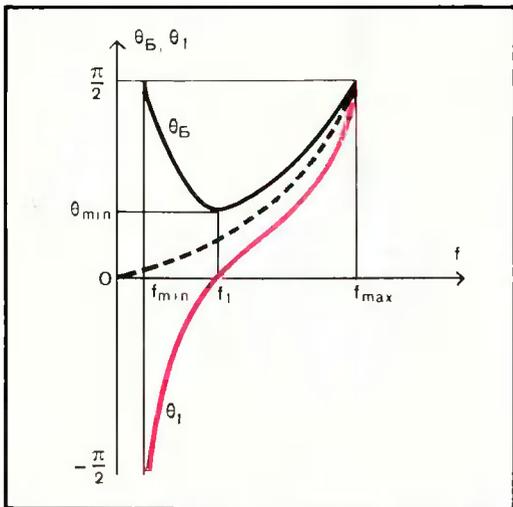
Другой вид акустооптической дифракции, дифракция Брэгга, возникает при рассеянии света на высокочастотном звуке, для которого выполняется обратное неравенство: $\Lambda^2 < \lambda\Lambda$. При брэгговской дифракции условия синхронизма допускают лишь обратную трансформацию рассеянного светового кванта (ω_1, \vec{k}_1) в первоначальный фотон (ω, \vec{k}). В соответствии с этим процесс акустооптического взаимодействия сводится к перераспределению энергии падающего излучения между проходящим и отклоненным световыми лучами. Интенсивность отклоненного за счет

дифракции имеет место, если волны, отраженные от соседних максимумов показателя преломления, имеют разность оптического хода, равную длине световой волны: $\Delta = \lambda$. Это условие и определяет угол падения света на звуковой пучок, так называемый брэгговский угол θ_B . Если свет падает под таким углом навстречу звуковому потоку, то частота отклоненного света увеличивается на величину звуковой частоты Ω ; в случае же падения в направлении звукового потока частота рассеянного света оказывается уменьшенной на ту же величину.

В изотропной среде геометрия брэгговской дифракции не зависит ни от направления, ни от поляризации как падающего, так и продифрагировавшего света. Угол Брэгга определяется лишь длинами волн света и звука: $\theta_B = \arcsin \lambda/2\Lambda$. Угол рассеяния θ_1 , под которым выходит отклоненный свет, равен углу Брэгга: $\theta_1 = \theta_B$. Брэгговская дифракция наблюдается на звуковых частотах вплоть до частоты $f_{\max} = 2v_s/\lambda$ (v_s — скорость звука), отвечающей

отражению падающего света назад. Выше этой частоты резонансное взаимодействие света со звуком оказывается невозможным.

В двулучепреломляющей среде свет с различной поляризацией имеет различные значения показателя преломления. В соответствии с этим брэгговская дифракция будет наблюдаться при разных углах падения света в зависимости от того, сохраняет продифрагировавший свет поляризацию падающего или нет. Если поляризация сохраняется, то картина дифракции аналогична наблюдающейся в изотропной



Зависимость угла падения θ_B и угла рассеяния θ_I от акустической частоты в случае анизотропной дифракции (показатель преломления для падающего света n_0 больше показателя для продифрагировавшего n_1). Для сравнения пунктиром приведены те же зависимости для изотропной дифракции ($\theta_I = \theta_B$).

среде. При дифракции с изменением плоскости поляризации (анизотропной дифракции) угол рассеяния уже не равен брэгговскому и зависит не только от соотношения длин волн света и звука, но и от оптических свойств среды. Анизотропная дифракция возможна лишь для звуковых частот, больших некоторого минимального значения f_{\min} . Этой частоте соответствует коллинеарная дифракция — рассеяние света вперед. При коллинеарной дифракции световые лучи, как падающий, так и продифрагировавший, параллельны и направлены в одну сторону. Если показатель преломления для падающего света n_0 больше показателя n_1 для продифрагировавшего, то анизотропная дифракция возможна при углах падения, превышающих некоторое

минимальное значение θ_{\min} . Когда свет падает на звуковой пучок под углом $\theta = \theta_{\min}$, отклоненный луч выходит под прямым углом к направлению распространения звука. При выполнении обратного неравенства для показателей преломления: $n_0 < n_1$ — анизотропная дифракция возможна при любых углах падения. Однако значения угла рассеяния θ_I ограничены снизу: $\theta_I \geq \theta_{I\min}$. Наименьшее значение соответствует нормальному падению света на акустический пучок.

РАССЕЯНИЕ МАНДЕЛЬШТАМА — БРИЛЛЮЗНА

Дифракция света происходит не только на вводимой извне звуковой волне. В конденсированной среде тепловое движение атомов и молекул представляет собой совокупность большого числа акустических волн различной частоты — акустических фононов. Фазы этих волн хаотичны, а их интенсивности в зависимости от частоты определяются спектральным распределением. В равновесии оно изотропно и представляет собой распределение Планка. Свет, проходящий сквозь вещество, дифрагирует на этих волнах.

Оказывается, что для любого направления в пространстве находятся такие значения частоты и волнового вектора фонона, что в этом направлении имеет место брэгговская дифракция падающего излучения. Это явление и представляет собой рассеяние Мандельштама — Бриллюэна. По интенсивности света, рассеянного в данном направлении, можно судить о спектральной плотности акустических фононов с определенными значениями частоты и волнового вектора. На основе экспериментов по рассеянию Мандельштама — Бриллюэна восстанавливается спектральное и угловое распределение акустических фононов в низкочастотной области спектра, т. е. там, где брэгговская дифракция разрешена условиями синхронизма.

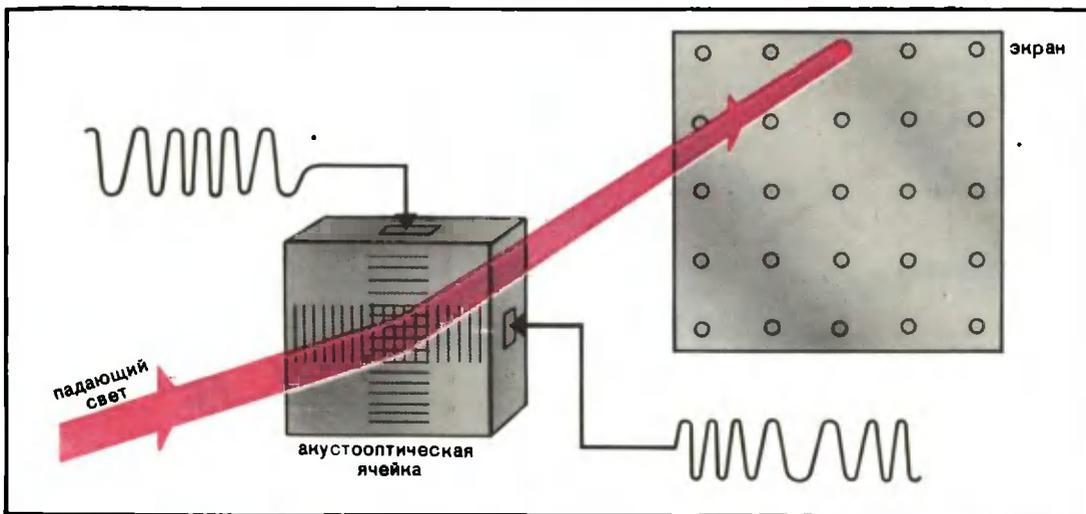
Особый интерес представляет рассеяние Мандельштама — Бриллюэна на неравновесных фононах в условиях фоновой неустойчивости. Такая неустойчивость имеет место в целом ряде полупроводников (CdS, GaAs, Te, Ge и др.), помещенных в сильное электрическое поле. Она возникает в результате усиления звуковых волн электронами, движущимися под действием электрического поля со скоростью, превосходящей звуковую. За счет усиления интенсивность низкочастотных акустических фононов быстро нарастает; одновременно

меняется угловое, пространственное и спектральное их распределение. В соответствии с этим изменяются и характеристики света (интенсивность, угловое распределение), рассеянного на этих фонах. Изучение рассеяния Мандельштама — Бриллюэна на неравновесных фонах позволяет получать ценную информацию о возникновении и динамике развития фоновой неустойчивости, о характере взаимодействия фононов³.

Частота продифрагировавшего света отличается от частоты падающего на вели-

чинности звука, естественно, возрастает и доля света, рассеянного в результате акустооптической дифракции. Этот эффект, известный под названием вынужденного рассеяния Мандельштама — Бриллюэна, был открыт И. Л. Фабелинским, В. С. Старуновым в СССР и Ч. Таунсом и Р. Чао в США при изучении распространения интенсивного лазерного излучения в жидкостях и твердых телах.

Вынужденное рассеяние Мандельштама — Бриллюэна является одним из факторов, определяющих характер распро-



Страна двухкоординатного акустооптического дефлектора. Отклонение светового луча в двух взаимно перпендикулярных направлениях осуществляется двумя звуковыми пучками. Звук возбуждается излучателями под действием частоты модулированных радиосигналов.

чину частоты ультразвука Ω . Взаимодействие продифрагировавшего света с той частью падающего излучения, которая не испытывает дифракции, приводит за счет эффекта электрострикции к генерации дополнительной звуковой волны на той же частоте Ω . Возникает усиление ультразвука в поле светового излучения. При незначительных интенсивностях падающего света этот эффект мал по сравнению с затуханием ультразвука в среде и приводит лишь к уменьшению затухания. Но начиная с некоторой пороговой мощности оптического излучения, эффект усиления звука становится определяющим. С увеличением ин-

тенсивности мощного лазерного излучения в конденсированной среде. Особо важна роль этого эффекта в процессе генерации света в рабочем теле лазера, поскольку частота излучения лежит вблизи области аномальной дисперсии, где значения упругооптических коэффициентов возрастают. В соответствии с этим снижается пороговая мощность светового излучения, необходимая для возникновения вынужденного рассеяния Мандельштама — Бриллюэна⁴.

АКУСТООПТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

Дифракция света на ультразвуке широко используется для решения важной практической проблемы управления параметрами светового излучения. Акустооптические устройства, созданные на основе этого явления, позволяют управлять всеми

³ Пустовойт В. И. — «УФН», 1969, т. 97, с. 257

⁴ Более подробно см.: Басов Н. Г., Грасюк А. Э., Зубарев И. Г. Комбинированные лазеры. — «Природа», 1978, № 12, с. 38.

характеристиками светового луча: амплитудой, фазой, частотой, поляризацией и направлением в пространстве. Основой устройств является акустооптическая ячейка, представляющая собой рабочее тело (твердотельный образец или кювету с жидкостью), в объеме которого происходит взаимодействие падающего света со звуковой волной, возбуждаемой специальным излучателем. В результате акустооптической дифракции из ячейки выходят лучи как проходящего, так и продифрагировавшего света. Изменяя характеристики возбуждае-

быстродействие модулятора, как и других акустооптических устройств, определяется временем прохождения звукового сигнала через поперечное сечение светового пучка и оказывается порядка 10^{-6} — 10^{-7} с. Хотя в быстродействии акустооптические устройства уступают, например, электрооптическим, они нашли широкое применение, так как при максимальной простоте конструкции позволили осуществлять такие сложные операции, как, например, параллельная обработка информации в акустооптических процессорах.

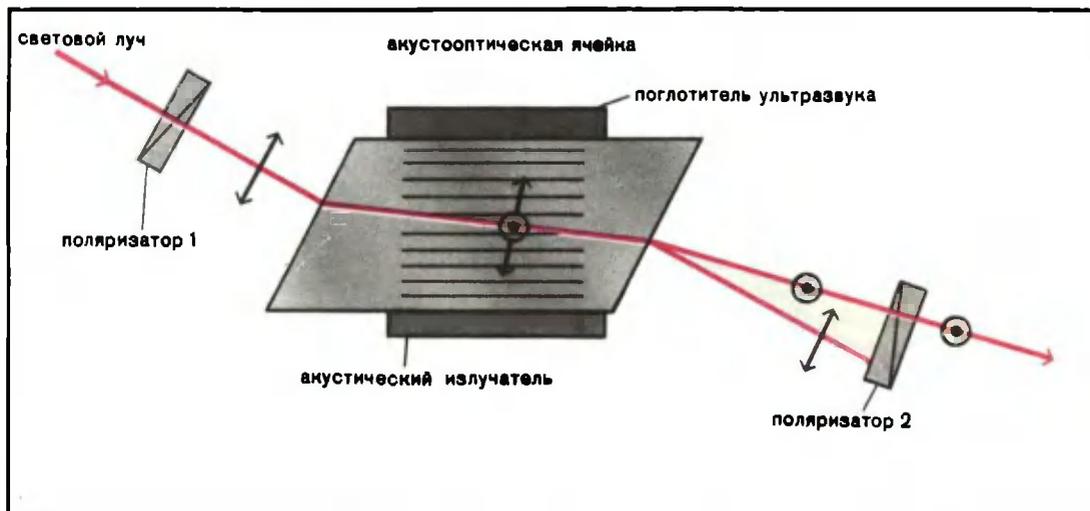


Схема акустооптического фильтра. На ячейку, в которой возбуждена монохроматическая звуковая волна, падает плоскополяризованный свет, степень поляризации которого контролируется поляризатором 1. Поляризация показана в виде векторов в плоскости рисунка и перпендикулярных к ней. В результате анизотропной дифракции в узком спектральном интервале возникает световое излучение другой поляризации. На выходе из фильтра оно отфильтровывается из общего светового потока скрещенным поляризатором 2.

мой звуковой волны, можно управлять параметрами световых лучей.

Для управления интенсивностью как проходящего, так и продифрагировавшего света достаточно изменять амплитуду звуковой волны, на которой происходит дифракция. На этом принципе и основано действие акустооптических модуляторов — приборов, управляющих интенсивностью светового луча. Для их создания может быть использована модуляция как продифрагировавшего, так и проходящего света.

Брэгговская дифракция дает простой способ отклонения светового излучения: в качестве отклоненного используется луч продифрагировавшего света. Угол отклонения определяется частотой ультразвука Ω , поэтому при изменении звуковой частоты продифрагировавший луч перемещается в пространстве. Этот принцип лежит в основе работы быстродействующих устройств пространственного управления световым лучом — акустооптических дефлекторов.

Дефлектор представляет собой акустооптическую ячейку, в которой возбуждается звуковая волна с частотой, изменяющейся во времени. Закон изменения определяет характер перемещения луча. Акустооптические дефлекторы осуществляют как непрерывное перемещение (сканирование) луча, так и его отклонение по набору фиксированных направлений. Интервал $\Delta\Omega$ изменения акустической частоты определяет основные параметры дефлекторов: максимальное угловое перемещение и число различных положений продифрагировавшего луча. Для получения

эффективной дифракции в полосе звуковых частот необходимо одновременно с изменением частоты менять направление распространения звука так, чтобы угол, образуемый световым лучом с фронтом акустической волны, оставался равным брэгговскому. Поэтому основные параметры дефлектора определяются интервалом углов, внутри которого можно менять направление распространения звука. В простейшем случае выполнение брэгговских условий осуществляется за счет расходимости звукового пучка. Расходящийся пучок

странения звука. Для поворота фронта акустической волны используется система акустических излучателей, совместное действие которых позволяет получать плоскую волну, направление распространения которой зависит от частоты излучаемого звука.

Акустооптические дефлекторы позволяют осуществлять как однокоординатное, так и двухкоординатное отклонение светового луча. В последнем случае используются два скрещенных одномерных дефлектора, причем они могут быть совмещены в одной акустооптической ячейке.



Фотоакустическая ячейка для измерения спектров поглощения вещества. Ячейка состоит из закрытого полого цилиндра с кварцевым окном и теплопроводящим дном, на которое помещается исследуемый образец. Для регистрации звука используется чувствительный микрофон.

можно рассматривать как совокупность плоских волн, направления распространения которых лежат внутри некоторого углового интервала. Для фиксированной звуковой частоты брэгговская дифракция будет происходить на том компоненте пучка, волновой фронт которого образует с волновым вектором света угол, равный брэгговскому. При изменении частоты дифракция идет на другом компоненте. Характеристики дефлектора улучшаются, если в нем используется анизотропная дифракция при углах падения света, близких к минимальному значению угла Брэгга.

Другим способом удовлетворить брэгговские условия в широком интервале звуковых частот является согласованное изменение частоты и направления распро-

Современные дефлекторы позволяют получать 10^2 — 10^4 разрешимых элементов со временем перехода от одного элемента к другому порядка 10^{-6} — 10^{-7} с. Доля отклоненного света достигает нескольких десятков процентов при потребляемой акустической мощности 0,1—1 Вт⁵.

С монохроматической звуковой волной эффективно взаимодействуют лишь те звуковые волны, для которых с достаточной точностью выполняется условие Брэгга. Поэтому брэгговская дифракция успешно используется для выполнения ряда операций над спектром светового излучения. Брэгговская дифракция коллимированного светового луча позволяет выделить из широкого спектра оптического излучения узкий интервал длин волн. Изменением частоты звука выделяемый интервал можно перемещать по оптическому спектру в ши-

⁵ Uchida N., Niizeki N. Acoustooptic deflection materials and techniques.—Proc. IEEE, 1973, v. 61, № 8, p. 1073.

роких пределах. На этом основано использование акустооптической ячейки в качестве быстродействующего перестраиваемого оптического фильтра⁶.

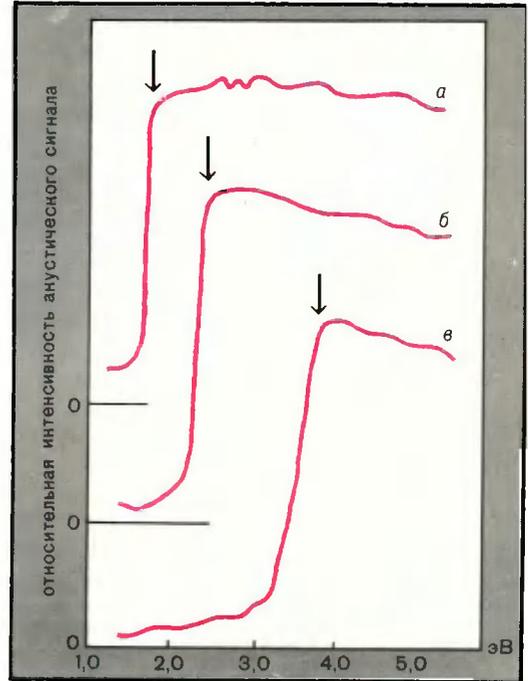
В фильтрах используется анизотропная дифракция линейно поляризованного света в двулучепреломляющей среде с последующим разделением лучей проходящего и продифрагировавшего света в поляроиде. Поскольку спектральная ширина продифрагировавшего излучения уменьшается с ростом длины акустооптического взаимодействия, в фильтрах используется, как правило, коллинеарная дифракция, обеспечивающая наибольшую длину, хотя известны фильтры на основе неколлинеарного взаимодействия. В современных акустооптических фильтрах ширина полосы пропускания варьируется в пределах 0,1—10 Å, диапазон перестройки перекрывает, как правило, весь оптический участок электромагнитного спектра, а быстродействие оказывается порядка нескольких микросекунд.

Все акустооптические устройства используются как для внешнего управления световым лучом, так и непосредственно внутри оптического квантового генератора для управления процессом генерации и параметрами когерентного излучения. Помещенная внутрь оптического резонатора акустооптическая ячейка позволяет осуществлять модуляцию его добротности и отклонение лазерного луча для вывода его из резонатора. Использование акустооптических фильтров в лазерах с широким спектром генерации позволяет получать узкие линии излучения, перестраиваемые внутри диапазона генерации за счет изменения звуковой частоты. Наконец, введение акустической волны непосредственно в активную среду лазера обеспечивает высокую спектральную селективность и позволяет управлять порогом генерации за счет создания распределенной обратной связи. Изменением звуковой амплитуды можно менять эффективность обратной связи и тем самым управлять интенсивностью генерируемого света.

ФОТОАКУСТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

Помимо дифракции, еще одно акустооптическое явление нашло важное

практическое применение. Речь идет о светотермоупругом эффекте, открытом в 1880 г. почти одновременно тремя известными учеными А. Беллом, В. Рентгеном и Д. Тиндалем. Суть эффекта заключается в том, что под действием периодически прерываемого светового излучения испытываемые тела начинали звучать. В основе этого явления лежит периодический нагрев тела и окружающего газа за счет поглощения падающего света в образце. Периодически повторяющееся тепловое расширение приводит к колебаниям плот-



Фотоакустические спектры поглощения полупроводниковых материалов. Стрелками указаны границы полос поглощения: а — CdSe [1,75 эВ], б — Cd [2,4 эВ]; в — ZnS [3,7 эВ]. Измерения проведены при температуре 300 К. В полупроводниках с помощью фотоакустической спектроскопии можно изучать прямые и непрямые переходы, примесные состояния, экситонные уровни⁷.

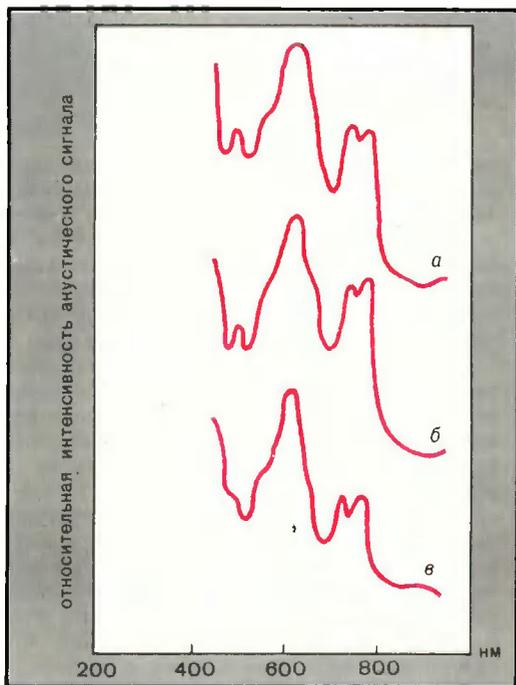
ности и, в конечном итоге, возникновению звуковых колебаний. Несколько лет назад это явление было использовано для получения спектров поглощения различных ве-

⁶ Harris S. E., Wallace R. W. Acousto-optical tunable filter.—*J. Opt. Soc. Am.*, 1969, v. 59, № 6, p. 744; Chang I. C. Acousto-optical tunable filters.—*Opt. Eng.*, 1977, v. 16, № 5, p. 455.

⁷ Фотоакустические спектры различных веществ, приведенные на этом и следующем рисунках, взяты из работы: Karasek F. W. Photoacoustic spectroscopy.—*Research Development*, 1977, v. 28, № 9.

ществ⁸. Так много лет спустя была реализована идея, выдвинутая А. Беллом еще в 1881 г. Новый метод получил название фотоакустической спектроскопии.

В основе фотоакустической спектроскопии лежит измерение коэффициента поглощения света по интенсивности звуковых колебаний, возбуждаемых периодически прерываемым светом в специальной фотоакустической ячейке. Амплитуда звуковых колебаний пропорциональна величине поглощаемой в образце световой энергии; следовательно, изменяя длину све-



Фотоакустические спектры: а — пятна крови, б — красных кровяных телец, в — экстрагированного гемоглобина. Гемоглобин центрифугированием экстрагирован из крови, а затем снят его спектр. Фотоакустический спектр пятна крови [а] указывает на наличие оксигемоглобина так же ясно, как и спектр экстрагированного гемоглобина. Присутствие протеина и липидных материалов в отличие от обычной спектроскопии в этом методе значения не имеет.

товой волны, можно снять фотоакустический спектр вещества — полный аналог спектра поглощения, полученного стандартными методами.

Чем же привлек внимание исследователей метод фотоакустической спектроскопии? Основное достоинство метода состоит в том, что он позволяет получать спектры всех веществ, в том числе и тех, изучение которых другими методами оказывается затруднительным. Поскольку фотоакустическим методом измеряется только та часть падающего излучения, которая действительно поглощается веществом, а рассеянное излучение никакого вклада в измеряемую величину не дает, то этот метод позволяет получать спектры поглощения образцов с плохим качеством поверхности: порошкообразных, рыхлых, пористых материалов; различных биологических объектов.

Чувствительность метода такова, что позволяет снимать спектры мономолекулярного слоя вещества на поверхности подложки. За счет высокой чувствительности можно получать спектры поглощения веществ в широком диапазоне длин волн, включающем в себя как области сильного поглощения, так и области прозрачности. Важное значение имеет однотипность методики измерений в значительном спектральном интервале от инфракрасной области спектра до ультрафиолетовой. К настоящему времени методом фотоакустической спектроскопии получены спектры многих веществ; первые достижения позволяют надеяться, что этот тип спектроскопии найдет широкое применение как в научных исследованиях, так и в практических целях. Особый интерес он представляет для химии и биологии. Возможность получения спектра поглощения одного и того же образца в широком диапазоне длин волн позволяет с уверенностью идентифицировать вещества, а также определять их присутствие в смесях, связанном состоянии и т.д. Во многих случаях применение фотоакустической спектроскопии позволяет отказаться от трудоемкой работы по экстракции вещества и многочисленных химических анализов.

Мы попытались нарисовать в общих чертах картину взаимодействия света и звука в твердых и жидких телах и описать основные направления применений этих эффектов в науке и технике. Акустооптические эффекты принадлежат к тому классу физических явлений, которые уже сейчас нашли широкое практическое применение. Возникшая на стыке оптики и акустики, акустооптика переживает период бурного развития, обусловленного быстрым прогрессом в этих областях знания.

⁸ Rosencwaig A. Photoacoustic spectroscopy of biological materials. — «Science», 1973, v. 181, № 4100, p. 657; Rosencwaig A. Photoacoustic spectroscopy of solids. — «Phys. Today», 1975, v. 28, № 9, p. 23.

Мюноклонные атомы

Ю. П. Добрецов, Б. А. Долгошеин, В. Г. Кириллов-Угрюмов

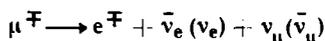
Изучение взаимодействий элементарных частиц с веществом привело к обнаружению новых, неизвестных ранее типов атомов. Из них наиболее изучены на сегодняшний день атомы, возникающие при торможении в веществе и последующем захвате обычными атомами отрицательных частиц — пионов (π^- -мезонов), мюонов (μ^- -мезонов) и антипротонов (\bar{p}). Известны также водородоподобные системы, образующиеся при захвате электронов положительно заряженными частицами, например мюоний (μH), состоящий из μ^+ -мюона и электрона. Так как некоторые характеристики элементарных частиц, входящих в состав новых атомов, и характеристики их взаимодействия зависят от химического и агрегатного состояний вещества, изучение этих атомов в тех или иных условиях может дать новую информацию о скорости химических реакций и свойствах твердых тел. Так на стыке физики элементарных частиц, химии и физики твердого тела возникли новые направления науки — мезонная химия и мезонные методы изучения свойств твердого тела.

В данной статье рассматриваются свойства атомов, состоящих из ядра, отрицательного мюона и электронов — мюноклонных атомов — и перспективы их использования в химии и физике твердого тела.

МЮОННЫЕ И МЮНОКЛОННЫЕ АТОМЫ

Несколько слов о свойствах мюонов. Мюоны, как и электроны, принадлежат к одному классу элементарных частиц — лептонам. Они имеют полужельный спин и не участвуют в ядерных взаимодействиях. Электрический заряд мюона равен заряду электрона и может иметь положительный или отрицательный знак. Мюон примерно в 206 раз тяжелее электрона: его масса $m_\mu \approx 206m_e$, где m_e — масса элект-

рона. Среднее время жизни свободного мюона $\tau_0 = 2,2$ мкс. Он распадается по схеме



на электрон (позитрон) и электронное и мюонное нейтрино. Энергетический спектр электронов распада имеет максимум около 30 МэВ и простирается до 53 МэВ. Это значит, что энергия большинства электронов, возникающих при распаде мюонов, значительно превышает энергию при бета-распаде радиоактивных ядер.

Обычным источником мюонов является распад пиона $\pi \rightarrow \mu + \nu_\mu$, время жизни которого примерно в 100 раз меньше времени жизни мюона τ_0 . Пионы образуются в нуклон-нуклонных взаимодействиях на ускорителях заряженных частиц.

Проходя через вещество, отрицательный мюон замедляется и захватывается электрическим полем ядра, которое характеризуется зарядом Z . В результате образуется связанная система: мюонный атом (μZ)¹. Размеры (μZ -атома определяются радиусом К-оболочки мюона, т. е. оболочки, ближайшей к ядру. Этот радиус примерно в 206 раз меньше радиуса К-оболочки электрона (так как $m_\mu/m_e \approx 206$). Интересно, что для ядер с $Z > 30$ радиус К-оболочки мюона становится меньше радиуса самого ядра.

В процессе захвата мюона атомным ядром и перехода мюона на К-оболочку существовавшая первоначально электронная оболочка атома практически полностью разрушается. В столкновениях с другими атомами (μZ -атом может набрать $(Z-1)$ электронов и образовать нейтральную систему — мюноклонный атом ($\mu_n A$). Название «мюноклонный» впервые было предложено для обозначения атома с запол-

¹ Иногда такую систему называют мю-мезо-атомом.



Юрий Павлович Добрецов, кандидат физико-математических наук, доцент Московского инженерно-физического института. Научные интересы связаны с физикой элементарных частиц.

Борис Анатольевич Долгошеин, доктор физико-математических наук, профессор того же института. Область научных интересов связана с физикой элементарных частиц. В «Природе» опубликовал статью: Звук от нейтрино (1978, № 8), Лауреат Ленинской премии.

Виктор Григорьевич Кириллов-Угрюмов, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой экспериментальной физики того же института. Основные научные интересы связаны с физикой элементарных частиц и космических лучей. Заслуженный деятель науки и техники РСФСР. В «Природе» опубликовал статью: Картина неба в гамма-лучах (1977, № 12).

ненной электронной оболочкой, у которого роль ядра играет мюонный атом (μZ)².

Исследования мюонных атомов интенсивно проводились с 1947 г. и позволили определить такие важные характеристики, как распределение электрического заряда в ядре, структура нуклонного ядра, масса отрицательного мюона и др. Основная информация при экспериментальных исследованиях мюонных атомов — спектр энергетических уровней системы (μZ). Как и при изучении энергетических уровней атомного ядра влияние на уровни (μZ)-системы окружающих электронов ничтожно мало, и каких-либо выводов о состоянии электронных оболочек (μA)-атома из современных экспериментов с (μZ)-атомами сделать нельзя.

Как известно, исторически физика обычного атома развивалась от исследования электронных оболочек (т. е. химии

и атомной спектроскопии) к физике ядра. Что касается физики (μA)-атомов, то здесь вначале было изучено «ядро» системы — мюонный атом (μZ), и лишь недавно началось исследование самих (μA)-атомов.

Чем же интересны (μA)-атомы? Что нового может дать изучение их электронных оболочек? С точки зрения химика, атом с заполненной электронной оболочкой, в состав которого входит ядро Z и отрицательный мюон, представляет химический аналог соседнего в Периодической системе элемента с порядковым номером $(Z-1)$. Существенно, что это не просто химический аналог, но аналог «меченый», радиоактивный, свойства которого зависят от окружающей среды.

Время жизни мюона в связанном состоянии t_z отличается от t_0 за счет процесса захвата мюона ядром, конкурирующего с распадом. Вероятность захвата резко возрастает с увеличением заряда ядра Z (пропорционально Z^4).

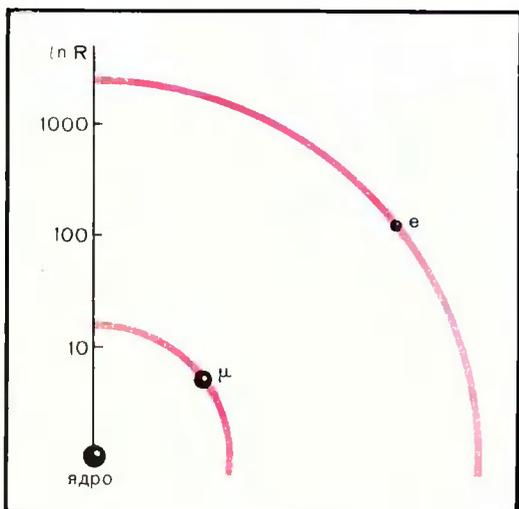
Время жизни мюонных атомов можно определить, измеряя число электронов

¹ Горелкин В. Н., Смилга В. П. — «ЖЭТФ», 1974, т. 66, с. 1201.

распада N_e как функцию времени t и пользуясь характерным для таких процессов соотношением

$$N_e(t) = N_0 \exp(-t/\tau_z). \quad (1)$$

Измерения τ_z в зависимости от величины заряда ядра Z показали, что для легких атомов это время составляет микросекунды, а для тяжелых уменьшается почти в 100 раз. Однако время образования атома в обычных условиях на несколько порядков меньше, чем τ_z , даже в случае



Характерные размеры в мюонном атоме. Схема составлена в логарифмическом масштабе: по радиусу отложен логарифм размера орбиты мюона и электрона.

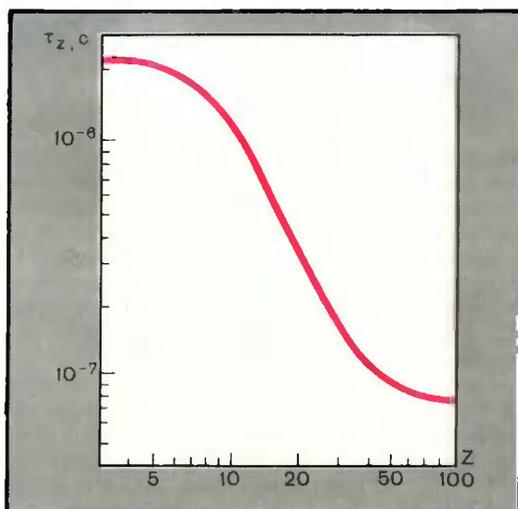
больших Z , поэтому время жизни мюонного атома и его «ядра» — мюонного атома можно считать одинаковым. Таким образом, время жизни (μA)-атомов значительно превышает времена, характерные для атомных столкновений даже в газах ($\approx 10^{-10}$ с) при обычных условиях. Следовательно (μA)-атомы как объекты для изучения межатомных взаимодействий являются достаточно стабильными системами.

МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ МЮНУКЛОННЫХ АТОМОВ

Для исследования (μA)-атомов используется метод ларморовой прецессии спина мюона в поперечном (относительно направления спина) магнитном поле. Этот

метод широко используется для изучения поведения мюонов в веществе, исследования мюония.

В основе метода лежат два известных явления. Во-первых, неравенство числа электронов, испускаемых при распаде мюонов по и против направления спина. Это неравенство характеризуется параметром асимметрии a , который равен разности числа распадов с вылетом электронов по направлению и против спина мюона, деленной на их сумму. Величина a , измеренная на опыте, зависит от степени



Зависимость времени жизни мюонного атома τ_z от заряда ядра Z .

поляризации мюона P_k в момент распада и равна $a = a_0 P_k$, где $a_0 = 0,33$. Так как один мюон дает при распаде один электрон, для измерения a необходимо зарегистрировать достаточно большое число μ -распадов. С другой стороны, каждый из мюонов распадается спустя различные промежутки времени после остановки. Это позволяет измерить a в разные моменты времени t и получить зависимость $a(t)$.

Во-вторых, в поперечном магнитном поле \vec{H} спин и магнитный момент частицы с массой m будут вращаться, прецессируя вокруг направления вектора \vec{H} с частотой

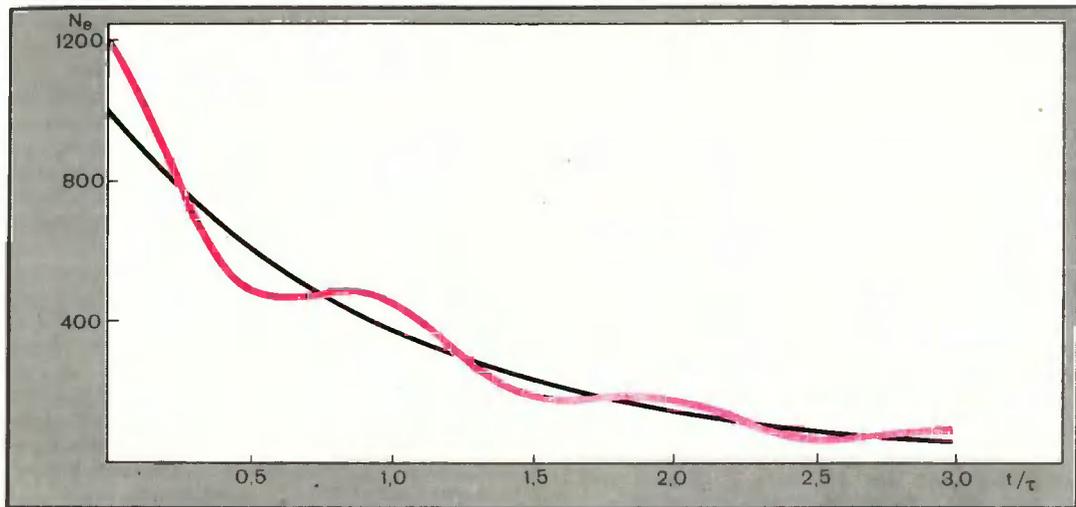
$$\omega = g e H / 2 m c,$$

где g — гиромагнитное отношение, e — заряд частицы, c — скорость света. Для сво-

бодного мюона с большой точностью $g=2$. Частоту $\omega_\mu = eH/m_\mu c$ обычно называют мюонной частотой. Прецессию можно экспериментально обнаружить, поместив мишень, в которой останавливаются поляризованные мюоны, в поперечное направлению движения мюонов магнитное поле. Если поляризация $P_k \neq 0$, то на опыте кривая распада, соответствующая соотношению (1), будет модулирована с частотой ω_μ :

$$N_e(t) = N_0 \exp(-t/\tau_\mu) [1 + a \cos(\omega_\mu t + \varphi)],$$

где φ — начальная фаза. (2)



Зависимость числа электронов распада от времени. Чёрная кривая соответствует уравнению (1); цветная — уравнению (2), т. е. случаю прецессии спина мюона во внешнем магнитном поле.

Из-за деполяризации отрицательного мюона, происходящей в процессе его перехода на К-оболочку, остаточная поляризация не превышает 15—20% от первоначальной. Поэтому a оказывается весьма малым — не более 0,05—0,06. Подобная картина прецессии будет, например, наблюдаться в ($\mu\text{нА}$)-атоме, электронная оболочка которого диамагнитна (спин и магнитный момент оболочки и ядра равны нулю) — прецессия спина происходит на частоте свободного мюона.

Иная картина прецессии получается в ($\mu\text{нА}$)-атомах, у которых электронная оболочка парамагнитна, т. е. имеет отличные от нуля спин и магнитный момент. Если тем или иным способом обеспечены условия для существования мюонного

атома в свободном состоянии, то такая система может быть обнаружена по прецессии ее полного момента $F = J \pm 1/2$ (где $J = L + S$ — полный момент электронной оболочки, L и S — ее орбитальный и спиновый моменты, $1/2$ — спин мюона) во внешнем магнитном поле H с частотой

$$\omega_A = g(F) M_e H.$$

где $g(F)$ — фактор Ланде, M_e — электронный магнетон Бора. В отличие от простого случая одночастотной прецессии спина сво-

бодного мюона, рассмотренного выше, здесь картина прецессии более сложная (многочастотная прецессия) и зависит от параметров L, S, J сформировавшейся оболочки мюонного атома. Так, в слабом магнитном поле (порядка нескольких эрстед), при S-состоянии электронной оболочки ($L=0, J=1/2$) прецессия будет происходить на одной частоте: $\omega_A = \omega_0$, а при P-состоянии ($L=1, J=1/2, 3/2$) уже на трех частотах: $\omega_0/3, \omega_0, \frac{5}{3}\omega_0$ (здесь через ω_0 обозначена частота прецессии):

$$\omega_0 = eH/2 m_e c.$$

Важно отметить, что ω_0 примерно в сто раз больше, чем ω_μ . Поэтому наблюдение прецессии спина отрицательного мюона с частотой ω_A является прямым доказательством существования парамагнитного мюонного атома. При этом набор значений ω_A определяет состояние и конфигурацию электронной оболочки образовавшегося атома.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ МЮНУКЛОННЫХ АТОМОВ

Напомним, что наблюдение частот прецессии (μN)-атома возможно только при условии, что определенные состояния его электронной оболочки сохраняются в течение времени, не меньшего, чем период прецессии, т. е. необходимо «убеждать» мюноклонный атом от столкновений с «опасными» соседями — парамагнитными или химически активными атомами среды — и других взаимодействий, при которых может измениться состояние его электронной оболочки. Чтобы понизить (или исключить) вероятность химической реакции, в которую может вступить образовавшийся атом, его поиск в свободном состоянии целесообразно проводить, очевидно, в химически инертной среде, например в атмосфере благородного газа. При торможении отрицательных мюонов в газовой мишени, наполненной благородными газами (Ne, Ar, Kr, Xe), могут формироваться мюноклонные атомы — аналоги водорода или соответствующего галогена (F, Cl, Br, I).

Впервые парамагнитные (μN)-атомы были обнаружены в эксперименте, в котором в качестве мишени использовался благородный газ неон при давлении около 40 атм³.

Рассмотрим процесс формирования мюноклонного атома фтора. Для того чтобы его ядро (мюонный атом) «обросло» электронной оболочкой, газ должен содержать химически инертную примесь, обладающую потенциалом ионизации, меньшим, чем энергия связи последнего электрона в мюноклонном атоме. Для этой цели выбран ксенон (его потенциал ионизации составляет 12,08 эВ). В этом случае в результате столкновений положительного иона ($\mu - {}^{20}\text{Ne}$) с атомами ксенона происходит их ионизация, и освобождающиеся электроны формируют электронную оболочку мюноклонного атома фтора, аналогичную электронной оболочке обычного нейтрального атома фтора. Атомы ксенона, имеющие низкий потенциал ионизации, служат, образно говоря, «донором» электронов в этом процессе. Основное состояние электронной оболочки образующегося атома мюноклонного фтора ${}^2\text{P}_{3/2}$, а ближайший (метастабильный) уровень ${}^2\text{P}_{1/2}$ лежит выше

на 0,05 эВ. Ожидаемые частоты прецессии полного момента, как указывалось выше, равны $1/3\omega_0$ для ${}^2\text{P}_{1/2}$, ω_0 и $5/3\omega_0$ для ${}^2\text{P}_{3/2}$.

Рассмотрим более подробно, как были обнаружены мюноклонные атомы фтора. Эксперимент проводился на пучке мюонов синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ), г. Дубна. В опыте регистрировалось распределение интервалов времени между остановкой мюонов в мишени и вылетом электронов распада. Для этой цели использовался временной многоканальный анализатор. Наиболее важными моментами были обеспечение высокой чистоты газа мишени и эффективная регистрация остановок в нем мюонов. Для регистрации остановок была разработана оригинальная управляемая газовая мишень, которая представляла собой цилиндр из нержавеющей стали, способный выдерживать большие давления (около 60 атм). Концентрический с корпусом мишени и изолированный от него электрод, выполненный в виде тонкой металлической сетки, разделял мишень на центральную область, в которой наблюдались остановки мюонов, и периферический слой у стенок. Весь объем мишени контролировался фотумножителем (ФЭУ). При попадании мюона в объем мишени (это событие регистрировалось с помощью специальной электронной схемы) на электрод подавался короткий (около 1000 нс) высоковольтный импульс напряжения. Если мюон не останавливался в газе, а пересекал всю мишень, электроны, образовавшиеся в результате ионизации газа в периферическом слое, ускорялись электрическим полем. При этом возникала вспышка света, и на выходе ФЭУ появлялся сигнал, синхронный с импульсом на электроде, что указывало на то, что частица прошла сквозь газ, не останавливаясь. Отсутствие синхронного сигнала с ФЭУ означало остановку в газе. На входе мюонов в мишень промежуток между корпусом и электродом был заполнен светонепроницаемым изолятором.

Электроны ($\mu^- e$)-распада регистрировались телескопом счетчиков. Измеренное в диапазоне 1—5 мкс время жизни отрицательных мюонов оказалось равным $1,500 \pm 0,009$ мкс. Это доказывает, что в анализируемом участке временного спектра регистрировались только электроны от распада мюонов, захваченных атомами неона.

Наблюдение образования мюноклонных атомов фтора проводилось в смеси Ne (42 атм) и Xe (1 атм) путем измерения частоты прецессии полного момента атома

³ Варламов В. Г., Добрецов Ю. П., Долгошеин Б. А., Кириллов-Угрюмов В. Г. — «Письма в ЖЭТФ», 1973, т. 17, с. 186; они же. — «Ядерная физика», 1975, т. 21, с. 120.

в магнитных полях 1,1 и 2,1 Э. Как указывалось выше, прецессия полного момента мюонклонного фтора должна происходить на трех частотах. Поиск частот производился путем гармонического анализа полученного экспериментально временного распределения электронов.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЮУКЛОННЫХ АТОМОВ

Как мы видели выше, для того чтобы наблюдать прецессию свободных (μA)-ато-

мов, необходимо в течение времени, соответствующего нескольким периодам прецессии, предохранить их от воздействия внешних условий, которые могут изменить их состояние. С этой целью в эксперименте инертный газ в течение опыта подвергался тщательной химической очистке от посторонних примесей. Особенно опасна примесь парамагнитных молекул (в частности, кислорода). При рассеянии (μA) на парамагнитных молекулах может произойти переворот спина электрона и соответственно разрушение картины прецессии.

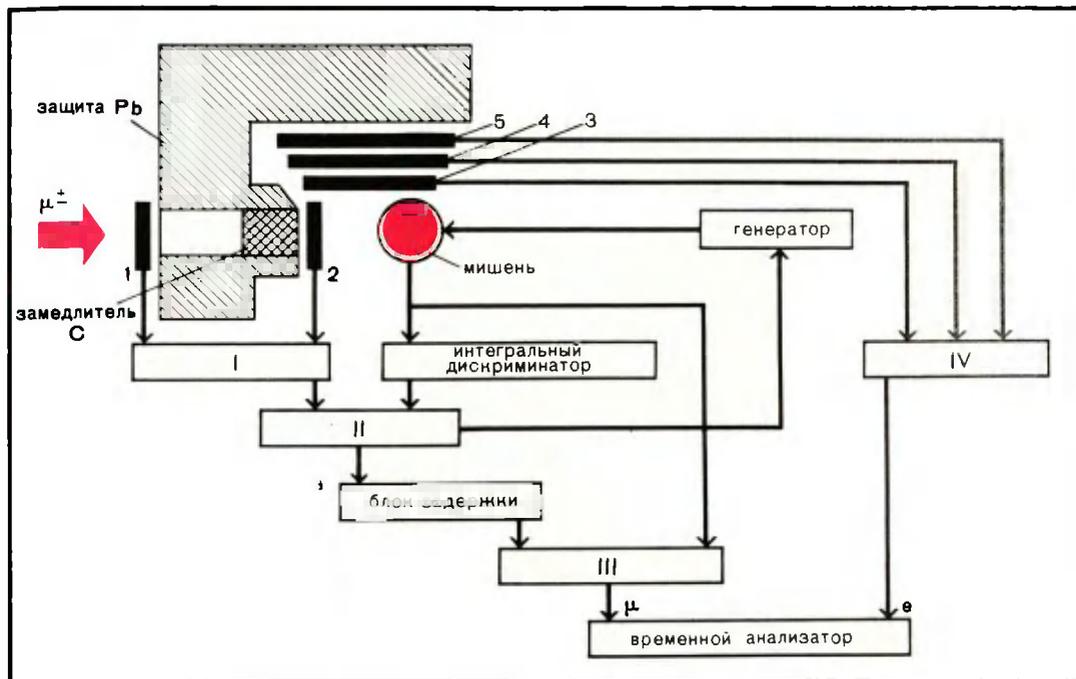
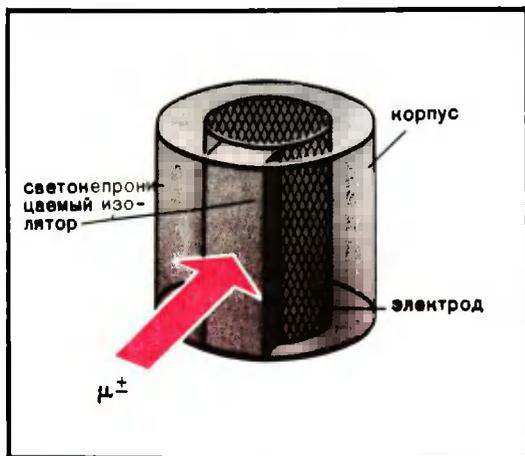


Схема экспериментальной установки. 1—5 — сцинтилляционные счетчики; I—IV — схемы совпадений.

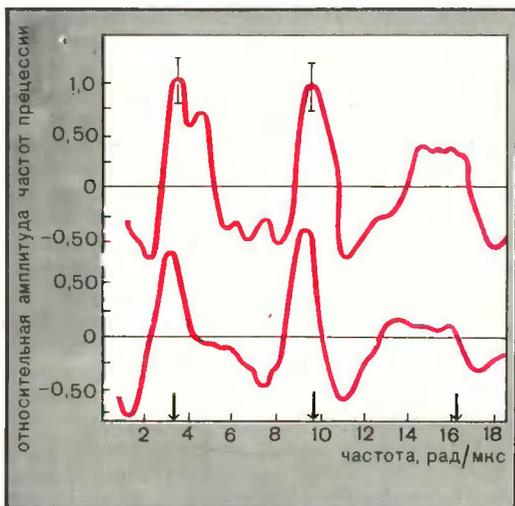


Схематическое изображение газовой мишени.

Прецессия на частотах мюонклонного атома разрушается и тогда, когда (μA) вступает в химическую реакцию и образует диамагнитную молекулу. Таким образом, разрушение прецессионной картины, т. е. уменьшение амплитуды прецессии на частотах (μA)-атома, является результатом изменений, происходящих в электронной оболочке этого атома при его взаимодействии с окружающей средой. Значит, измеряя

изменение амплитуды прецессии во времени, мы можем проследить за судьбой одиночных атомов в веществе, т. е. использовать ($\mu\text{N A}$)-атом в качестве зонда для изучения физико-химических свойств вещества (скорости химических реакций, внутренние магнитные и электрические поля и др.).

Влияние среды на прецессию ($\mu\text{N A}$)-атомов было подробно рассмотрено В. С. Евсеевым⁴. В частности, экспериментальное отсутствие прецессии на частоте мюонуклонного атома водорода в углеводородах, воде и водных растворах перекиси водо-



Результаты гармонического анализа временных распределений электронов: — экспериментального, $H=1,1$ Э [вверх]; — расчетного, ожидаемого в случае образования мюонуклонного фтора [вниз].

Стрелками обозначены ожидаемые частоты прецессии в поле $H=1,1$ Э. Кривые свидетельствуют о наличии в эксперименте именно тех частот прецессии, которые, с точки зрения теории, должны наблюдаться при образовании мюонуклонного атома фтора.

рода объясняется тем, что время химической реакции в этих случаях существенно меньше периода прецессии. Это основная причина, по которой, по-видимому, пока не наблюдалась прецессия ($\mu\text{N A}$)-атомов в конденсированных средах. Одна из возможностей изучения ($\mu\text{N A}$)-атомов, образу-

ющихся в конденсированных средах, состоит в использовании так называемого явления кулоновского взрыва. Суть этого явления состоит в кулоновском расталкивании ионов или атомных ядер, входящих в состав молекулы, при срыве с них электронов в процессе захвата мюона атомами.

Если при этом взрыве образующийся ($\mu\text{N A}$)-атом выбрасывается с тонкой подложки конденсированного вещества в окружающий мишень инертный газ, то условия существования в благородном газе позволяют наблюдать в свободном состоянии мюонуклонные атомы — химические аналоги большого числа химических элементов.

При добавлении в атмосферу благородного газа различных химических соединений метод лармовой прецессии спина ($\mu\text{N A}$)-атомов позволяет изучать скорость химических реакций. Как правило, молекулы, образующиеся в результате химической реакции ($\mu\text{N A}$)-атомов с атомами добавки, диамагнитны, т. е. магнитный момент оболочки молекулы равен нулю. Поэтому после вступления в химическую реакцию магнитный момент мюона начинает вращаться с частотой, в 100 раз меньшей или, что то же самое, с периодом, в 100 раз большим. Это означает, что, с точки зрения условий наблюдения прецессии на частоте ω_0 , зависимость счета электронов ($\mu \rightarrow e$)-распада от этой частоты как бы исчезает, что эквивалентно уменьшению коэффициента асимметрии. Так как ($\mu\text{N A}$)-атомы вступают в химическое взаимодействие в разные моменты времени, то, измеряя зависимость $a(t)$, можно определить среднее время $\tau_{\text{хим}}$ до вступления в химическую реакцию, т. е. скорость химической реакции.

Используя мюонуклонные атомы при изучении кинетики химических реакций, следует иметь в виду следующее:

мюонуклонные атомы могут быть химическими аналогами обычных атомов либо атомарных ионов;

в зависимости от плотности мишени и концентрации добавки мюонуклонные атомы могут не успеть замедлиться до тепловых скоростей к моменту химического взаимодействия (термолизуются). Поэтому на опыте могут получиться значения $\tau_{\text{хим}}$, соответствующие «горячим» ($\mu\text{N A}$)-атомам.

Возможности исследования физико-химических свойств вещества, которые возникают при использовании ($\mu\text{N A}$)-атомов, во многом аналогичны соответствующим возможностям с использованием более простого мюонного атома — мюония, в со-

⁴ Евсеев В. С. Материалы 9-й зимней школы ЛИЯФ. Л., 1974, т. 3, с. 367.

став которого входят положительный мюон и электрон. Мюоний был впервые обнаружен еще в 1960 г. В. Хьюзом и сотрудниками (США)⁵. В настоящее время свободный мюоний наблюдается в большом числе веществ, и мюониевый метод изучения физико-химических свойств веществ интенсивно развивается⁶. Если в случае мюония мы имеем дело с химическим аналогом водорода, то мюонуклонные атомы могут иметь электронную оболочку большого количества химических элементов, предоставляя таким образом более широкие возможности для исследований (например, вместо химии водорода — химия галогенов).

Значительный интерес представляет сверхтонкая структура в спектрах (μN А)-атомов. Как известно, эта структура возникает за счет взаимодействия электронов атома с магнитным моментом ядра. У атомов, спин ядра которых равен нулю, сверхтонкая структура отсутствует. В (μN А)-системе «ядро», т. е. мюонный атом, всегда имеет магнитный момент, отличный от нуля. Действительно, даже если нуклонное ядро имеет спин $I_n=0$, спин (μZ)-системы будет равен $I_{\mu\text{Z}}=1/2$, т. е. спину мюона и, соответственно, магнитный момент, равный магнитному моменту мюона M_μ . Существенно, что M_μ значительно превышает магнитные моменты нуклонных ядер и в 3,18 раза больше аномального магнитного момента протона. Таким образом, сверхтонкая структура (μN А)-атомов должна быть гораздо более ярко выражена, чем у обычных атомов. Полагая для определенности $I_n=0$, для величины сверхтонкого расщепления уровня ΔW можно получить следующее выражение:

$$\Delta W \sim M_\mu M_e^{\text{эфф}} \cdot |\psi_e(0)|^2,$$

где $M_e^{\text{эфф}}$ — эффективный результирующий магнитный момент электронов (μN А)-атома, а $|\psi_e(0)|^2$ — плотность вероятности нахождения электрона на мюоне. В первом приближении $|\psi_e(0)|^2 \sim a_0^{-3}$, где a_0 — размер (μN А)-атома. Таким образом, измеряя на опыте ΔW , можно, рассчитав $M_e^{\text{эфф}}$, полу-

чить данные о величине магнитного момента мюона в связанном состоянии либо об электронной плотности атома. Наконец, (μN А)-атомы в основном состоянии обладают электрическим квадрупольным моментом из-за нарушения центральной симметрии сверхтонким расщеплением⁷. Это дает возможность исследовать с помощью мюонуклонных атомов не только магнитные, но и неоднородные внутрикристаллические электрические поля.

Наконец, особый интерес представляет самая простая (μN А)-система — мюонуклонный атом водорода ($\mu\text{-He e}^-$). Здесь «мезоядро» ($\mu\text{-He}$)⁺ однозарядно и вся система — химический аналог атома водорода. Изучение сверхтонкого расщепления этой системы может быть произведено с высокой точностью с помощью резонансных методов (индуцирование перехода между уровнем сверхтонкой структуры радиочастотным полем). Такие опыты в настоящее время проводятся в Швейцарском институте ядерных исследований и явятся новым прецизионным методом определения постоянной тонкой структуры.

Физика мюонуклонных атомов в настоящее время делает шаг от получения первых качественных результатов к детальным количественным исследованиям как теоретическим, так и экспериментальным. Экспериментально обнаружены еще два типа мюонуклонных атомов: мюонуклонный водород (в Лос-Аламосе, США) и мюонуклонный хлор (Московский инженерно-физический институт и ОИЯИ).

Можно быть уверенным, что в ближайшем будущем, особенно в связи с пуском мезонных фабрик — ускорителей с большой интенсивностью пучков мюонов, — новый метод исследования физико-химических свойств вещества станет мощным инструментом в руках исследователей.

⁷ Барышевский В. Г., Кутень С. А. Мезоны в веществе. Труды Международного симпозиума по проблемам мезонной химии и мезомолекулярных процессов в веществе, Дубна, 7—10 июня 1977 г., с. 342.

⁵ Hughes V. W., McColm D. W., Ziocck K., Prepost R.—«Phys. Rev. Lett.», 1960, v. 5, p. 63; Idem.—«Phys. Rev.», 1970, v. A1, p. 595.

⁶ Фирсов В. Г. Проблемы ядерной физики и физики элементарных частиц. М., 1975, с. 311; Гуревич И. И., Никольский Б. А.—«УФН», 1976, т. 119, с. 165.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Вайсенберг А. О. МЮ-МЕЗОН, М., 1964.

Ким Е. МЕЗОННЫЕ АТОМЫ И ЯДЕРНАЯ СТРУКТУРА. Пер. с англ. М., 1975.

«Венера-11 и -12» исследуют космические γ -всплески

С. В. Голенецкий, Е. П. Мазец



Сергей Владимирович Голенецкий, кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе АН СССР. Область научных интересов — рентгеновская и гамма-астрономия, космические исследования.



Евгений Павлович Мазец, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник того же института. Область научных интересов — рентгеновская и гамма-астрономия, космические исследования.

За неполные 20 лет своего существования внеатмосферная астрономия принесла немало поистине удивительных открытий. Одно из них — обнаружение интенсивных всплесков космического γ -излучения. История этого открытия своеобразна. С 1963 г. в США в связи с соглашением о прекращении ядерных испытаний начала действовать система контроля за ядерными взрывами в верхней атмосфере и космическом пространстве. Эта система была реализована в виде нескольких спутников «Вела», запускаемых попарно на круговые орбиты диаметром 240 000 км. На спутниках были размещены приборы, регистрирующие γ -излучение в характерном для

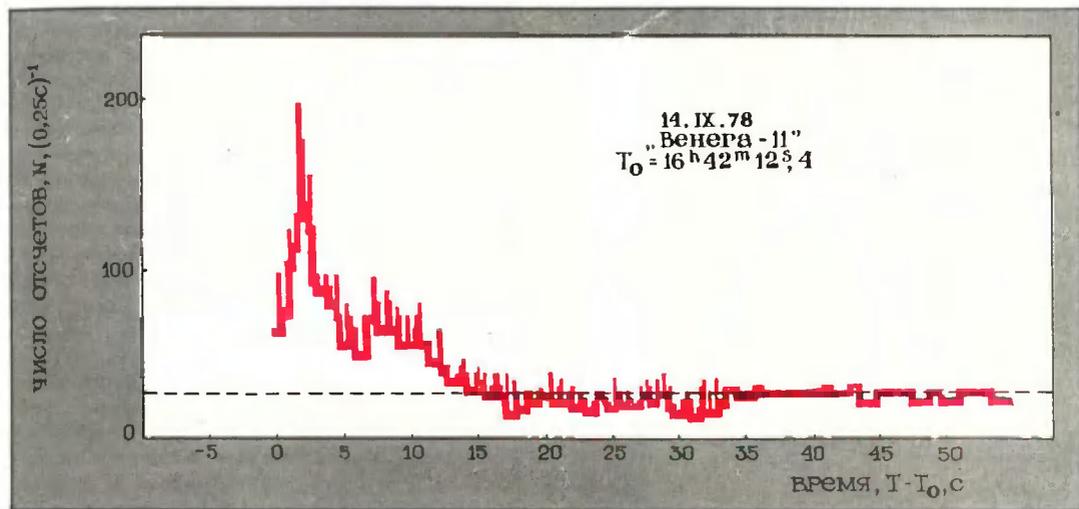
ядерных взрывов диапазоне 0,15—1,5 МэВ. По инициативе астрофизиков-теоретиков сотрудники Лос-Аламосской лаборатории, проводившие наблюдения, начали поиски связей между потоком космического γ -излучения и вспышками сверхновых звезд в других галактиках. Результаты поисков оказались отрицательными, но было обнаружено несколько случаев спорадического кратковременного повышения скорости счета γ -квантов, наблюдававшихся практически одновременно на двух спутниках, удаленных друг от друга на расстояние около $2 \cdot 10^5$ км.

Последнее обстоятельство явилось решающим в открытии γ -всплесков, так

как позволило, с одной стороны, исключить возможные локальные причины таких событий, а с другой стороны, по величине небольшого относительного запаздывания прихода всплесков оценить направление на источник и исключить связь этих всплесков с телами Солнечной системы. Сообщение Р. Клебсадела, И. Стронга и Р. Олсона об этом явлении появилось в 1973 г.¹ и содержало сведения о 16 всплесках, первый из которых был датирован еще 1967 г. Вскоре некоторые из этих

диапазонах, показаний ионосферных станций; были просмотрены даже записи детекторов гравитационных волн. Однако никаких сопутствующих γ -всплескам явлений обнаружить не удалось.

Число случаев наблюдения γ -всплесков с помощью различных космических аппаратов постепенно увеличивалось и к началу прошлого года достигло примерно 50. Регистрация их осуществлялась самыми различными приборами, как правило, плохо приспособленными для изучения этого



Всплеск космического γ -излучения, зарегистрированный в первый день наблюдений приборами «Венеры-11». Пунктир — уровень фона. Временное разрешение приборов — 0,25 с.

γ -всплесков были обнаружены и при расшифровке показаний γ -астрономических приборов на нескольких других спутниках, работавших в то же время, в том числе и на советском спутнике «Космос-461» с нашей аппаратурой². Были подняты также архивы наблюдений в оптическом и радио-

явления. Тем не менее некоторые общие характеристики γ -всплесков установлены: их длительность меняется от долей до десятков секунд; в большинстве случаев всплеск состоит из нескольких последовательных, более или менее четко выраженных пиков; полный поток энергии во всплесках 10^{-5} — 10^{-4} эрг/см², частота их появления составляет 5—8 событий в год.

Наиболее поразительна энергетика нового явления: потоки γ -излучения во всплесках существенно превышают интенсивность диффузного метагалактического фона и на несколько порядков величины превосходят поток излучения от известных дискретных источников. Если источники γ -всплесков расположены в нашей Галактике, то оценка среднего выделения энергии за время порядка нескольких секунд только в γ -лучах дает величину $\sim 5 \cdot 10^{39}$ эрг, что превышает суммарную светимость Галактики в этом диапазоне ($\sim 5 \cdot 10^{38}$ эрг/с). Напомним, что полная светимость нашего Солнца равна $4 \cdot 10^{33}$ эрг/с. Если

¹ Klebesadel R. W., Strong I. B., Olson R. A. — «Astroph. J.», 1973, v. 182, L 85. Подробнее об этом см.: «Природа», 1974, № 3, с. 93.

² Мазец Е. П., Голенецкий С. В., Ильинский В. Н. Вспышка космического γ -излучения по наблюдениям на ИСЗ «Космос-461». — «Природа», 1974, № 3.

же источники γ -всплесков внегалактические, то оценки их энергетики дают величины, фантастически большие даже по астрофизическим масштабам — 10^{44} — 10^{46} эрг. Особенно интересно, что источники всплесков — очень компактные объекты. Длительность отдельных импульсов в некоторых всплесках не превышает 0,01 с. Это означает, что размеры источника не могут превышать длины пути, который проходит свет за это время, т. е. ~ 3000 км.

Естественно, что такие необычные

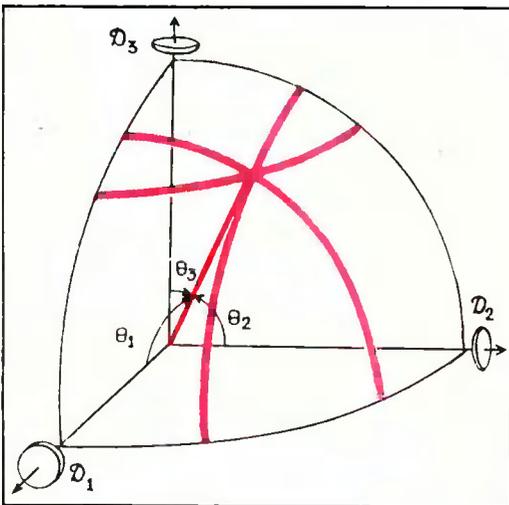


Схема определения направления на источник γ -всплеска по показаниям трех детекторов (D_1 , D_2 , D_3) аппаратуры «Конус»; $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ — углы падения плоского потока γ -излучения на соответствующий детектор.

характеристики нового явления привлекли внимание очень многих астрофизиков. Поначалу число попыток объяснить природу всплесков заметно превосходило число зарегистрированных событий. Спектр предложенных теоретических моделей очень широк, и перечень возможных кандидатов в источники γ -всплесков включает обычные звезды, белые карлики, новые и сверхновые, нейтронные звезды, черные и белые дыры, антивещество, ультрарелятивистские метеоры, падение комет на компактные объекты и многое другое. По шутливому высказыванию М. Рудермана (Колумбийский университет, США), выступившего с обзором теорий γ -всплесков на

VII симпозиуме по релятивистской астрофизике, все эти теории, за исключением, может быть, одной, имеют одну общую черту — они не объясняют природы γ -всплесков, и трудно узнать ту «темную лошадку», которая придет к финишу первой.

Конечно, трудности физической интерпретации в значительной мере обусловлены все еще значительной неопределенностью экспериментальной ситуации — недостаточностью сведений о характеристиках событий и отсутствием пространственного отождествления источников γ -всплесков с какими-либо известными астрофизическими объектами.

Во всяком случае, в экспериментальном плане стало ясно, что приемлемые темпы получения новой информации могут быть достигнуты только путем создания специальной аппаратуры для исследования γ -всплесков. Чувствительность таких приборов должна быть увеличена более чем на порядок с тем, чтобы стало возможным изучать более слабые, но зато и более частые γ -всплески. С этой целью в ленинградском Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе АН СССР нами была разработана аппаратура «Конус», предназначенная для установки на межпланетных станциях «Венера-11» и «Венера-12».

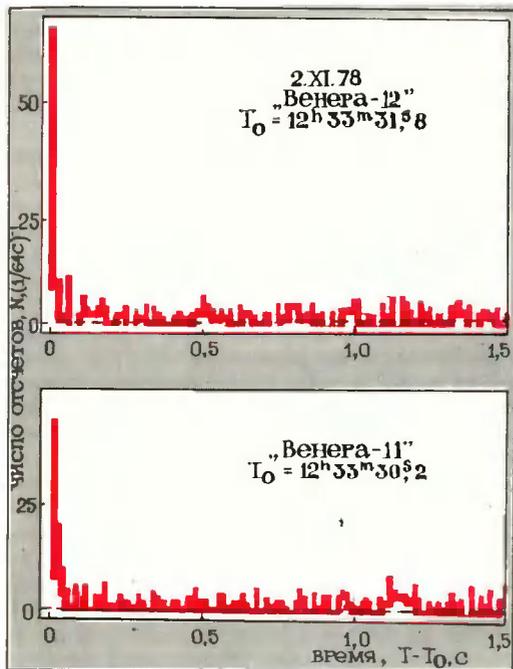
Пороговая чувствительность обнаружения γ -всплесков составила для этой аппаратуры $(3 \div 5) \cdot 10^{-7}$ эрг/см², что соответствует прохождению через 1 см² поверхности детектора всего 1—2 γ -квантов за все время всплеска. Такая аппаратура позволяет проводить детальное изучение временной структуры всплесков с разрешением в 1/64 и 1/4 с. Подробными спектральными измерениями охвачен широкий энергетический диапазон от 20 кэВ до 2 МэВ. Чтобы обнаружить и изучить возможную эволюцию спектрального состава γ -излучения, энергетические спектры измеряются в ходе всплеска один за другим восемь раз.

Точная временная привязка зарегистрированных γ -всплесков позволяет определить величину временного интервала, разделяющего приход всплеска на одну и другую межпланетную станцию. По величине этой задержки оценивается направление прихода излучения. К сожалению, этот общепринятый, так называемый триангуля-

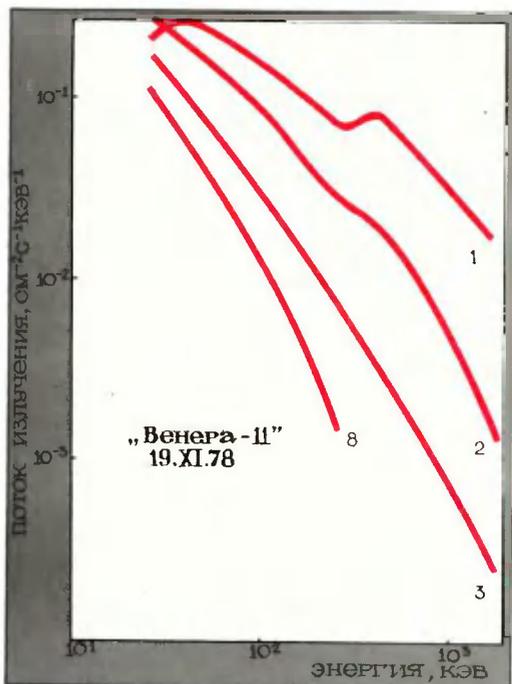
ционный³ метод при наблюдении γ -всплеска с двух космических аппаратов не дает полной информации о положении источника на небесной сфере. Позиция источника характеризуется двумя угловыми координатами, а триангуляционный метод позволяет определить лишь угол между направлением распространения излучения и прямой, соединяющей два космических аппарата. Угол поворота вокруг этой оси остается неопределенным, и, следовательно, такие измерения дают кольцо на небес-

небе в двух точках. Выбор из этих двух альтернативных позиций одной истинной возможен только при привлечении данных наблюдений из четвертой точки пространства, да и то при условии, что четвертый аппарат находится вне плоскости, проходящей через первые три. Таким образом, определение координат источника γ -всплеска — технически непростая задача.

Поэтому принципиально новой является способность аппаратуры «Конус» определять координаты источника при наб-



γ -всплеск в виде резкого одиночного импульса длительностью менее 0,01 с, зарегистрированный объемами станциями «Венера». Размеры излучающей области источника не могут быть больше 3000 км [расстояние, которое проходит свет за такое время]. Пунктир — уровень фона. Временное разрешение приборов — 1/64 с.



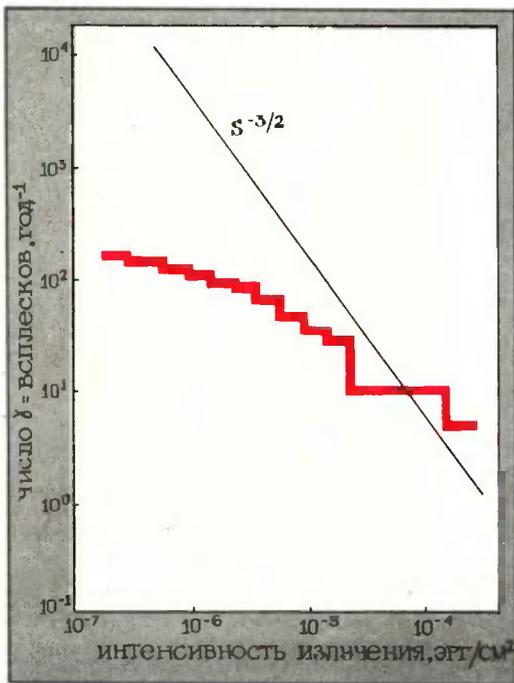
Пример чрезвычайно сильного изменения спектрального состава излучения в ходе γ -всплеска 19.XI.78 г. Энергетические спектры измерены последовательно один за другим в течение восьми (1, 2, 3...8) четырехсекундных интервалов времени.

ной сфере, в одной из точек которого должен находиться источник. Наблюдения γ -всплеска с трех достаточно удаленных друг от друга космических аппаратов дают три такие кольца, которые пересекаются на

людении его только с одного космического аппарата. Используется система из шести одинаковых детекторов γ -излучения; чувствительность каждого детектора определенным образом зависит от угла падения излучения на его поверхность, а их оси направлены по положительным и отрицательным направлениям осей декартовой

³ Подробнее об этом методе см.: «Природа», 1979, № 9, с. 102.

системы координат. Такая система, обладая в целом равномерной чувствительностью к γ -всплескам во всем направлениям, позволяет устанавливать положение источника γ -всплеска на небесной сфере с точностью $1-4^\circ$. По точности этот метод значительно уступает триангуляционным измерениям; кроме того, он требует полной стабилизации космического аппарата в пространстве и в случае ориентации аппарата только по одной оси позволяет получить лишь кольцевую область локализации. Однако



Распределение зарегистрированных γ -всплесков по их интенсивности (цветная линия) резко отличается от закона $S^{-3/2}$ (S — интенсивность излучения γ -всплеска). Такой результат противоречит предположениям о метагалактическом происхождении γ -всплесков. График построен в логарифмических координатах.

автономность этого метода позволяет оперативно решить такой важный вопрос, как получение статистической картины распределения источников по небесной сфере. Очевидны преимущества сочетания в одном эксперименте обоих методов определения координат источников.

Станции «Венера-11 и -12» были запущены в начале сентября 1978 г. Как из-

вестно, на их борту была установлена также французская аппаратура для изучения γ -всплесков. Эта аппаратура обладает несколько меньшей чувствительностью при обнаружении γ -всплесков, но позволяет изучать их временную структуру с разрешением до $1/512$ с. Основное назначение этой аппаратуры — установить точное положение источников сильных γ -всплесков, чтобы отождествить их с определенными астрофизическими объектами.

За первые три месяца полета станции к Венере аппаратура «Конус» зарегистрировала 36 γ -всплесков с интенсивностью от $3 \cdot 10^{-7}$ до $3 \cdot 10^{-4}$ эрг/см² при общей продолжительности наблюдений 77 сут. (Высокий уровень чувствительности аппаратуры позволяет наблюдать γ -всплеск в среднем каждые два дня.) Такое число зарегистрированных событий уже приближается к числу γ -всплесков, наблюдавшихся за все предыдущие годы их изучения. После посадки спускаемых аппаратов на поверхность планеты станции «Венера-11 и -12» продолжают полет по орбите вокруг Солнца, и наблюдения γ -всплесков продолжаютс⁴.

Новая информация о γ -всплесках, полученная в эксперименте «Конус», очень интересна. Временная структура всплесков характеризуется большим разнообразием; наблюдаются всплески продолжительные и короткие, в виде одиночных импульсов и состоящие из последовательности импульсов, разделенных часто значительными, до десятков секунд, интервалами времени. Весьма примечателен γ -всплеск, происшедший 2.XI.78 г. Он представляет собой одиночный, очень короткий ($\sim 0,01$ с) импульс излучения. Кроме того, во многих всплесках обнаружена сильная эволюция спектрального состава излучения. Такая непрерывная трансформация энергетического спектра при переходе от одной фазы всплеска к другой отражает одну из наиболее существенных особенностей этого явления, и, по нашему мнению, этот момент необходимо учитывать при построении теоретической модели γ -всплесков.

Статистический анализ новых данных дал убедительные доказательства галактической локализации источников γ -всплесков. Были использованы два статистических теста, уже успешно применявшихся в

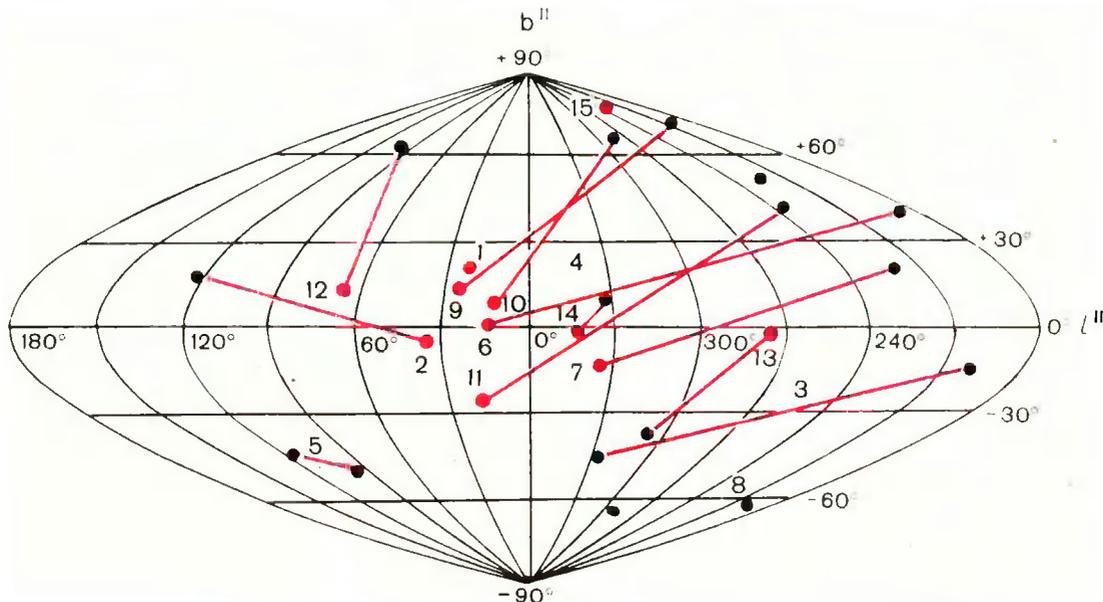
⁴ К настоящему времени число зарегистрированных и изученных γ -всплесков превысило 100.

астрофизике, например, при выяснении природы космических радиоисточников или дискретных источников рентгеновского излучения. Первый из них заключается в анализе вида зависимости, которой подчиняется рост числа зарегистрированных источников при переходе ко все более слабым и, в среднем, более удаленным объектам. Второй тест состоит в анализе распределения источников по небесной сфере. Смысл такого подхода прост и ясен. Если источники распределены в простран-

стве равномерно, то с увеличением размера R охваченной наблюдениями области их число N будет возрастать, как R^3 . Наблюдаемая интенсивность изучения γ -всплесков S , приходящих со все больших расстояний, будет меняться обратно пропорционально квадрату расстояния, т. е. $S \sim R^{-2}$. Таким образом, число наблюдаемых γ -всплесков с интенсивностью

больше определенной величины S , $N(>S)$, будет при уменьшении S возрастать, как $S^{-3/2}$, т. е. $N(>S) \sim S^{-3/2}$. Естественно также, что при однородном распределении источников в пространстве равномерным будет и их распределение по небесной сфере.

Как известно, наша Галактика принадлежит к классу спиральных и представляет собой сравнительно плоскую звездную систему, толщина которой намного меньше ее диаметра. Значительная часть



Распределение источников γ -всплесков по небесной сфере $\{b^{II}, l^{II}$ — галактические координаты). По условиям эксперимента осуществлена только двузначная локализация источников для 15 γ -всплесков. Как видно, альтернативные позиции источников подразделяются на 2 группы, одна из которых (цветные кружки) охватывает галактический центр. Такое расположение источников свидетельствует об их галактическом происхождении и, более того, указывает на их преимущественное расположение в центральной части нашей Галактики.

стве равномерно, то с увеличением размера R охваченной наблюдениями области их число N будет возрастать, как R^3 . Наблюдаемая интенсивность изучения γ -всплесков S , приходящих со все больших расстояний, будет меняться обратно пропорционально квадрату расстояния, т. е. $S \sim R^{-2}$. Таким образом, число наблюдаемых γ -всплесков с интенсивностью

звезд Галактики образует тонкий, толщиной в несколько сотен парсек диск, в котором на расстоянии ~ 10 кпс от центра Галактики расположено Солнце. Диск окружен звездами сферической составляющей Галактики, для которых характерна концентрация к центру. Следовательно, выполнение закона $N \sim S^{-3/2}$ и равномерное распределение источников по небу означало бы, что источники γ -всплесков расположены в Метагалактике, далеко за пределами нашей звездной системы. Конечно, такую же картину мы наблюдали бы и в случае расположения источников в ближайшей по галактическим масштабам окрестности Солнца, на расстояниях не более 100—300 пс. Однако в том случае, если источники расположены в нашей Галактике, но на значительно больших расстояниях, следует ожидать сильного отклонения от закона $S^{-3/2}$, распределение ис-

точников по небу также должно заметно отличаться от равномерного и характеризоваться значительной концентрацией к плоскости и центру галактического диска.

Именно такая картина обнаруживается при рассмотрении экспериментальных данных. График зависимости $N(>S)$, построенный в логарифмических координатах, резко отличается от прямой с наклоном $-3/2$ (как было бы в случае зависимости $N \sim S^{-3/2}$), отражая тот факт, что число наблюдаемых всплесков при понижении порога регистрации счетчиков возрастает значительно медленнее, чем следовало бы ожидать в случае неограниченного однородного распределения источников в пространстве. Более того, заметна тенденция к полному ограничению этого роста, которая может означать, что наиболее слабые γ -всплески приходят из самых удаленных областей Галактики.

По условиям наблюдений на первой стадии эксперимента оказалось возможным осуществиться в основном только двузначную локализацию источников для 15 γ -всплесков. Нанесенные на карту небесной сферы в галактических координатах b^{II} , l^{II} альтернативные позиции источников всплесков не располагаются на ней беспорядочно, а подразделяются на две группы, одна из которых, более компактная, охватывает галактический центр. В целом, в круг радиусом $\sim 35^\circ$ ($\sim 10\%$ от всей небесной сферы) попадают позиции 9 источников из 15. Кажется крайне маловероятным, что такая группировка случайна и что в действительности истинные позиции источников распределены равномерно по двум группам. Есть все основания полагать, что картина, представленная на карте темными кружками, достаточно полно отражает реальную ситуацию.

Рассматриваемые совместно вид зависимости $N(>S)$ и факт сильной концентрации источников γ -всплесков в направлении на галактический центр с определенностью указывают на то, что эти источники расположены в нашей Галактике. Более того, преимущественная концентрация источников в направлении на галактический центр, а не к плоскости диска, означает, что источники не принадлежат к населению плоской подсистемы Галактики и средние расстояния до них сопоставимы с расстоянием до центра Галактики, составляя несколько килопарсек. Отсюда, в свою очередь, следует вывод, что среднее выделение энергии источника в γ -диапазоне достигает величины $10^{40} - 10^{41}$ эрг (и это за несколько секунд!). Такая энер-

гетика налагает ограничения на применимость многих теоретических моделей γ -всплесков.

В настоящее время установлено, что излучение многих дискретных рентгеновских источников обусловлено квазистационарной аккрецией вещества на компактный объект в тесных двойных системах (нейтронную звезду или черную дыру). Теория таких процессов успешно разрабатывается группой Я. Б. Зельдовича (ИКИ АН СССР) и рядом зарубежных исследователей. Возможно, успех в выяснении природы γ -всплесков принесут исследования процессов нестационарной аккреции⁵, хотя возникающие на этом пути трудности весьма велики. Во всяком случае, можно надеяться, что объединенные усилия экспериментаторов и теоретиков приведут в ближайшие годы к разгадке тайны одного из удивительных явлений природы.

⁵ Одним из примеров такой аккреции может служить открытый группой Е. П. Мазеца вспыхивающий рентгеновский пульсар в созвездии Золотой Рыбы. Подробнее об этом см.: Сю и я в Р. А. Источник γ -всплесков — рентгеновский пульсар. — «Природа», 1979, № 9. (Прим. ред.)

Сотрудничество братских академий

К 30-летию Германской Демократической Республики

К. Гроде

Главный ученый секретарь Академии наук ГДР

Лето 1945 г. Ценой огромных жертв советские солдаты уничтожили фашистского зверя в его собственном логове.

Антифашисты и те немцы, которые не поддерживали Гитлера, сплотились, чтобы начать новую жизнь. Ими руководили коммунисты, которые сразу по возвращении из гитлеровских тюрем и концлагерей или же из эмиграции в своем звании от 11 июня 1945 г. указали немецкому народу на новые пути и цели. На нас, немцев, особенно глубокое впечатление в этой ситуации оказало поведение товарищей в форме советских солдат. Они пришли не как мстители, а как освободители; они помогли немецким трудящимся преодолеть наследие фашизма и сделать первые шаги в новую жизнь.

Особенно полезными оказались тесные и глубокие связи, всегда существовавшие между немецким и русским рабочим движением, воплощенные в именах К. Маркса, Ф. Энгельса, В. И. Ленина, К. Либкнехта, Э. Тельмана. В совместной борьбе за осуществление решений Потсдамской конференции трудящимся нашей страны были предоставлены невиданные доселе возможности познакомиться с бесценным опытом КПСС и советского народа при построении нового общества. В полном объеме это относится также и ко всем областям науки.

1 июня 1946 г. в приказе начальника Советской военной администрации в Германии было официально провозглашено открытие «Немецкой Академии наук в Берлине». Этому событию предшествовали контакты уполномоченных Советской военной администрации с представителями Берлинской Академии наук и магистрата Берлина. Так, 6 декабря 1945 г. Берлинская

Академия наук принимала официального гостя. По поручению Академии наук СССР с визитом прибыл ее полномочный представитель генерал-майор инженерно-технической службы, академик В. С. Кулебакин. На пленарном заседании он выразил намерение АН СССР развивать научные связи и сотрудничество с Берлинской Академией:

«Как известно, обе наши академии вот уже больше чем 200 лет состоят в тесном научном сотрудничестве — факт, играющий выдающуюся роль в истории мировой науки... Мы надеемся, что сейчас, после окончания войны, настало время для дальнейшего развития и дальнейшего процветания этих отношений, которые так оправдали себя в прошлом. Мы сделаем все возможное, чтобы всячески способствовать этому... Позвольте мне выразить уверенность в том, что наша совместная работа будет основана на полном взаимопонимании и это сотрудничество будет служить прогрессу научных исследований во всем мире, а также достижению идеалов, за которые борется все прогрессивное человечество»¹.

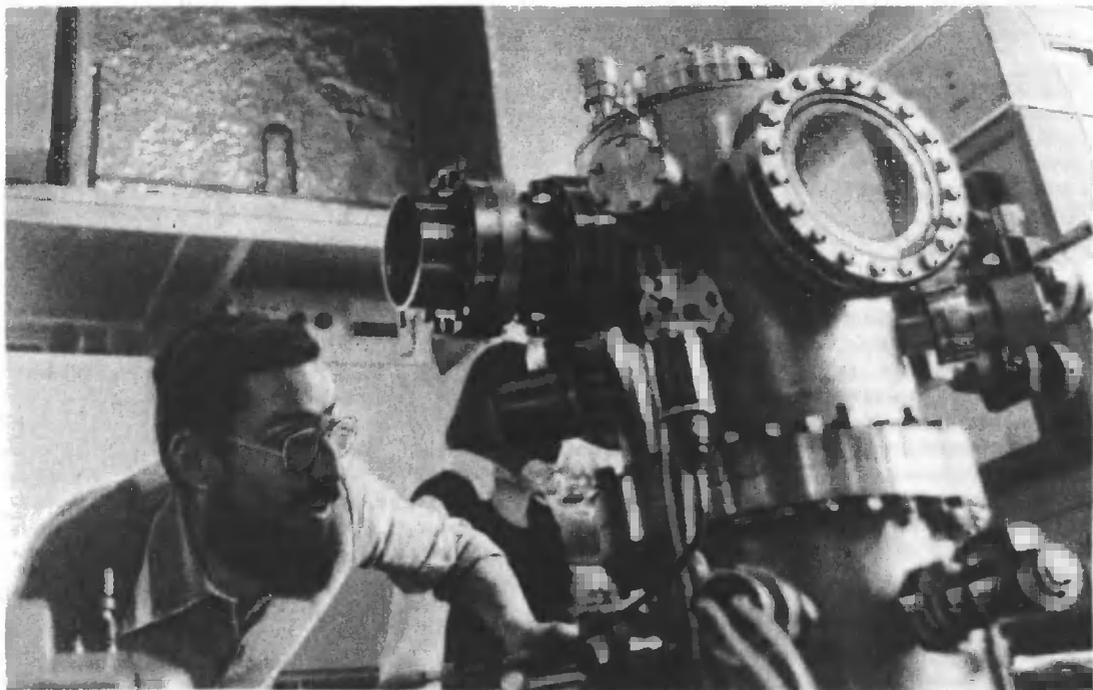
МНОГОВЕКОВАЯ ТРАДИЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА

В. С. Кулебакин в своей речи указал на многовековое сотрудничество обеих академий.

Оно началось, собственно говоря, уже с создания по инициативе Лейбница «Берлинского научного общества». В составленном Лейбницем учредительном послании была поставлена задача развивать особенно тесные отношения с наукой России, которая, благодаря политике реформ Петра I, переживала бурный

Данная статья получена при любезном содействии редакции журнала «Wissenschaft und Fortschritt», органа Академии наук ГДР.

¹ Цит. по Hartkopf W. Die Akademie der Wissenschaften der DDR. В., 1975, S. 165.



Подготовка экспериментов в ультра-высоковакуумной установке для искривления потока электронов медленными электронами.

Международный центр по электронной микроскопии академий наук социалистических стран в Галле.

расцвет и обладала большой притягательной силой для ученых всего мира. Многие ученые, как например Л. Эйлер, были членами обеих академий. Сам Лейбниц внес своими советами Петру I большой вклад в основание Петербургской Академии. За более чем 250-летнюю историю отношений между двумя этими научными учреждениями находились выдающиеся ученые, поддерживавшие контакты между академиями на благо науки. Достаточно вспомнить здесь имена А. Гумбольдта, М. В. Ломоносова, Г. Гельмгольца, Ю. Либиха, Д. И. Менделеева, К. Людвига, И. М. Сеченова. Это перечисление можно было бы и продолжить.

АКАДЕМИЯ НОВОГО ТИПА

Берлинская Академия наук, вышедшая из «Берлинского научного общества» Бранденбургского княжества, была, конеч-

но, в течение веков крупным научным центром со значительными традициями и заслугами. Но одновременно она была еще и учреждением, сознательно державшимся вдали от народа. Процесс революционных преобразований, ставший возможным с освобождением нашего народа в 1945 г. от фашизма, охватил также и Академию.

Этот процесс, в результате которого в ГДР была создана академия с исследовательским потенциалом, ориентированным на решение основных проблем общественного развития, определяется последовательной научной политикой СЕПГ и правительства ГДР, которая вытекает из закономерного единства социализма и науки.

В первый период после уничтожения фашизма Академии наук ГДР была оказана очень большая помощь и поддержка со стороны Академии наук СССР в соответствии с принципами пролетарского интернационализма.

При этом я имею в виду не только непосредственную материальную и организационную поддержку, передачу опыта, но и неценимую помощь в преодолении международной изоляции, в которой оказалась немецкая наука и ее академия во времена гитлеровского фашизма. Это особенно ясно чувствовали те немецкие

ученые, которые многие годы жили и работали в СССР. Они внесли неоценимый вклад в развитие нашего сотрудничества тем, что за время своей деятельности в СССР и после возвращения в ГДР, где они заняли ведущие позиции в науке, выступали за развитие стабильных дружественных отношений с учеными СССР. С развитием и ростом Академии наук ГДР, осуществляемом в первую очередь за счет создания ряда естественнонаучных институтов, росли и развивались контакты с советской наукой.

В феврале 1949 г. в Москве состоялась встреча президентов обеих академий. Во время этой встречи были намечены контуры дальнейшего сотрудничества. На этой основе руководство СЕПГ в 1951 г. поставило перед академией задачу — оказывать истинно научное влияние на всю исследовательскую и конструкторскую работу в ГДР.

Осенью 1953 г. по приглашению Президиума АН СССР в Советский Союз отправилась делегация АН ГДР во главе с ее тогдашним президентом В. Фридрихом. Делегация президиума смогла познакомиться с методами работы, структурой и системой планирования научной работы Академии наук СССР. В январе 1958 г. было подписано первое соглашение о научном сотрудничестве между обеими академиями. Помимо обмена документацией и информацией, подготовки специалистов, из года в год росло число ученых, которые принимали участие в совместных научных мероприятиях.

В первой фазе сотрудничества, помимо непосредственной помощи, характеризующейся прежде всего взаимным личным знакомством ученых друг с другом, с проблемами, являющимися объектом их деятельности, изучались отдельные направления исследований в научных учреждениях. На этой основе мог быть осуществлен целенаправленный обмен информацией и документацией. Все большее значение получала при этом подготовка научных кадров ГДР в СССР, которые знакомились с многогранным опытом советской науки, показывающим, каким образом с помощью правильной организации исследований, планирования и руководства научной работой можно эффективно использовать полученные результаты в развитии социалистического государства. В течение 1960-х гг. окрепло сотрудничество в выборе тем, исходя из исследовательских планов академий и их конкретизации в детализированных рабочих планах.

Координация исследований как определенная форма сотрудничества становилась все более и более выраженной планомерной исследовательской кооперации с Академией наук СССР. Речь шла теперь о том, чтобы всячески избегать параллелизма и последовательно развивать координацию планов научных исследований.

РАВНОПРАВНЫЕ ПАРТНЕРЫ

Если в начале своей деятельности Академия наук ГДР изучала опыт Академии наук СССР по руководству, планированию и организации научных исследований, использованию их результатов в решении народнохозяйственных проблем, то затем, вооруженная опытом советских ученых, она в конечном итоге стала ее равноправным партнером.

Началось развитие непосредственной научной кооперации. На этой более высокой ступени развивались первые формы и методы разделения труда.

Решения XXIV съезда КПСС и VIII съезда СЕПГ, а также комплексная программа социалистической экономической интеграции стран-участников СЭВ не только дали новые импульсы для дальнейшего развития научно-технического сотрудничества, но и определили качественно новые масштабы.

На период с 1971 по 1975 гг. была достигнута договоренность о сотрудничестве по 19 основным направлениям в области естественных и общественных наук.

С определением этих основных направлений в решающих областях науки начался переход к долгосрочному планированию сотрудничества между академиями.

Заместитель Главного ученого секретаря АН СССР член-корреспондент АН СССР А. С. Хохлов в апреле 1975 г., выступая на церемонии подписании плана сотрудничества обеих академий на 1976—1980 гг., в шутку, но метко охарактеризовал пройденный путь развития:

«Наше сотрудничество развивалось в три этапа. Первый этап: мы еще не знали друг друга и говорили друг другу милую неправду. Второй этап: мы работали вместе, узнавали партнера и говорили друг другу приятную правду. Третий этап: мы знаем друг друга настолько хорошо, что в случае надобности говорим друг другу также и неприятную правду. Этот этап, представляющийся мне наиболее важным, сейчас начался для нас, и наши отношения становятся тем самым все теснее».



Проверка собранного спектрометра Фурье. С помощью таких спектрометров на метеорологических спутниках определяется изменение влажности и концентрация озона в атмосфере. Институт электроники АН ГДР (Берлин-Адлерсхоф).

В КОЛЛЕКТИВЕ АКАДЕМИЙ БРАТСКИХ СТРАН

Параллельно с развитием двустороннего сотрудничества между нашими академиями все большее значение приобретало также и многостороннее сотрудничество, которое было официально закреплено Соглашением о многостороннем сотрудничестве академий наук социалистических стран, подписанном 15 декабря 1971 г. в Москве.

И опять инициатором выступила АН СССР, ориентирующаяся на многосторонние формы сотрудничества. Она

выделила и развивает многостороннее сотрудничество как самую перспективную форму координации исследовательской работы стран-членов СЭВ.

Деятельность национальных академий социалистических стран в настоящее время осуществляется в соответствии с программой на 1976—1980 гг. и долгосрочной программой многостороннего сотрудничества. В рамках программ многостороннего сотрудничества совместно разрабатывается 18 проблем, из которых 9 относятся к области естественных наук и 9 — к области общественных наук; функционируют 18 проблемных комиссий, координирующих работу по конкретной проблеме, и 4 международных научных центра.

При основании международных центров академий использовался положительный опыт многолетней деятельности Объединенного института ядерных исследований в Дубне. Участие в работе института, созданного в 1956 г. и функционирующего под эгидой правительств стран-участников, позволило ученым ГДР сотрудничать при решении таких фундаментальных проблем, которые стоят на переднем крае современной науки. Институт в Дубне имеет особенное значение как школа сотрудничества, подготовки и переподготовки кадров. Многие ученые, получившие в свое время подготовку в Дубне, работают сейчас в самых различных областях науки и народного хозяйства ГДР.

Через 12 лет после создания института в Дубне в мае 1968 г. была образована Международная лаборатория сильных магнитных полей и низких температур во Вроцлаве². В ее образовании принимали участие четыре академии. Лаборатория начала свою работу в 1969 г. В январе 1972 г. семь академий основали Международный математический центр «Стефан Банах» в Варшаве, в ноябре 1973 г. — Международный центр повышения квалификации научных кадров по проблемам тепло- и массообмена в Минске. В марте 1975 г. мы смогли создать Международный центр повышения квалификации научных кадров в области электронной микроскопии в Галле.

С превращением национальных институтов в международные центры связа-

См. Башкиров Ю. А. 10 лет Международной научной лаборатории во Вроцлаве. — «Природа», 1978, № 5.



Монтаж научной аппаратуры искусственного спутника Земли «Интеркосмос-1» [запущен 14 октября 1969 г.], предназначенного для исследования ультрафиолетового и рентгеновского излучения Солнца, а также влияния этого излучения на структуру верхних слоев атмосферы. В подготовке и испытаниях научной аппаратуры спутника участвовали специалисты ГДР, СССР и ЧССР.

на возможность решения важнейших исследовательских проблем. Совместное использование достигнутых результатов является положительным для всего социалистического сообщества и форсирует процесс интеграции.

В качестве новой, особой формы многостороннего сотрудничества по инициативе АН СССР осуществляется создание в научных национальных учреждениях базовых лабораторий с использованием опыта создания и работы международных центров.

Базовые лаборатории являются национальными учреждениями, располагающими новейшей аппаратурой и высококвалифицированными кадрами. Они в состоянии предоставить ученым из участвующих стран возможность совместных ис-

следований и посещений в научных целях, не являясь при этом формально международными центрами.

УГЛУБЛЕНИЕ СОВМЕСТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время планомерно развивается также и исследовательская кооперация. Характерным является переход от экстенсивного развития к интенсивному, повышение внимания к исследованиям проблем, решающих с точки зрения научно-технического прогресса. Это относится, например, к таким областям, как микроэлектроника, развитие сети вычислительных машин, ядерный синтез, комплексное использование углеводородного сырья, проблемы генетики и т. д.

Президенты академий наук социалистических стран опять-таки по инициативе Академии наук СССР наметили в 1977 г. интенсификацию сотрудничества в области научного приборостроения и автоматизации научно-исследовательских работ при использовании опыта программы «Интеркосмос» и на основе международного социалистического разделения труда.

Из большого количества положительных результатов совместных исследований, достигнутых за период нашего со-



Здания Академии наук ГДР на площади Академии в Берлине.

трудничества с АН СССР, мы остановимся только на некоторых:

получены новые данные по синтезу, структуре и свойствам полимерных фосфатов, в особенности в области кристаллических ультрафосфатов, нового класса веществ, представляющих большой интерес для лазерной техники;

развиты термостабильные полимеры на основе полифенилхиноксаинов. Благодаря своим выдающимся качествам (высокотемпературной устойчивости, механической прочности, хорошим изоляционным свойствам, удобности обработки) этот продукт находит уже сейчас широкое применение (например, в качестве конструкционного материала в рамках программы «Интеркосмос»);

получены экспериментальные и теоретические результаты в разработке теории адсорбции (смешанной адсорбции, равновесной адсорбции, кинетики и динамики адсорбции), которые, в частности, используются при рационализации и дальнейшем развитии метода Парекс;

получен большой материал в результате исследования пиролиза углеводородов, ведущий к кинетической модели пиролиза. Он используется в процессе оптимального проектирования соответствующих пиролизных установок для нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности;

разработаны композиционные материалы из алюминия и стали, технические и экономические параметры которых позволяют применять их в наиболее напряженных деталях машин и моторов;

исследованы фазовые переходы металл — диэлектрик в переходном металле — халькогениде. На основе этих результатов в Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе был получен новый ма-

териал для оптоэлектроники, применяемый в различных целях (например, для голографии с использованием лазеров, модуляционной спектроскопии, в голографической обработке данных; для обнаружения и измерения параметров лазерного излучения; для дисплея при использовании изменения цвета в видимом спектре — применяется в световых рекламках вместо жидких кристаллов);

получены основополагающие данные по электронной структуре переходных металлов (в частности, открытие магнитного пробоя в ниобии, железе и рутении);

проведены большого объема исследования механизмов экстракционных процессов, которые позволяют применять экстракцию для тонкого выделения и очистки металлов и дать рекомендации по промышленному применению некоторых экстракционных систем;

открыты связи между структурой и физиологической активностью гиббереллинов. На этой основе становится возможным целенаправленный синтез гиббереллиновых стимуляторов роста некоторых сортов растений. Это имеет большое практическое значение не только для повышения урожайности определенных сельскохозяйственных культур, но и для повышения эффективности химических методов в борьбе с сорняками;

создана математическая модель энергообмена в клетке, что объясняет целый ряд основных свойств клеточной энергетики;

созданы антигриппозные препараты и многое другое.

В области общественных наук сотрудничество между двумя академиями показало себя очень полезным, в особенности в области исследования актуальных проблем развитого социалистического общества.

Выдающееся место занимает в нашем сотрудничестве с АН СССР исследование и использование космического пространства в мирных целях. В 1976 г. сотрудничество в этой области было поднято на уровень многостороннего правительственного соглашения стран по программе «Интеркосмос».

Участие ГДР в этой программе привело к результатам, имеющим для нашей страны большое значение. Были подготовлены квалифицированные кадры, возникли специализированные учреждения с соответствующими материальными ресурсами, а результаты их деятельности нашли применение в народном хозяйстве.

В последующие годы кооперация распространилась на научные проблемы, которые требуют для их реализации все более крупных комплексов приборов и систем (например, единая телеметрическая система социалистических стран, инфракрасно-спектрометр для космической метеорологии и многоспектральная камера МКФ-6 для исследований Земли из космоса).

Новый этап и, без сомнения, кульминацию в кооперации являет собой пилотируемый полет в космосе в августе — сентябре 1978 г. экипажа в составе командира корабля «Союз-31» В. Ф. Быковского (СССР) и З. Йена (ГДР). В течение 7 дней работы на борту научно-исследовательского орбитального комплекса «Салют-6» — «Союз-29» — «Союз-31» космонавты выполнили обширную программу научных исследований и экспериментов. Это событие особенно наглядно демонстрирует увеличение возможностей нашей страны благодаря сотрудничеству с учеными Советского Союза.

Генеральный секретарь ЦК КПСС, Председатель Президиума Верховного Совета СССР Л. И. Брежнев подчеркнул в своей речи перед президентами академий социалистических стран: «...Когда речь идет о сотрудничестве социалистических стран, то происходит не просто сложение, а умножение сил. В полной мере это относится и к научным связям. Здесь особенно важно самое широкое, самое тесное сотрудничество, позволяющее рационально использовать огромные возможности науки, достижения научно-технической революции в интересах социалистического и коммунистического строительства»³.

Сотрудничество социалистических стран в области науки и техники существует, с точки зрения истории, незначительное время. Тем не менее уже достигнуты значительные успехи. В дальнейшем мы стремимся к систематическому углублению кооперации, к постоянному развитию ее в качественном отношении. Академия наук ГДР внесет в это достойный вклад.

Перевод с немецкого Д. О. Добровольского.

³ Социалистическая интеграция и наука. Материалы совещания президентов академий наук социалистических стран. Москва, 15—18 февраля 1977 г. М., 1977, с. 6.

Металлокомплексный катализ и его место в науке о катализе

А. Е. Шилов



ТРИ ТИПА КАТАЛИЗА

Хотя понятие о катализе было введено в химию лишь в прошлом веке (само слово «катализ» было предложено Й. Берцелиусом в 1835 г.), это явление было известно и использовалось человеком с глубокой древности. Практически все химические реакции в живой природе катализируются биологическими катализаторами — ферментами, а приготовление вина при брожении виноградного сока, известное человеку многие тысячи лет, было, возможно, первым практическим применением катализа.

Термин «катализатор» в химии означает вещество, которое ускоряет реакцию или вызывает ее, само оставаясь неизменным. На самом деле химикам уже давно известно, что эта неизменность отнюдь не означает, что катализатор не участвует в реакции: молекула катализатора вступает в реакцию с реагентами в начальных ее стадиях, а затем выделяется в каких-то последующих стадиях, чтобы снова принять участие в реакции. Таким образом, катализатор меняет путь реакции, ее механизм. Причем энергия, необходимая для активации реагентов в каталитических реакциях (энергия активации), обычно значительно меньше, чем в реакции без катализатора. Это увеличивает скорость катали-

Александр Евгеньевич Шилов, доктор химических наук, профессор, заместитель директора Института химической физики АН СССР, заведующий сектором кинетики и катализа, заведующий лабораторией комплексных катализаторов. Основные научные интересы связаны с изучением кинетики и механизма химических реакций, катализа, главным образом катализа металлокомплексами.

тической реакции по сравнению с некаталитической и обеспечивает возможность ее проведения при значительно более низких температурах.

Огромное практическое значение катализа (связанное с возможностью использования малых количеств катализатора для получения больших количеств важных для человека веществ) вызвало многочисленные исследования в области катализа и привело к появлению ряда теорий, объясняющих механизм действия катализаторов.

Естественно, очень заманчивым было бы создать некую общую теорию каталитического действия, объясняющую все случаи катализа. Однако уже довольно давно стало ясно, что в зависимости от фазового состояния реагирующих веществ и катализатора нужно различать два типа катализа — гомогенный и гетерогенный, — которые резко отличаются друг от друга и поэтому требуют отдельных теорий.

Как показывают сами названия, в случае гомогенного катализа реагенты и катализатор образуют одну фазу (например, находятся в гомогенном растворе), а в случае гетерогенного — реакция идет на поверхности катализатора, образующего отдельную фазу (например, катализатор —

твердое вещество, а реагенты и продукты — газы).

При этом созданный живой природой биологический катализ ферментами (ферментативный катализ) необходимо рассматривать отдельно, так как ферменты являются огромными белковыми молекулами (с молекулярным весом, в сотни и тысячи раз превышающим молекулярный вес обычных химических катализаторов) и их «гомогенные» растворы на самом деле являются скорее микрогетерогенными, коллоидными растворами.

Однако необходимость разделения всей области катализа на эти три типа (гомогенный, гетерогенный и ферментативный) диктовалась не столько различным фазовым состоянием каталитических систем, сколько тем обстоятельством, что они, казалось бы, принципиально различны и по механизму их действия, так как прежде всего катализируют совсем различные реакции.

Гомогенные каталитические реакции, с точки зрения их механизма, были изучены и поняты раньше, чем реакции двух других типов. В настоящее время по механизму различают так называемые гомолитические и гетеролитические гомогенные реакции. К первым относятся, например, радикально-цепные реакции, такие как полимеризация олефинов, хлорирование и окисление молекулярным кислородом органических веществ в газовой фазе и в растворе. Здесь на промежуточных стадиях образуются активные частицы — свободные радикалы, — которые далее вступают в цепь превращений. Роль катализаторов сводится к ускорению образования радикалов, что приводит к увеличению их концентрации и скорости всего процесса. В качестве катализаторов могут выступать перекиси (легко распадающиеся на свободные радикалы) или ионы переменной валентности (Co^{2+} , Fe^{2+} и др.), образующие свободные радикалы при переносе электрона к реагирующим молекулам или от них¹.

К гетеролитическим относятся не менее многочисленные реакции, катализируемые кислотами или основаниями (кис-

лотно-основной катализ). Здесь в простейшем случае роль кислоты заключается в обратимом присоединении протона (H^+) к реагирующей молекуле, что делает ее значительно более реакционноспособной, чем исходная непротонированная частица.

Так, например, происходит присоединение воды к олефинам (гидратация), образование сложных эфиров из кислот и спиртов (этерификация) или обратная ей реакция гидролиза эфиров.

Катализаторы радикально-цепных и кислотно-основных реакций могут быть высокоэффективными в своих процессах, но они оказываются практически бессильными в реакциях, издавна считавшихся областью гетерогенного катализа. Сюда относятся, например, присоединение водорода к олефинам и ацетиленам (реакция гидрирования), катализируемая свободными металлами (Ni , Pt и др.), каталитический синтез аммиака из азота и водорода (катализатор — металлическое железо), реакции изотопного обмена насыщенных углеводородов с дейтерием.

Реакции, катализируемые ферментами, отличаются от известных нам небиологических химических реакций своей большой скоростью, а также исключительной селективностью и специфичностью. Два последних термина означают соответственно, что, во-первых, фермент является активным только в отношении своего субстрата (вещества, которое вступает в ферментативный процесс), а другие, даже сходные по строению вещества, реагируют несравненно медленнее, и, во-вторых, что из различных возможных продуктов получается только вполне определенное вещество, нужное для организма. Например, при синтезе аминокислот, из которых в дальнейшем строятся белки, получают лишь вполне определенные пространственные изомеры — так называемые L-аминокислоты, а другие пространственные изомеры (D-аминокислоты) не получают.

Так же, как и в обычном химическом катализе, реакции, катализируемые ферментами, могут быть кислотно-основными или окислительно-восстановительными (где происходит перенос электронов от восстановителя к окислителю). При этом, если химические аналоги ферментов для кислотно-основных реакций все же существовали и ранее (правда, такие реакции протекают со значительно меньшими скоростями, меньшей специфичностью и селективностью), то для многих окислительно-восстановительных ферментативных ре-

¹ В таких случаях при образовании радикалов молекулы «катализаторов» часто необратимо исчезают, и, строго говоря, в этом случае речь идет не о катализе, а об иницировании цепи. Но поскольку одна частица вызывает в цепной реакции образование большого числа молекул продукта, результат оказывается аналогичным катализу.

акций химия просто не знала аналогов. Химики не имели катализаторов, ни гетерогенных, ни гомогенных, которые могли бы подобно ферменту вызвать такой же процесс, хотя бы и с меньшей скоростью. Речь идет о таких реакциях, как биологическая фиксация азота воздуха, биологическое окисление насыщенных углеводов, фотосинтез. (О них будет рассказано ниже.)

Особенности гетерогенного и ферментативного катализа требовали, казалось, особых теорий, которые могли бы объяснить, почему мы не видим аналогичных реакций в случае гомогенного катализа. Такие теории, естественно, возникали. Для гетерогенного катализа они, по необходимости, включали коллективные свойства поверхности, например полупроводниковые свойства твердых катализаторов и участие нескольких атомов, входящих в кристаллическую решетку катализатора.

Для ферментативного катализа иногда предполагались концепции, совершенно неизвестные в химии вообще. Например, предполагалось, что энергия, выделяемая за счет ферментативного процесса, может затем без потерь концентрироваться в нужном месте и передаваться новой молекуле субстрата, вступающей в реакцию.

Таким образом, общая теория катализа казалась невозможной хотя бы потому, что каждый из трех типов катализа содержал монополярные области, включающие своеобразные, неизвестные для двух других типов процессы.

МЕТАЛЛОКОМПЛЕКСНЫЙ КАТАЛИЗ

Металлокомплексный катализ явился тем недостающим звеном, которое позволило связать воедино все три типа катализа (гомогенный, гетерогенный и ферментативный). Исследования в этой области сделали возможной постановку вопроса о создании объединенной теории катализа.

Речь идет о катализе комплексами различных металлов, которые изучаются в разделе химии, называемом координационной химией. Комплекс металла представляет собой ион или атом металла, окруженный несколькими частицами (ионами или молекулами), которые в этом случае называются лигандами. Первая теория строения таких соединений (координационная теория) была сформулирована А. Вернером еще в 1893 г., однако

бурное развитие координационной химии в XX в. наполнило ее совершенно новым содержанием.

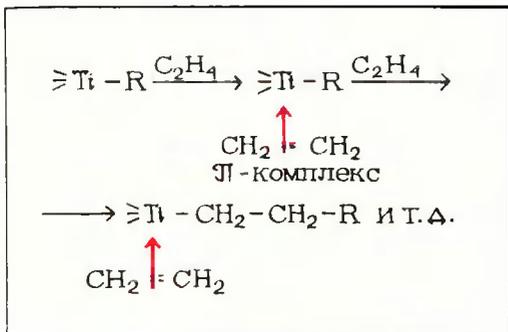
В этой статье, конечно, невозможно сколько-нибудь подробно описать современные представления координационной химии, но для нас существенно, что среди огромного числа координационных соединений (металлокомплексов), синтезированных химиками в последние десятилетия, многие оказались эффективными катализаторами целого ряда интереснейших реакций. Особенно интересны, с точки зрения их каталитических свойств, комплексы так называемых переходных металлов, в которых существенны и принимают участие в образовании связей свободные и частично заполненные электронами d -орбитали: титан, ванадий, хром, молибден, железо и др. При этом выяснилось, что сходные по механизму действия катализаторы могут действовать как в гомогенных, так и в гетерогенных системах, а по реакциям, которые они катализируют, они оказались сходными то с типичными гетерогенными катализаторами, то с ферментами. Рассмотрим здесь несколько характерных примеров.

КОМПЛЕКСНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ОЛЕФИНОВ

Эти катализаторы были открыты западногерманским химиком К. Циглером в 1955 г. и затем изучены во многих лабораториях мира. Особенно большой вклад был внесен итальянским химиком Дж. Натта, получившим в 1966 г. вместе с Циглером Нобелевскую премию по химии за это открытие. Первые катализаторы, обнаруженные в лаборатории Циглера, были гетерогенными. Они образуются при смешивании в неполярном растворителе (например, в бензине) четыреххлористого титана ($TiCl_4$) с триэтилалюминием (C_2H_5)₃Al, причем продукт этой реакции выпадает в осадок, который и является катализатором. При пропуске этилена через суспензию этого катализатора уже при обычных температурах и давлениях идет полимеризация с образованием высокомолекулярного полиэтилена.

Ничего подобного в химии раньше не знали: полиэтилен получали при высоких температурах и давлениях в присутствии инициаторов радикально-цепной реакции. Хотя металлокомплексные катализаторы были известны и ранее,

но открытие Циглера, в частности, из-за его практического значения произвело настоящую революцию в этой области и привлекло к ней множество исследователей (в том числе и автора этой статьи). Как уже указывалось, первые катализаторы были гетерогенными. Но вскоре после их открытия были обнаружены растворимые в углеводородах комплексы, способные также катализировать образование полиэтилена. Например, если вместо $TiCl_4$ взять металлоорганическое соединение $\pi-(C_5H_5)_2TiCl_2$,



Механизм каталитической полимеризации. Молекула этилена «встраивается» по связи $Ti - C$ через образование так называемого π -комплекса. Цветная стрелка показывает связь этилена с Ti в π -комплексе. $\text{Ti} - \text{R}$ — фрагмент каталитического комплекса, R — алкильная группа.

то с алюминийорганическими соединениями образуются растворимые комплексы, катализирующие полимеризацию этилена².

С самого начала было ясно, что при таком сходстве состава и строения исходных соединений и катализируемых ими реакций механизм их действия должен быть также аналогичным, т. е. фактор гетерогенности не должен играть существенной роли. Изучение этих катализаторов показало, что, несмотря на отсутствие в живой природе таких катализаторов, целый ряд их свойств напоминает действие ферментов. Причем это

не только «внешние» признаки: большая скорость реакции уже при низких температурах или участие ничтожных количеств металла при образовании большого количества продукта (например, в некоторых системах, содержащих ванадий, можно получить более 1 т полиэтилена на 1 г ванадия). Оказалось, что реакция во многих случаях идет стереоспецифически, т. е. как и в ферментативном катализе, из многих возможных пространственных изомеров получается только один (именно в этой области были получены наиболее важные результаты в работах Натта). Изучение механизма полимеризации показало, что в процессе взаимодействия компонентов катализатора образуются титанорганические соединения, содержащие связь $Ti - C$, в которую с поразительной легкостью «встраиваются» молекулы олефинов, все время удлиняя полимерную цепь.

ГОМОГЕННОЕ ГИДРИРОВАНИЕ

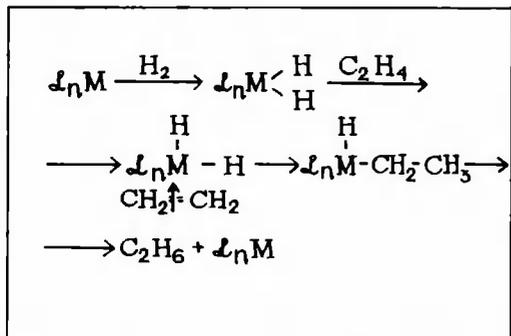
Долгое время не удавалось найти гомогенный катализатор для гидрирования этилена и его ближайших аналогов, и можно было думать, что в соответствии с представлениями гетерогенного катализа для этой реакции необходима твердая поверхность. Однако в 1963 г. были открыты растворимые комплексы платины, способные катализировать превращение смеси этилена и водорода в этан.

Некоторое время еще можно было полагать, что за гетерогенным катализом остается область гидрирования ароматических соединений, например бензола, где в теориях гетерогенного катализа предполагалось участие нескольких атомов, расположенных на поверхности кристалла катализатора. Тем не менее вскоре выяснилось, что и ароматические соединения можно с большой скоростью гидрировать в гомогенных растворах некоторых металлокомплексов, и, таким образом, по субстратам отличий между гомогенными и гетерогенными катализаторами гидрирования в настоящее время не осталось.

Существенно, что металлокомплексы, катализирующие гидрирование, включают атомы тех же металлов (например, платину), которые используются как гетерогенные катализаторы гидрирования, так что вновь можно предполагать сходный механизм гомогенного и гетерогенного катализа.

² $\pi - C H$ — ароматическое циклопентадиенильное кольцо, являющееся лигандом у атома титана и связанное с ним за счет всех шести p -электронов, образующий π -связи в кольце. Изучение механизма реакции показывает, что кольца, способствуя образованию растворимых комплексов, непосредственно в каталитическом процессе не участвуют.

Одновременно можно отметить сходство и с ферментативными реакциями. Прежде всего известно, что существуют ферменты, активизирующие водород (гидрогеназы), которые содержат в своем составе металл (такие ферменты называются металлоферментами) и представляют собой сложные металлокомплексы. Но, может быть, еще более существенно, что каталитическое гидрирование металлокомплексами можно вести стереоспецифически, получая, как и в ферментативном катализе, лишь опреде-



Механизм каталитического гидрирования. H_2 — «окислительно присоединяется» к металлу М катализатора L_nM . Молекула этилена внедряется по связи М—Н. Здесь n — число лигандов L , входящих в координационную сферу М. По ходу реакции n может меняться. (На других схемах обозначения те же.)

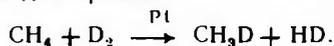
ленные пространственные изомеры. Для этого в качестве лигандов металлокомплекса нужно использовать соединения, которые сами являются стереоспецифическими, т. е. определенными пространственными изомерами.

Таким образом, с помощью специальных гомогенных катализаторов гидрирования (на основе комплексов родия) можно получить L-аминокислоты, которые входят в состав живых организмов. В связи с этим такие катализаторы нашли практическое применение для получения некоторых лекарств.

Изучение механизма гидрирования показало, что в общем случае молекулярный водород, реагируя с атомом металла катализатора, образует гидридные связи. В них встраивается молекула олефина, которая предварительно входит в качестве лиганда в каталитический комплекс. Затем алкильная группа соединяется с атомом Н гидрида, образуя алкан.

КАТАЛИТИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ НАСЫЩЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Как уже указывалось, насыщенные углеводороды ряда метана (алканы) вступают в различные каталитические реакции в присутствии гетерогенных катализаторов. Простейшей реакцией является изотопный обмен с дейтерием:



Известна также реакция ферментативного окисления алканов первично до спиртов.

Первая гомогенная реакция алканов, катализируемая металлокомплексами, была обнаружена в нашей лаборатории в 1969 г. Оказалось, что в растворах комплексов двухвалентной платины происходит изотопный обмен алканов с тяжелой водой.

Интересно, что именно металлическая платина является одним из наиболее активных гетерогенных катализаторов изотопного обмена с дейтерием, что вновь указывает на сходство действия гетерогенных катализаторов и металлокомплексов.

Затем оказалось, что различные реакции алканов катализируются и другими металлокомплексами. Изучение механизма этих реакций показало, что молекула алкана образует металлоорганическое производное, в котором алкильная группа может вступать в разные реакции, в частности приводящие к изотопному обмену либо с D^+ в растворе, либо с D_2 .

Кроме этого, в присутствии окислителя можно наблюдать образование и других продуктов, например спиртов.

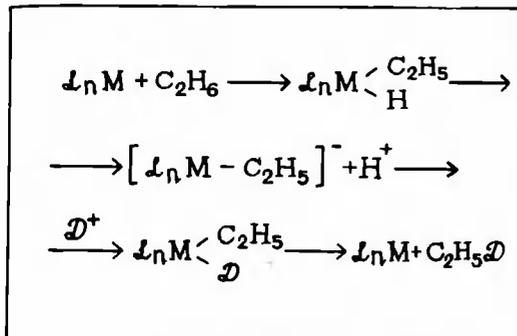
Таким образом, и здесь намечается связь с ферментативным окислением метана и его гомологов. Но, естественно, для ферментов надо предполагать участие металлокомплексов на основе платиновых металлов: как известно, платиновые металлы не участвуют в биологических системах. Пока наиболее вероятным кандидатом на эту роль являются комплексы железа или меди, которые, как оказалось, входят в состав метанмонооксигеназы. Однако для обоснования этой гипотезы необходимы специальные исследования.

ФИКСАЦИЯ АЗОТА

Еще недавно была известна только одна химическая реакция молекулярного азота, протекающая вне организма

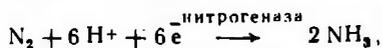
при комнатной температуре,— это образование нитрида лития при взаимодействии азота с металлическим литием. Биологическая фиксация азота поражала химиков, знавших о его химической инертности. Ведь в этом случае реакция идет не только при низких температурах и давлениях, но и в водной среде, где невозможно участие слишком сильного восстановителя (такого, как литий), который должен разлагать воду.

В 50—60-х годах удалось выделить фермент нитрогеназу, катализирующую



Механизм катализа изотопного обмена алканов. Молекула этана образует металлорганическое производное, в котором алкильная группа вступает в реакцию изотопного обмена с дейтерием D⁺.

фиксацию азота. Было установлено, что первичную реакцию, в которой фиксируется азот, можно представить следующей простой схемой:



где e⁻ — электрон, подаваемый существующим в системе восстановителем.

Исследование азотфиксирующего фермента нитрогеназы показывает, что она является типичным металлоферментом и содержит в своем составе железо и молибден. При этом именно молибден ответственен за активацию молекулярного азота ферментом.

Сейчас мы знаем уже десятки реакций азота с участием металлокомплексов. Начало этим работам было положено в 1964 г. М. Е. Вольпиным и В. Б. Шуром. Они обнаружили, что в присутствии сильных восстановителей типа литий- и магнийорганических соединений, гидридов металлов или свободных

металлов (которые сами по себе инертны к азоту) добавки соединений переходных металлов активируют азот: он вступает в реакцию, образуя сложные нитриды. (Эти нитриды при разложении кислотой давали аммиак.) Дальнейшее развитие этих работ, в частности в нашей лаборатории, показало, что молекулярный азот может образовывать комплексы с соединениями переходных металлов и в некоторых из этих комплексов способен к дальнейшим реакциям восстановления.

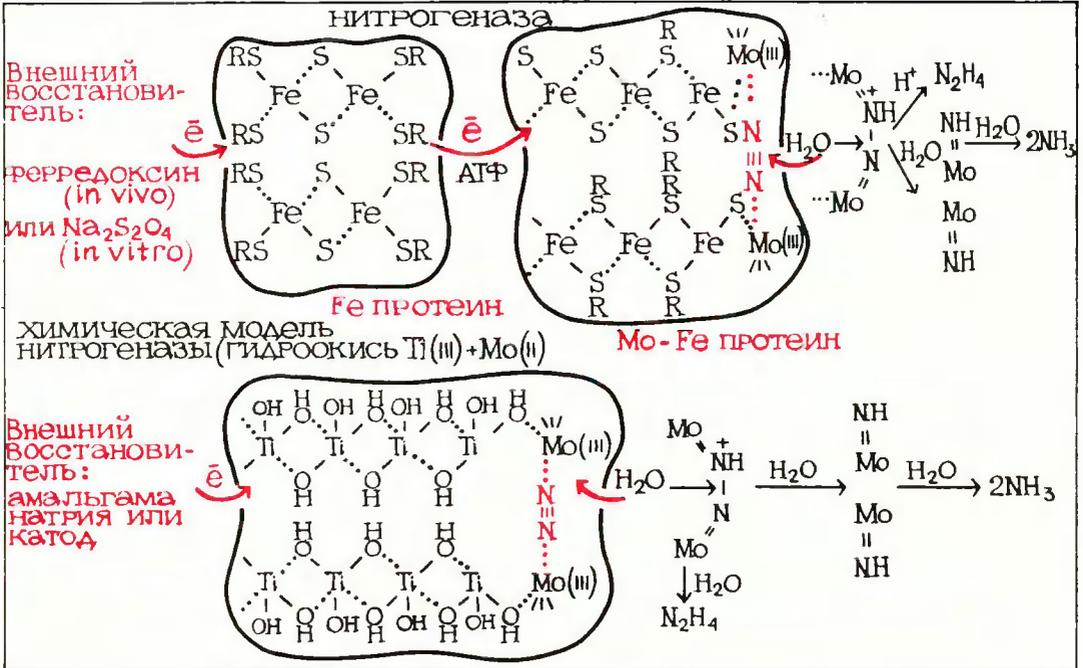
Наконец, начиная с 1970 г., нами были найдены системы, где азот восстанавливается в водных средах по механизму, во многом сходному с действием фермента нитрогеназы. Обнаружение этих систем базировалось уже не только на развитии химии азота и металлокомплексных катализаторов, но и на тех сведениях, которые мы получали из исследований механизма ферментативной азотфиксации. Иными словами, мы могли уже сознательно моделировать этот процесс. В частности, пытаюсь понять, каким образом в ферментативном процессе преодолевается трудность разрыва очень прочной первой разрываемой связи в тройной связи молекулы азота, вместе с Г. И. Лихтенштейном мы предложили несколько необычный «четырёхэлектронный» механизм, где тройная связь N≡N переходит сразу в одинарную связь производного гидразина (H₂N—NH₂).

Дело в том, что энергия в очень прочной тройной связи распределена по связям крайне неравномерно. Более половины всей энергии приходится на первую разрываемую связь, а две оставшиеся связи являются сравнительно слабыми. Таким образом, при разрыве сразу двух связей (и компенсации этой энергии за счет энергии четырех образующихся связей) затрачивается меньше энергии, чем при разрыве всего одной связи (и образовании при этом двух связей). Однако для такого «коллективного» процесса необходима довольно сложная каталитическая система.

Исходя из этого механизма, оказалось возможным понять, почему именно молибден, причем в трехвалентном состоянии, необходим для активации азота в ферментативной системе. Одновременно стало ясно, почему для реакции необходимо участие нескольких расположенных рядом ионов металлов в низкой степени окисления. Вновь оказалось, что азот можно фиксировать и в гомогенных, и в гетерогенных системах.

Созданные в результате поисков на основе развитых представлений системы сочетают в себе многие черты биологической фиксации азота. Интересно, что уже после обнаружения систем, фиксирующих азот в мягких условиях в протонных средах, оказалось, что новые факты, полученные при исследовании биологической фиксации, подтверждают механизм, предложенный при изучении модельных систем. Существенно, что хотя азотфиксирующие системы требуют сов-

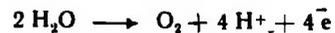
местного действия нескольких ионов металлов и, следовательно, сложнее, чем металлокомплексные катализаторы, эти системы не потребовали специальных синтезов. Они могут быть получены, например, осаждением гидроксида трехвалентного титана с участием соединений молибдена под действием щелочи. Таким образом, нетрудно себе представить, как аналогичный процесс мог бы возникнуть и использоваться в живых организмах и затем усовершенствоваться путем эволюционных изменений фермента.



Механизм действия нитрогеназы и ее химической модели. Нитрогеназа состоит из двух протейнов [Fe протейн и Mo-Fe протейн]. Электрон от внешнего восстановителя переносится сначала к Fe протейну, затем к Mo-Fe протейну. Гидролиз аденозинтрифосфорной кислоты [АТФ] на границе двух протейнов позволяет повысить потенциал восстановителя. В химических моделях можно взять более сильный восстановитель, и гидролиза АТФ не требуется. В обоих случаях электроны передаются от внешнего восстановителя к биядерному комплексу азота с трехвалентным молибденом, используются протоны воды (движение электронов и воды показано кривой стрелкой), и в первой стадии образуется производное гидразина N_2H_4 . После прямой стрелки показан только фрагмент комплекса молибдена с восстанавливающейся молекулой азота.

О ФОТОСИНТЕЗЕ

Этот процесс более сложен, чем биологическая фиксация азота. В общем виде реакция фотосинтеза может быть представлена как восстановление с помощью энергии солнечного света двуокиси углерода за счет электронов воды, выделяющей кислород:



где $[\text{H}_2\text{CO}]$ — молекула углевода. Для осуществления, казалось бы, простой реакции восстановления водой двуокиси углерода природа создала специальный механизм, включающий десятки стадий. Дело в том,

что при этом солнечная энергия запасается в виде энергии химических веществ. Под действием квантов света реакция идет против термодинамического потенциала, т. е. с накоплением энергии в виде химической энергии образующихся веществ. Поэтому необходимо предотвратить обратную реакцию, которая привела бы к немедленному израсходованию запасенной энергии путем превращения ее в тепло.

В этой статье невозможно сколь угодно подробно описать этот фундаментальный процесс. Отметим только, что его можно расчленить на отдельные блоки, которые, по-видимому, были созданы в природе не одновременно. Так, например, механизм, включающий окисление воды с образованием кислорода, появился, очевидно, позднее механизма восстановления двуокиси углерода.

Действительно, в существующем наряду с растительным фотосинтезом бактериальном фотосинтезе, имеющем, по-видимому, более древнее происхождение, отсутствует реакция образования кислорода. Электроны, идущие на восстановление CO_2 , поставляются такими сравнительно сильными донорами электронов, как сероводород. Использование воды как донора электронов с одновременным образованием кислорода, по-видимому, стало революционизирующим в эволюции живой природы. Ведь это означало появление растений, возникших из фотосинтезирующих бактерий, и сделало возможным возникновение животного мира, потребляющего кислород.

Что собой представляет реакция образования кислорода в растениях? Хотя здесь далеко не все еще ясно, можно сделать вывод, что этот процесс катализируется металлоферментом, содержащим марганец.

В нашей лаборатории в настоящее время изучаются возможные химические модели этой реакции с участием соединений марганца. Эти соединения действительно оказались способными в би- или полиядерном комплексе катализировать образование кислорода по механизму, напоминающему восстановление азота, но направленному в обратную сторону (здесь также по «четырёхэлектронному» механизму кислород выделяется при окислении двух молекул воды). Это создает возможность наиболее экономного использования энергии света, погло-

щаемого при фотосинтезе. В какой степени изучаемые реакции моделируют ферментативное выделение кислорода, покажет будущее.

ПОЧЕМУ ЭФФЕКТИВНЫ МЕТАЛЛОКОМПЛЕКСНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ?

Теперь пришло время обобщить принципы действия металлокомплексных катализаторов и объяснить, почему именно среди них мы находим так много эффективных катализаторов. Эта эффективность обусловлена малой энергией активации (т. е. большой скоростью) тех реакций, которые происходят между лигандами в координационной сфере металлокомплекса: если каждая стадия в каталитическом процессе происходит легко, то и весь процесс будет происходить с большой скоростью. Причины этой большой реакционной способности частиц, находящихся рядом с атомом или ионом переходного металла, заключаются в следующем.

Молекулы субстрата способны образовывать комплексы с переходным металлом: они таким образом входят в качестве лигандов в его координационную сферу. Существенно, что это относится ко многим молекулам разной природы — олефинам, ацетиленам, окиси углерода, азоту и т. д. Даже молекулы с прочными ковалентными связями, такие как молекулярный водород и алканы, способны к так называемым реакциям окислительного присоединения к иону или атому металла с разрывом ковалентных связей и образованием частиц, входящих в координационную сферу.

Располагаясь в координационной сфере металла в непосредственной близости между собой, лиганды могут реагировать друг с другом с небольшой энергией активации. Этому способствует то обстоятельство, что разрываемые связи в молекулах, реагирующих в координационной сфере металла, ослабляются за счет комплексообразования.

Реакции, происходящие в координационной сфере, являются разрешенными по так называемым правилам сохранений симметрии молекулярных орбиталей. Это приводит к тому, что различные реакции, в том числе и рассмотренные здесь, идут с малыми энергиями активации, во время как аналогичные реакции, например в органической химии, запрещены по тем же правилам, т. е. фак-

тически требуют высокой энергии активации.

Оказываясь в координационной сфере металла, молекулы могут подвергаться превращениям с участием сразу нескольких электронов, что часто снимает энергетические трудности проведения последовательных реакций в окислительно-восстановительном процессе, как это мы видели, например, в случае фиксации азота. Здесь можно отметить, что образование полиядерного «кластера», вклю-

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ КАТАЛИЗА?

Для обсуждения рассматриваемой здесь проблемы существенно, что все эти причины должны действовать и на поверхности свободных металлов и их окислов, а также металлоферментов, катализирующих различные реакции в живых организмах. Действительно, исследование поверхностных реакций физическими методами показывает, что на поверхности гетерогенных катализа-

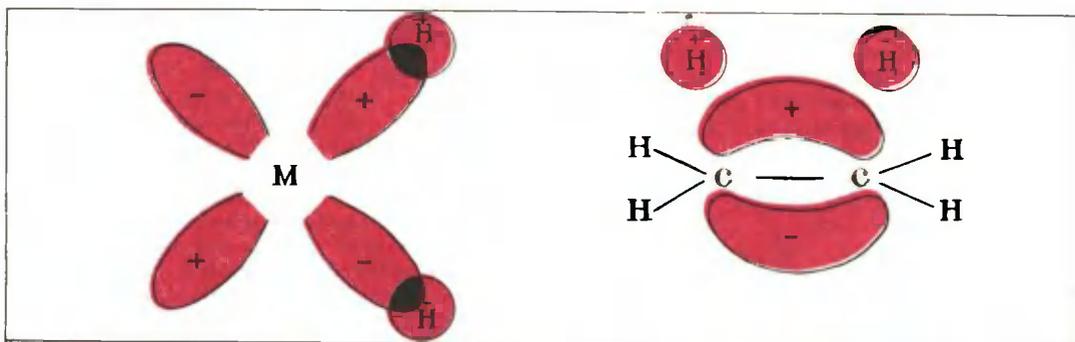
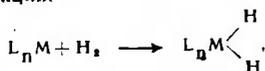


Иллюстрация к правилу сохранения орбитальной симметрии. В упрощенном виде «разрешение» [или «запрет»] по правилам сохранения орбитальной симметрии означает совпадение [или несовпадение] знаков, соответствующих верхней [или нижней] заполненной и нижней [или верхней] свободной молекулярных орбиталей реагирующих молекул. Например, разрешена реакция:



так как заполненная d-орбиталь металла (M) совпадает по знакам со свободной (так называемой разрыхляющей) орбиталью H_2 (рис. слева), в то время как, например, запрещена реакция



так как в этом случае знаки не совпадают (рис. справа).

чающего несколько ионов или атомов переходных металлов, должно благоприятствовать многоэлектронным реакциям.

Объем этой статьи не позволяет подробно остановиться на каждой из этих причин облегчения каталитических реакций в координационной сфере металлокомплекса. Отметим только, что все они тесно связаны между собой и являются фактически следствием присутствия в металлокомплексах свободных и заполненных электронами d-орбиталей, обладающих определенной симметрией.

торов образуются частицы, аналогичные наблюдаемым в реакциях металлокомплексов. Становятся понятными и те случаи, когда в каталитическом центре существенно участие нескольких атомов металла (многоэлектронные окислительно-восстановительные реакции).

Конечно, реакции как гетерогенно, так и ферментативного катализа имеют свою специфику. Для ферментативных реакций, например, характерна пространственная подгонка реагирующих частиц, обеспечивающая синхронные процессы. Новые данные, полученные при изучении некоторых ферментов с помощью рентгеноструктурного анализа, показывают, что механизм элементарного процесса, например для гетеролитических кислотно-основных реакций, аналогичен механизму обычных реакций, но реакции с участием ферментов отличаются обычно большими скоростями за счет оптимального пространственного расположения реагентов. Когда мы осуществляем аналогичное пространственное расположение в неферментативных системах, мы получаем и резкое увеличение скорости, и увеличение селективности.

Таким образом, мы сейчас можем себе представить, что в основе реакций ферментативного катализа лежат «обычные» химические катализаторы, обеспе-

чивающие достаточные скорости реакции, но усовершенствованные в процессе эволюции живой природы. Это усовершенствование могло быть постепенным; существенно, что при совершенствовании пространственного расположения активных центров относительно субстрата, принципы действия фермента не меняются, а лишь оптимизируются его скорость, селективность и специфичность в соответствии с потребностями организма.

Белковые молекулы, входящие в состав ферментов, создают прекрасную возможность для такого эволюционного развития фермента, так как в результате последовательных мутаций меняются природа и расположение аминокислот в белке и, следовательно, структура молекулы белка, что меняет и характеристики ферментативной реакции. Таким образом, эволюционное развитие ферментативных систем находит в принципе естественное объяснение.

Несомненно, что направление, связывающее химический и ферментативный катализ, является одним из самых перспективных на пути взаимного обогащения химии и биологии. Если раньше химия открыла для себя множество природных соединений (само название «органическая химия» возникло как результат изучения веществ, являющихся продуктами жизнедеятельности живых организмов), то теперь настала очередь учиться у природы способам проведения реакций. Так же как раньше химики преодолели виталистические представления путем осуществления химического синтеза органических веществ, теперь они преодолевают «надхимические» построения, осуществляя в химии принципы действия ферментативного катализа.

Можно предвидеть, что именно на пути моделирования ферментов удастся понять химическую эволюцию, в частности решить проблему возникновения и эволюции ферментативных систем.

Возвращаясь к металлокомплексному катализу, мы можем сделать вывод, что он может в разных случаях проявлять черты всех трех традиционных типов катализа: гомогенного, гетерогенного и ферментативного. С точки зрения механизма, принципиально несущественно, действуют ли металлокомплексы в объеме или на поверхности. В настоящее время распространен прием гетерогенизации металлокомплексных катализаторов путем нанесения их различными способами на поверхность. При этом получают

типичные гетерогенные катализаторы с сохранением механизма действия, осуществляемого ими в гомогенном растворе.

Активные центры гетерогенных катализаторов и ферментов можно рассматривать как своеобразные металлокомплексы. Металлокомплексы в растворах катализируют реакции, традиционно считавшиеся областью гетерогенного катализа, а также реакции, ранее известные только для ферментов.

Таким образом, сейчас, казалось бы, настала возможность создания общей теории катализа. Все каталитические реакции теперь можно систематизировать по типам механизма действия, разделив их на кислотно-основные и окислительно-восстановительные реакции, протекающие с участием или без участия металлокомплексов. При этом каждому типу реакций будут отвечать реакции, катализируемые гомогенными катализаторами, гетерогенными катализаторами и ферментами с присущими им особенностями.

При таком разделении всех каталитических реакций по типам механизма мы увидим, что для глубокого понимания природы катализа нам понадобится привлечь все представления современной химии и связанных с ней наук, так что «общая теория» катализа едва ли не совпадет с тем, что можно было бы назвать «общей теорией» химии. Впрочем, это не является неожиданным при учете того, что каталитической может быть реакция, протекающая по каждому из известных нам химических механизмов. А так как химический механизм реакции лежит в основе каталитического действия химических катализаторов, то общая теория катализа должна включать теорию химических превращений, лежащую в основе всей химии.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Дженкс В. КАТАЛИЗ В ХИМИИ И ЭНЗИМОЛОГИИ. М., 1972.

«Журнал Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева», 1977, т. 22, № 5. Номер посвящен современным достижениям катализа.

Кендли Дж., Тейлор К., Томпсон А. РЕАКЦИИ КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ. М., 1970.

Лихтенштейн Г. И. МНОГОЯДЕРНЫЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛОФЕРМЕНТЫ. М., 1979.

Теория катастроф

В. И. Арнольд



Владимир Игоревич Арнольд, доктор физико-математических наук, профессор Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Занимается теорией дифференциальных уравнений, классической и небесной механикой, теорией особенностей, вещественной алгебраической геометрией и др. Автор книг: Обыкновенные дифференциальные уравнения, М., 1971; Математические методы классической механики, М., 1974; Дополнительные главы теории обыкновенных дифференциальных уравнений, М., 1978; Ergodic Problems in Classical Mechanics (совместно с А. Аvez), N. Y., 1968. Член Национального комитета СССР по механике, вице-президент Московского математического общества, почетный член Лондонского математического общества, лауреат Ленинской премии.

Первые сведения о теории катастроф появились в западной печати лет десять назад. В журналах типа «Ньюс уик» сообщалось о перевороте в математике, сравнимом разве что с изобретением Ньютоном дифференциального и интегрального исчисления. Утверждалось, что новая наука — теория катастроф — для человечества гораздо ценнее, чем математический анализ: в то время как ньютоновская теория позволяет исследовать лишь плавные, непрерывные процессы, теория катастроф дает универсальный метод исследования всех скачкообразных переходов, разрывов, внезапных качественных изменений. Появились сотни научных и околонулевых публикаций, в которых теория катастроф применяется к столь разнообразным объектам, как, например, исследования биения сердца, геометрическая и физическая оптика, эмбриология, лингвистика, экспериментальная психология, экономика, гидродинамика, геология и теория элементарных частиц. Среди опубликованных работ по теории катастроф есть исследования влияния алкоголя на водителей транспортных средств, устойчивости кораблей, востаний заключенных в тюрьмах, поведения биржевых игроков, моделирования деятельности мозга и психических расстройств, политики цензуры по отношению к эротической литературе.

В начале семидесятых годов теория катастроф быстро сделалась модной, широко рекламируемой теорией, напоминающей универсальностью своих претензий псевдонаучные теории прошлого века.

Математические статьи основоположника теории катастроф, французского математика Р. Тома, были переизданы массовым тиражом в карманной серии — событие, которого не было в математическом мире со времени возникновения кибернетики, у которой теория катастроф заимствовала многие приемы саморекламы.

Вслед за панегириками теории катастроф появились и более трезвые критические работы; некоторые из них также печатались в рассчитанных на широкого читателя изданиях под красноречивыми названиями вроде «А король-то голый!». Сейчас имеются уже обзоры статей, специально посвященных критике теории катастроф¹. В оценке этой теории в настоящее время нет единого мнения; ниже излагается личная точка зрения автора статьи.

ТЕОРИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ X. УИТНИ

В 1955 г. американский математик Хасслер Уитни опубликовал работу «Об

Couckenheimer J. The catastrophe controversy.— «The Mathematical Intelligencer», 1978, v. 1, № 1, p. 15—21.

отображениях плоскости на плоскость»², заложившую основу новой математической теории — теории особенностей гладких отображений.

Чтобы понять, что такое теория катастроф, нужно вначале познакомиться с элементами теории особенностей Уитни. Теория особенностей — это грандиозное обобщение исследования функций на максимум и минимум. В теории Уитни функции заменены отображениями, в простейшем случае — отображениями поверхностей на плоскость.

Отображение поверхности на плоскость — это сопоставление каждой точке поверхности точки плоскости. Если точка поверхности задана координатами (x_1, x_2) на поверхности, а точка плоскости — координатами (y_1, y_2) на плоскости, то отображение задается парой функций:

$$y_1 = f_1(x_1, x_2), \quad y_2 = f_2(x_1, x_2).$$

Отображения гладких поверхностей на плоскость окружают нас со всех сторон. Действительно, большинство окружающих нас тел ограничено гладкими поверхностями. Видимые контуры тел — это проекции ограничивающих тела поверхностей на сетчатку глаза. Приглядываясь к окружающим нас телам, например к лицам людей, мы можем изучить особенности видимых контуров.

Уитни заметил, что в случаях «общего положения» встречаются особенности лишь двух видов. Все более сложные особенности разрушаются при малом шевелении тел или направлении проектирования, в то время как особенности этих двух видов устойчивы и сохраняются при малых деформациях отображения.

Примером особенности первого вида — Уитни назвал ее складкой — является особенность отображения проектирования сферы на плоскость в точках экватора (рис. 1). В локальных координатах это отображение задается формулами:

$$y_1 = x_1^2, \quad y_2 = x_2$$

Проектирования поверхностей гладких тел на сетчатку глаза в общих точках имеют именно такую особенность, и тут нет ничего удивительного. Удивительно то, что кроме этой особенности — складки — мы всюду встречаем еще ровно одну особенность, но практически никогда ее не замечаем.

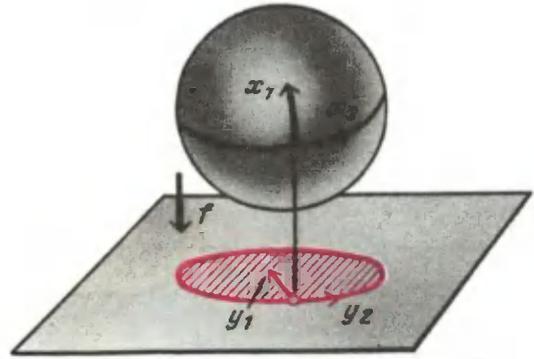


Рис. 1. Проектирование поверхности сферы на горизонтальную плоскость. На экваторе сферы получается особенность, называемая складкой.

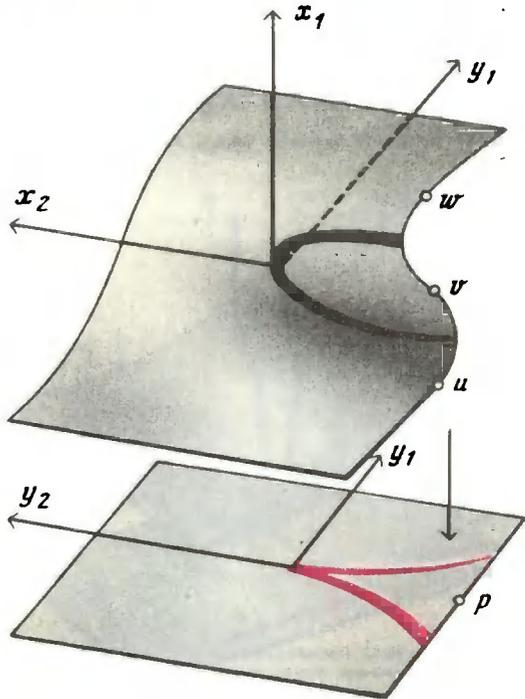


Рис. 2. Проектирование поверхности $y_1 = x_1^2 + x_1x_2$ на горизонтальную плоскость. В точке 0 имеется особенность, называемая сборкой Уитни. Показаны 3 прообраза u, v, w точки p.

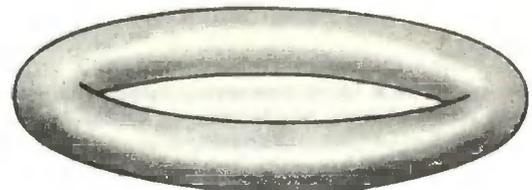


Рис. 3. Обычное изображение тора.

² Whitney H. Mappings of the plane into the plane. — «Ann. Math.», 1955, v. 62, p. 374—470.



Рис. 4. Особенности проекции тора на плоскость: видны 4 точки сборки.

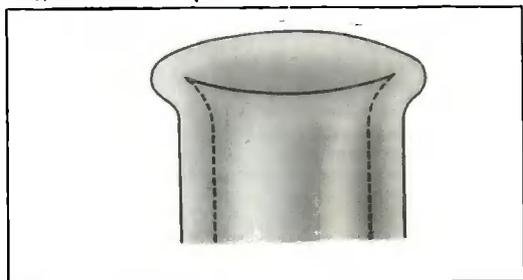


Рис. 5. Горлышко бутылки. Видны две точки сборки.

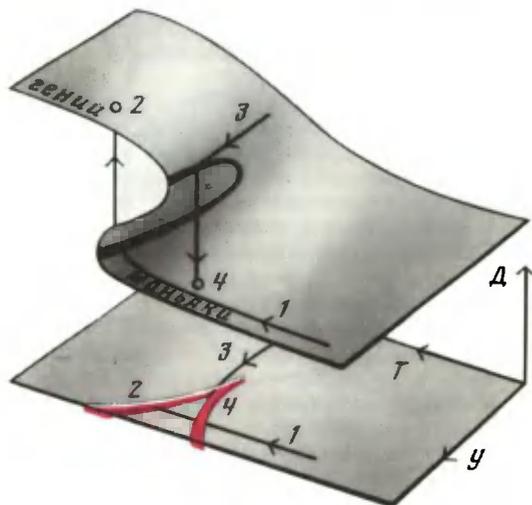


Рис. 6. Схема изменения достижений (D) творческой личности в зависимости от техники (T) и увлеченности (Y). Рост техники при значительной увлеченности приводит к скачку из «маньяков» в «гениев», а рост увлеченности, не подкрепленный ростом техники, — к катастрофе «гений — маньяков».

Это вторая особенность названа Уитни сборкой и получается при проектировании на плоскость поверхности, изображенной на рис. 2. Эта поверхность задана формулой $y_1 = x_1^3 + x_1 x_2$ в пространстве с координатами (x_1, x_2, y_1) и проектируется на горизонтальную плоскость (y_1, y_2) .

Таким образом, отображение задаётся в локальных координатах формулами:

$$y_1 = x_1^3 + x_1 x_2, \quad y_2 = x_2.$$

На горизонтальной плоскости проекции выделяется полукубическая парабола с точкой возврата (острием) в начале координат. Эта кривая делит горизонтальную плоскость на две части. Точки меньшей части имеют по три прообраза (в них проектируется 3 точки поверхности), точки большей части — лишь по одному. При подходе к кривой из меньшей части проекции два прообраза сливаются и исчезают (в этом месте особенность — складка); при подходе к острию сливаются все три прообраза.

Уитни доказал, что сборка устойчива, т. е. всякое близкое отображение имеет в подходящей близкой точке подобную же особенность (т. е. такую особенность, что продеформированное отображение в подходящих координатах в окрестности указанной точки записывается теми же формулами, какими записывалось исходное отображение в окрестности исходной точки). Уитни также доказал, что всякая особенность гладкого отображения поверхности на плоскость после подходящего малого шевеления «рассыпается» на складки и сборки.

Таким образом, видимые контуры гладких тел общего положения имеют точки возврата в местах, где проектирования имеют сборки и не имеют других особенностей: приглядевшись, мы можем найти эти точки возврата в чертах каждого лица или тела. Рассмотрим, например, поверхность гладкого тора (скажем, надутой шины). Тор обычно рисуют так, как это изображено на рис. 3. Если бы тор был прозрачным, мы увидели бы контур, изображенный на рис. 4: соответствующее отображение тора на плоскость имеет 4 точки сборки. Таким образом, концы линии видимого контура на рис. 3 — это точки возврата, в этих точках линия видимого контура имеет полукубическую особенность.

Прозрачный тор редко где увидишь. Рассмотрим другое прозрачное тело — бутылку. На рис. 5 изображено горлышко бутылки; видны две точки сборки. Покачивая бутылку, мы можем убедиться, что сборка устойчива. Тем самым мы получаем убедительное экспериментальное подтверждение теоремы Уитни.

После основополагающей работы Уитни теория особенностей бурно развивалась, и сейчас это одна из центральных областей математики, в которой перекре-

связываются пути, связывающие самые абстрактные разделы математики (дифференциальную и алгебраическую геометрию и топологию, теорию групп, порожденных отражениями, коммутативную алгебру, теорию комплексных пространств и т. д.) с самыми прикладными (теория устойчивости движения динамических систем, теория бифуркаций положений равновесия, геометрическая и волновая оптика и т. д.).

ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИИ УИТНИ

Поскольку гладкие отображения встречаются повсеместно, повсюду должны встречаться и их особенности. А поскольку теория Уитни дает значительную информацию об особенностях отображений общего положения, можно попытаться использовать эту информацию для изучения большого количества разнообразных явлений и процессов во всех областях естествознания. В этой простой идее и состоит вся сущность теории катастроф.

В случае, когда рассматриваемое отображение достаточно хорошо известно, речь идет о более или менее прямом применении математической теории особенностей к различным явлениям природы. Такое применение действительно приводит к полезным результатам, например в теории упругости и в геометрической оптике (теория особенностей каустик и волновых фронтов, о которых мы еще будем говорить дальше).

Однако в большинстве работ по теории катастроф речь идет о куда более спорной ситуации, когда не только не известно изучаемое отображение, но и само его существование весьма проблематично.

Приложения теории особенностей в этих ситуациях носят характер спекуляций; чтобы дать о них представление, мы воспроизводим принадлежащий английскому математику К. Зиману пример спекулятивного применения теории Уитни к исследованию деятельности творческой личности³.

Будем характеризовать творческую личность (например, ученого) тремя параметрами, называемыми «техника», «увлеченность», «достижения». По-видимому, между этими параметрами должна быть

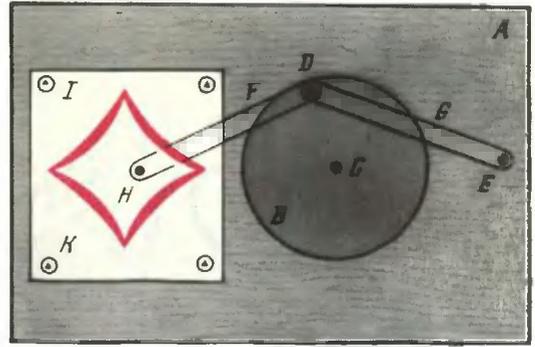


Рис. 7. Машина катастроф Зимана. А — доска; В — диск из картона; С — игла, вокруг которой может вращаться диск; D — игла, воткнутая только в диск; F — игла, воткнутая только в доску; E и G — кольца из легко растяжимой резины; H — карандаш; I — лист бумаги; K — кривая катастроф. При движении карандаша H диск В совершает качение, когда карандаш H пересекает кривую катастроф K.

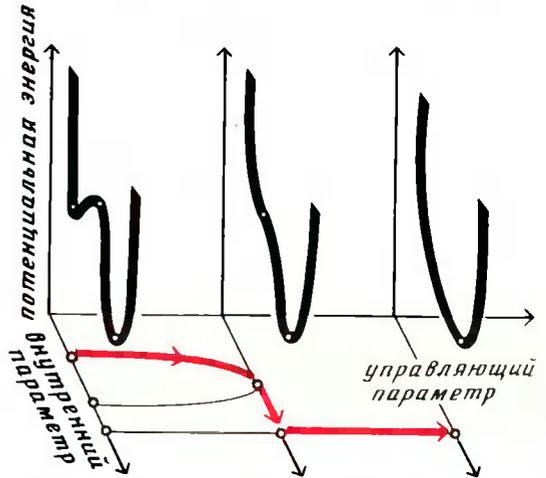


Рис. 8. Зависимость потенциальной энергии системы от управляющего и внутреннего параметров. Переход из одного минимума потенциальной энергии в другой происходит при «сдавании» первого минимума соседним максимумом.

зависимость. Тем самым возникает поверхность в трехмерном пространстве с координатами (Т, У, Д).

Спроектируем эту поверхность на плоскость (Т, У) вдоль оси Д. Для поверхности общего положения особенности — складки и сборки (по теореме Уитни). Утверждается, что сборка, расположенная так, как это изображено на рис. 6, удовлетворительно описывает наблюдаемые явления.

³ Zeeman E. C., Catastrophe theory: a reply to Thom.— In: Dynamical Systems Warwick, 1974, Lecture Notes in Mathematical 468. Berlin — Heidelberg — New York, 1975. p. 373.

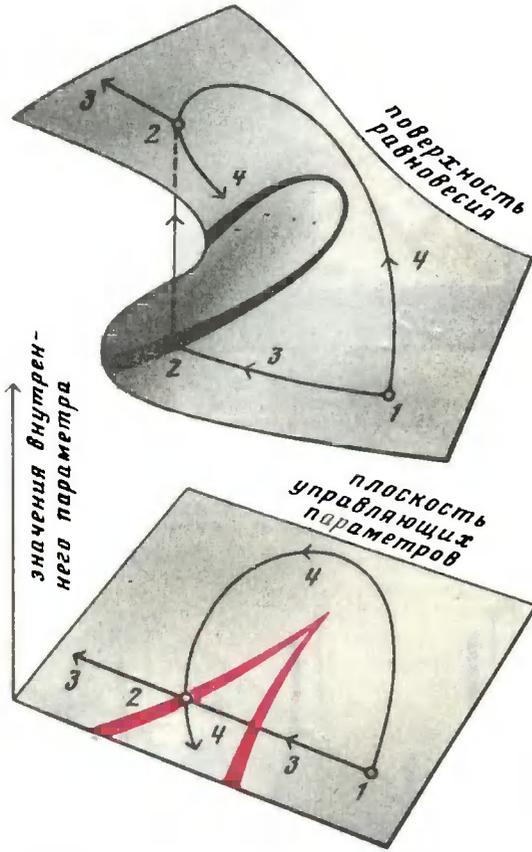
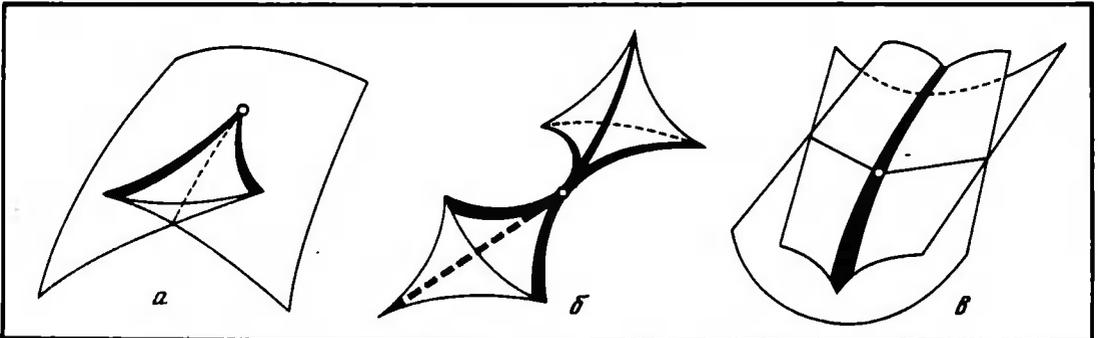


Рис. 9. Схема трехмерного пространства состояний машины катастроф. Если двигаться из точки 1 по пути 3, то при пересечении кривой катастроф в точке 2 будет скачок; если же идти по пути 4, то скачка в точке 2 не будет.

Рис. 10. Стандартные особенности каустики общего положения в трехмерном пространстве: ласточкин хвост (а), пирамида (б) и кошелек (в).



Действительно, посмотрим, как в этих предположениях будут меняться достижения ученого в зависимости от его техники и увлеченности. Если увлеченность невелика, то достижения монотонно и довольно медленно растут с техникой. Если увлеченность достаточно велика, то наступают качественно новые явления. В этом случае достижения с ростом техники могут расти скачком (такой скачок будет, например, если техника и увлеченность меняются вдоль кривой 1 на рис. 6 в точке 2). Область высоких достижений, в которую мы при этом попадаем, обозначена на рис. 6 словом «гении».

С другой стороны, рост увлеченности, не подкрепленный соответствующим ростом техники, приводит к катастрофе (на кривой 3 в точке 4, рис. 6), при которой достижения скачком падают, и мы попадаем в область, обозначенную словом «маньяки». Поучительно, что скачки из состояния «гений» в состояние «маньяк» и обратно происходят на разных линиях, так что при достаточно большой увлеченности гений и маньяк могут иметь равные увлеченности и технику, различаясь лишь достижениями (и предысторией).

Недостатки описанной модели и множества аналогичных ей спекуляций в теории катастроф слишком очевидны, чтобы о них говорить подробно.

МАШИНА КАТАСТРОФ

В отличие от описанного выше примера, применения теории особенностей к исследованию бифуркаций положений равновесия в теории упругости безупречно обоснованы.

Во многих упругих конструкциях при одинаковых внешних нагрузках возможно несколько положений равновесия. Рассмотрим, например, горизонтальную линейку, концы которой шарнирно за-

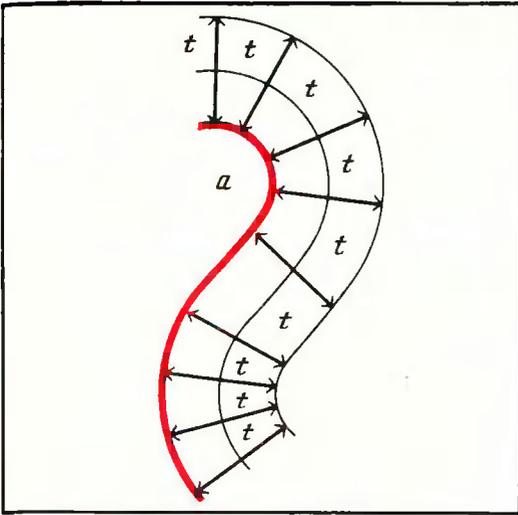


Рис. 11. Волновой фронт, распространяющийся от кривой «а».

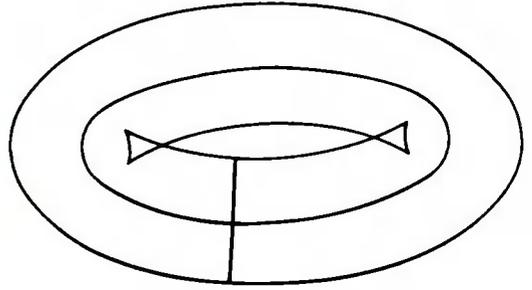
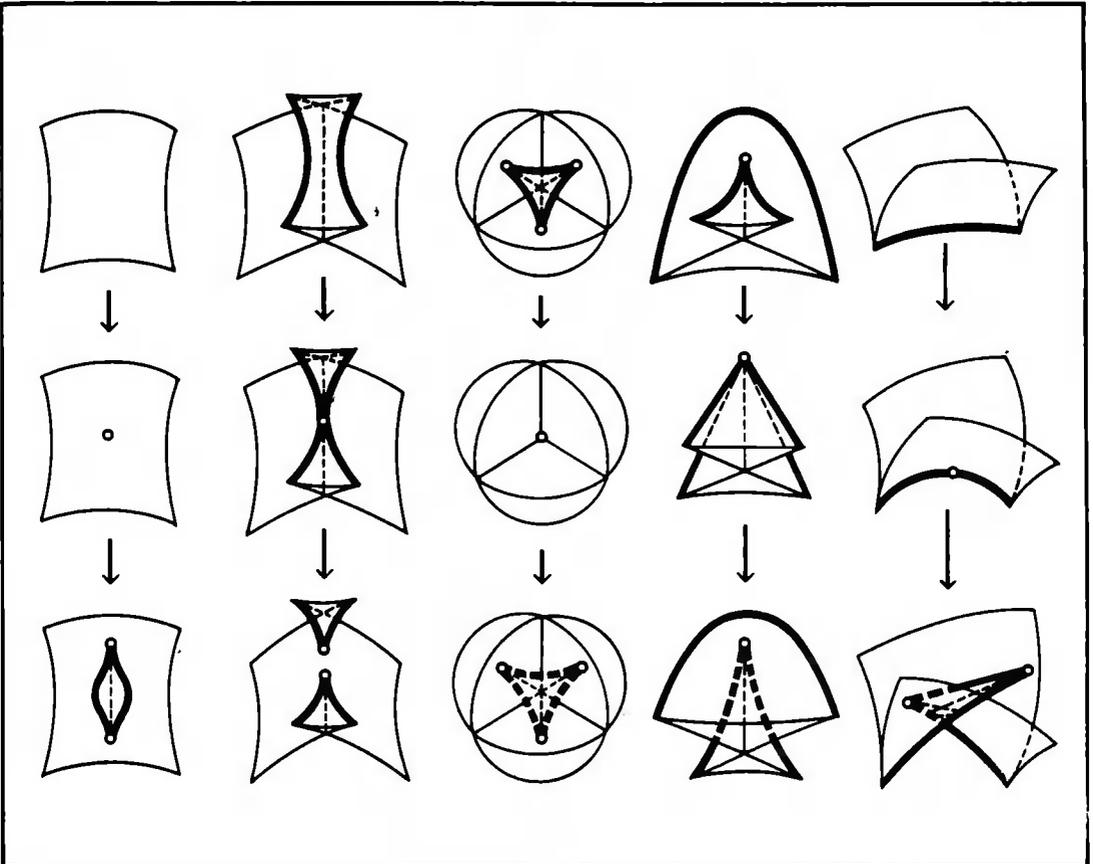


Рис. 12. Волновой фронт, распространяющийся внутрь эллипса.

Рис. 13. Пять стандартных видов перестройки волнового фронта общего положения при его движении в трехмерном пространстве.



креплены, нагруженную весом стоящего на середине линейки грузом.

Наряду с положением равновесия, при котором линейка прогнута грузом, возможно также положение, при котором линейка выгнута дугой вверх, наподобие моста.

При увеличении груза в некоторый момент происходит «катастрофа» или «хлопок»: линейка скачком переходит из одного состояния в другое. Теория особенностей применима к изучению таких хлопков, и ее предсказания прекрасно оправдываются в экспериментах.

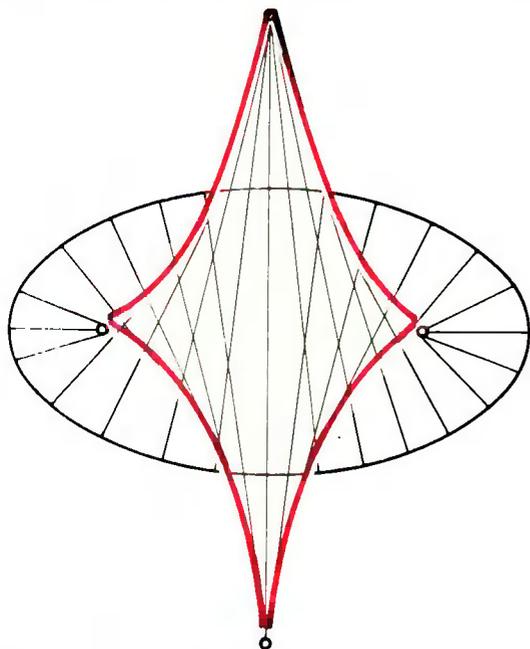


Рис. 14. Внутренние нормали эллипса.

Для наглядной иллюстрации применений этого рода изобретен ряд приспособлений: одно из простейших называется машиной катастроф Зимана и изображено на рис. 7.

Машину катастроф каждый может легко изготовить сам. Для этого нужно взять доску (на рис. 7 — А) и, вырезав из картона диск (В), проткнуть иглой диск в центре (С) и воткнуть иглу в доску так, чтобы диск мог вращаться вокруг оси. Другая игла (D) втыкается только в диск на его краю, а третья (Е) только в доску. Чтобы закончить сборку машины, нужно еще два кольца из легко растяжимой резины (F, G), карандаш (H) и лист бумаги (I).

После того как игла на краю диска

соединена с неподвижной иглой и с карандашом резинками, мы ставим острие карандаша в некоторой точке на листе бумаги и тем самым натягиваем резинки. Диск устанавливается в некотором положении. Теперь при движении острия карандаша диск будет поворачиваться. Оказывается, при некоторых положениях острия карандаша малое изменение этого положения способно вызвать «катастрофу», т. е. скачок диска в новое положение. Если отметить на листе бумаги места всех таких «катастроф», то получается «кривая катастроф» (К).

Оказывается, кривая катастроф сама имеет 4 точки возврата. При пересечении кривой катастроф скачок может происходить, а может и не происходить в зависимости от того, как путь острия карандаша обходит точки возврата кривой катастроф.

Экспериментируя с этой машиной и пытаясь найти правило, определяющее, будет ли скачок, читатель легко убедится в необходимости математической теории явления и сможет лучше оценить вклад теории особенностей в его объяснение.

Состояние машины катастроф описывается тремя числами. Действительно, положение острия карандаша задается двумя координатами (они называются управляющими параметрами). Положение диска определяется еще одним числом (углом поворота), называемым также внутренним параметром системы. Если все три числа заданы, то определены степени растяжения резинок и, следовательно, определена потенциальная энергия всей системы. Диск поворачивается так, чтобы эту энергию минимизировать (по меньшей мере, локально). При фиксированном положении карандаша потенциальная энергия — функция от положения диска, т. е. функция, заданная на окружности. Эта функция может иметь в зависимости от значений управляющих параметров один или несколько минимумов (рис. 8а). Если при изменении управляющих параметров минимум меняется плавно, то скачка не происходит. Скачок происходит при тех значениях управляющих параметров, для которых локальный минимум исчезает, слившись с локальным максимумом (рис. 8б); после скачка диск оказывается в положении, отвечающем другому локальному минимуму (рис. 8в).

Рассмотрим трехмерное пространство состояний машины. Состояния, при которых диск находится в равновесии, образуют в этом пространстве гладкую поверхность. Рассмотрим проектирование этой

поверхности на плоскость управляющих параметров вдоль оси внутреннего параметра (рис. 9). Это проектирование имеет складки и сборки. Проекция точек складок и есть кривая катастроф. Из рис. 9 видно, почему переход управляющих параметров через линию катастроф иногда вызывает, а иногда не вызывает скачка (это зависит от того, какому из листов нашей поверхности отвечает положение диска). Пользуясь этим рисунком, можно переходить с одного места поверхности равновесия на другое без скачков.

иметь особенности. Предполагается, что это — особенности общего положения. В таком случае теория особенностей предсказывает геометрию «катастроф», т. е. перескоков из одного состояния равновесия в другое при изменении управляющих параметров.

Приложения этого рода бывают более или менее обоснованными в зависимости от степени обоснованности исходных посылок. Например, в теории хлопков упругих конструкций и в теории опрокидывания кораблей предсказания теории полностью

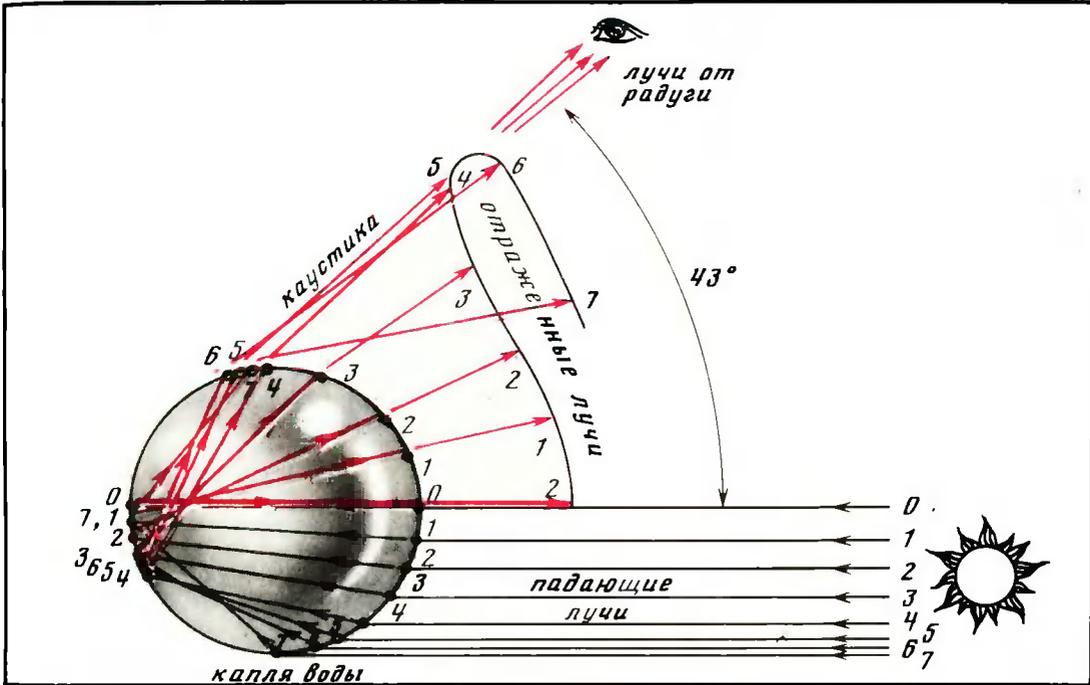


Рис. 15. Механизм образования радуги. Лучи 1—7 после двух преломлений и одного отражения в капле воды образуют с направлением на солнце углы от 0 до 43° . Плотность лучей, отклоняемых на углы, близкие к максимально возможному, больше, чем плотность лучей, отклоняемых на иные углы. Каустика (вне капли) — это линия, ограничивающая систему лучей; она очень близка к лучу 5.

подтверждаются экспериментом. С другой стороны, в биологии, психологии и социальных науках (скажем, в приложениях к теории поведения биржевых игроков или к изучению нервных болезней) как исходные предпосылки, так и выводы теории имеют скорее эвристическое значение.

Схема большинства применений теории катастроф такая же, как в описанных примерах. Предполагается, что изучаемый процесс описывается при помощи некоторого числа управляющих и внутренних параметров. Состояния равновесия процесса образуют поверхность того или иного числа измерений в этом пространстве. Проекция поверхности равновесия на плоскость управляющих параметров может

КАУСТИКИ И ВОЛНОВЫЕ ФРОНТЫ

Один из наиболее важных выводов теории особенностей состоит в универсальности нескольких простых образов, вроде складки, сборки и точки возврата, которые должны встречаться повсеместно и которые полезно научиться распознавать. Кроме перечисленных особенностей часто встречаются еще несколько образов, ко-

торые также получили собственные названия. На рис. 10 изображены некоторые из них.

Пусть в какой-либо среде распространяется какое-либо возмущение (например, ударная волна, свет или эпидемия).

Для простоты начнем с плоского случая. Пусть в начальный момент возмущение имелось на кривой «а» (рис. 11) и пусть скорость его распространения равна 1. Чтобы узнать, где будет возмущение через время t , нужно отложить по каждой

ности устойчивы (не устранимы малым шевелением начального фронта). Для гладкого начального фронта общего положения с течением времени будут образовываться лишь стандартные особенности такого же типа.

В трехмерном пространстве на гладком волновом фронте общего положения с течением времени возникают лишь ребра возврата и стандартные особенности типа «ласточкин хвост», изображенные на рис. 10а. Но в отдельные моменты времени

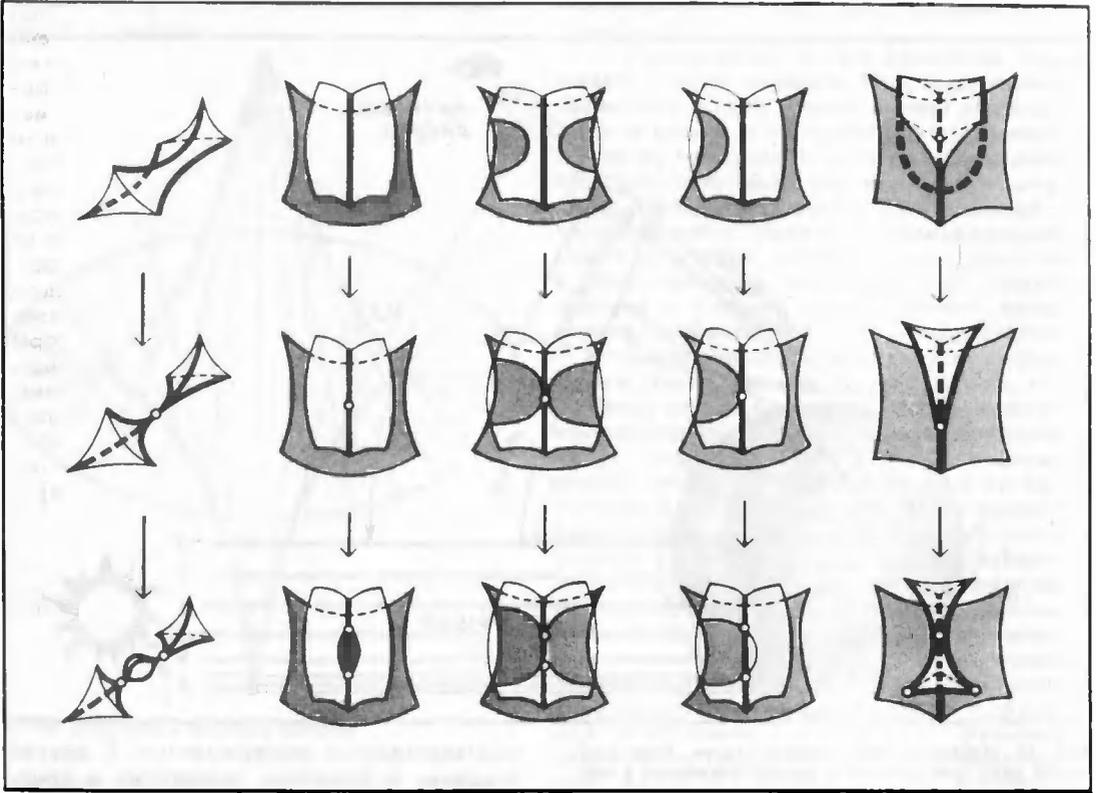


Рис. 16. Пять стандартных видов перестройки каустики. [Этот рисунок отсутствует в сочинениях по теории катастроф и, по-видимому, впервые публикуется в настоящей статье.]

нормали к кривой отрезок длины t . Получающаяся кривая называется волновым фронтом.

Даже если начальный волновой фронт не имел особенностей, через некоторое время особенности начнут возникать. Например, при распространении возмущения внутри эллипса возникают особенности, изображенные на рис. 12. Эти особен-

ности испытывает другой фронт, также совершенно стандартного вида. Эти перестройки изображены на рис. 13.

Наряду с волновыми фронтами процесс распространения описывается при помощи системы лучей. Например, распространение возмущений внутри эллипса можно описать при помощи семейства внутренних нормалей к эллипсу (рис. 14). Это семейство имеет огибающую. Огибающая семейства лучей называется каустикой (т. е. «жгущей», так как в этих местах свет концентрируется). Каустика хорошо видна на внутренней поверхности чашки,

освещенной солнцем. Радуга, которую мы видим на небе, также объясняется каустикой системы лучей, прошедших с полным внутренним отражением через каплю воды (рис. 15).

Каустика эллиптического фронта имеет 4 точки возврата. Эти особенности устойчивы: близкий к эллипсу фронт определит каустике с такими же особенностями. Каустики общего положения в трехмерном пространстве также имеют лишь стандартные особенности. Эти особенности называются ласточкиным хвостом, пирамидой и кошельком и изображены на рис. 10.

Особенности распространяющегося волнового фронта скользят вдоль каустики. Это явление хорошо видно при сравнении рис. 12 и 14, а также рис. 10 и 13.

Особенности каустик, фронтов и их перестроек (рис. 13 и 16) хорошо наблюдаются в экспериментах, и сейчас даже кажется странным, почему эта теория не была построена лет двести назад. Дело, однако, в том, что соответствующий математический аппарат нетривиален и связан с такими разделами математики, как классификация простых алгебр Ли и кристаллографических групп Кокстера; он также связан (довольно таинственным образом) с классификацией правильных многогранников в трехмерном евклидовом пространстве.

МИСТИКА ТЕОРИИ КАТАСТРОФ

Естественнонаучные приложения теории особенностей не исчерпывают всех направлений теории катастроф: наряду с конкретными исследованиями типа работ Зимана имеются скорее философские труды математика Тома, который первым осознал всеобъемлющий характер работ Уитни по теории особенностей (и предшествовавших им работ А. Пуанкаре и А. А. Андрона по теории бифуркаций), ввел термин «теория катастроф» и занялся ее широкой пропагандой.

Качественной особенностью работ Тома по теории катастроф является их своеобразный стиль. Зиман, горячий поклонник этого стиля, замечает, что смысл слов Тома становится понятным лишь после того, как вставишь 99 своих строк между каждыми двумя строками Тома.

Чтобы читатель мог составить об этом стиле собственное представление, приведу здесь образчик из обзора перспектив теории катастроф, сделанного Томом в 1974 г.:

«В философском, метафизическом

плане теория катастроф не может принести ответа на великие проблемы, волнующие человека. Но она поощряет диалектическое, гераклитовское видение Вселенной, видение мира как театра непрерывной борьбы между «логосами», между архетипами. Теория катастроф приводит нас к глубоко политеистическому взгляду: во всем следует различать руку Богов. И здесь, быть может, теория катастроф найдет неизбежные пределы своей практической применимости. Она разделит, быть может, участь психоанализа. Нет сомнения, что основные психологические открытия Фрейда верны. И все же знание этих фактов принесло мало практической пользы (при лечении психических заболеваний). Как герой Илиады не мог противостоять воле бога, скажем Афины, так и мы не сможем ограничить действие архетипа, не противопоставляя ему архетипа-антагониста, в борьбе с неопределенным исходом. Те самые причины, которые нам позволяют располагать нашими возможностями действовать в одних случаях, осуждают нас на бессилие в других. Быть может, удастся доказать неизбежность некоторых катастроф, например болезни или смерти. Познание не обязательно будет обещанием успеха или выживания; оно может вести также к уверенности в нашем конце»⁴.

Прекрасные результаты теории особенностей, к счастью, не зависят от мрачной мистики теории катастроф.

⁴ Thom R. Catastrophe theory: its present state and future perspectives, *ibid.*, p. 372.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Whitney H. MAPPINGS OF THE PLANE INTO THE PLANE.—«Ann. Math.», 1955, v. 62, p. 374—470.

Poston T., Stewart I. CATASTROPHE THEORY AND ITS APPLICATIONS. Pitman, 1978. (Готовится русский перевод.)

Thom R. STABILITÉ STRUCTURELLE ET MORPHOGENÈSE. N. Y., 1972.

Zeeman E. C. CATASTROPHE THEORY: SELECTED PAPERS (1972—1977). Mass., 1977.

Брекер Т., Ландер Л. ДИФФЕРЕНЦИРУЕМЫЕ РОСТКИ И КАТАСТРОФЫ. М., 1977.

Голубицкий М., Гийемми В. УСТОЙЧИВЫЕ ОТБРАЖЕНИЯ И ИХ ОСОБЕННОСТИ. М., 1977.

Взаимодействие наук и синтез знания

Ю. А. Шрейдер



Юлий Анатольевич Шрейдер, кандидат физико-математических наук, заведующий сектором математики Всесоюзного научно-исследовательского института технической информации АН СССР. Занимается проблемами науковедения. Неоднократно печатался в «Природе» (1972, № 3, 6; 1973, № 4, 10, 12; 1978, № 5).

ВОЗМОЖНА ЛИ ЕДИНАЯ КАРТИНА МИРА?

Огромно здание современной науки, и полнотой научных знаний не может обладать ни один человек. Работать на профессиональном уровне можно лишь будучи специалистом в той или иной конкретной области науки. Книгу природы никто не в состоянии читать целиком, каждый читает свой параграф в этой книге — соразмерно с человеческими возможностями. Но значит ли это, что человечество в целом читает всю книгу природы? Есть ли гарантия, что важнейшие главы этой книги не прошли мимо нас? Можно ли на базе узкоспециализированного научного знания построить картину мира, познать логику мироздания и сам смысл человеческого существования? Может ли многообразное избыточное знание дать подлинную мудрость познания? Удовлетворима ли в принципе тоска по синтезу знания, жажда преодоления перегородок, вставших между конкретными областями знания? Эта потребность в синтезе заставляет осознать существующую заскорузлость специализации как кризисное явление в науке: пока наука воспринимается лишь как средство для решения технологических и, вообще, прикладных проблем, со спе-

циализацией можно мириться. Когда же мы обращаемся к науке как к источнику знаний о сущности мира, о природе человека, достижение синтеза знаний представляется той целью, вне которой само знание лишено подлинного смысла. Можно спорить о том, способна ли наука в ее нынешнем виде привести к пониманию сущности мира, о том, связано ли научное знание с постижением гармонии. Подлинный вопрос не в том, ибо пределы науки несомненно могут быть расширены. Подлинный вопрос состоит в том, можно ли путем рационального освоения мира создать синтетическое знание? Казалось бы, сам объем современной науки ставит такие границы. Как осмыслить значение той книги природы, из которой каждый из нас способен прочесть лишь несколько страниц? Вопрос о способности науки дать некую картину мира становится тем самым вопросом о состоятельности рационализма, вопросом о познавательных способностях человеческого разума. Трудность ответа на этот вопрос кроется в диалектичности истины — любая статичная, претендующая на однозначность истины картина мира оказывается противоречивой. Путь к истине принципиально диалогичен. Само понятие науки не может быть введено в какие-то замкнутые рамки. Похоже на то,

что наука не выделяется как четко очерченный феномен культуры, но является дисперсным образованием в рамках этого феномена. Кроме того, сама задача синтеза знания, по сути дела, решается культурой в целом, а синтетическая картина мира есть один из важнейших элементов всякой культуры. В какой мере такая картина может быть достигнута путем рациональной деятельности, в какой мере она достижима при традиционном (сложившемся в классической науке) понимании рационального — вот вопросы, существенные для понимания природы науки. Препятствия, которые сегодня стоят на пути достижения синтеза, не дают оснований для того, чтобы заранее ограничивать сферу человеческого разума. Это, по меньшей мере, неразумно. Специализация научного знания сама по себе не означает невозможности нового синтеза. Но пути к синтетическому знанию, к пониманию сущности мира, разумеется, не просты. И первый вопрос на этом пути — это вопрос о взаимоотношении наук естественных и наук общественных.

КАКОЙ СМЫСЛ ИМЕЕТ ДЕЛЕНИЕ НАУК НА ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ?

Разделение наук на естественные и общественные основано на представлении о том, что в изучаемой наукой действительности можно выделить достаточно широкий фрагмент, свойства которого не зависят от существования человеческого общества. Этот фрагмент мы называем природой, а науки, его изучающие, принято называть естественными. В свою очередь, общественными науками мы привыкли называть те, которые изучают собственно феномен человека с его закономерностями, четко отделенными от природных законов.

Явная формулировка этих предположений сразу обнажает их слабость. Указанное деление не охватывает тех областей знания, где человек изучается только как природный феномен (антропология, психофизиология и т. п.), и тех, где изучается зависимость изучения природы от используемых человеком средств (методология науки, психология творчества и т. п.). Но и в самих естественных науках роль познающего субъекта не бросается сразу в глаза только потому, что в «нормальные» периоды развития науки ее «общественные предпосылки»

становятся общепринятыми¹. То, что Т. Кун назвал научной парадигмой, это, по сути, и есть общепринятая в науке система ценностей, представлений о «научности» тех или иных подходов, о допустимых познавательных установках и т. п. В кризисные моменты смены парадигм идет пересмотр этой системы, и роль рефлексии познающего субъекта обнажается. В действительности эта рефлексия имеет место и в нормальные периоды. Более того, исследователь буквально окутывает своей рефлексией изучаемые фрагменты природной реальности, преобразуя их совсем в иной материал. Этот эффект М. А. Розов удачно назвал парадоксом Мидаса². Предоставленные собственной рефлексии естественные науки склонны отождествлять получаемые научные модели реальности с самой реальностью. А принятые однажды и опробованные на практике познавательные установки (эвристики) наука склонна порой считать не подлежащими смене³. Чтобы избежать этих опасностей, приходится прибегать к логико-методологическому анализу процесса научного познания. Тем самым оказывается, что естественные науки не могут существовать вне теснейшей связи с общественными.

КЛАССИФИКАЦИЯ ИЛИ ОРГАНИЗАЦИЯ НАУК?

В применении к областям науки обычно употребляемое слово классификация не вполне удачно. Классифицированию подлежат системы, состоящие из четко выделяемых объектов, которые можно сопоставлять друг с другом по свойствам, форме или функциям, объединяя «близкие» объекты в классы. Такой классификацией служит, например, Периодическая таблица химических элементов, где элементы со сходным типом электронной оболочки с общим числом заполненных слоев или общим числом внешних электронов объединяются в строки и столбцы. Классификация живых организмов разбивает их на группы (виды, роды, классы, типы и т. д.), обладающие большей или меньшей общностью

¹ См.: Кун Т. Структура научных революций. М., 1975.

² Розов М. А. Проблемы эмпирического анализа научных знаний. Новосибирск, 1977.

³ Шрейдер Ю. А. Эвристики... — «Химия и жизнь», 1979, № 1.

строения и функционирования. Но есть системы совсем другого типа, состоящие из существенно различных (не сопоставимых по свойствам) частей — органов. Такой системой является, к примеру, отдельный живой организм. Структура таких систем исследуется не путем операции классифицирования, а путем выяснения архетипа — плана строения⁴. Можно было бы вообразить себе попытку изобразить строение науки в виде фигуры человека, где отдельным частям и органам сопоставлены наименования наук. Такая фантастическая аналогия ближе к сути дела, чем любая классификационная схема, пытающаяся сопоставлять науки по сходству и различию предмета, метода и чего-нибудь еще. Так, Б. М. Кедров⁵ фактически строит не традиционную классификацию, но «пространственную структуру» науки. Природа науки как целостной системы ближе к единому организму, чем к совокупности отдельных объектов. В случае науки уместней говорить о ее членении на части, чем о классификации составляющих ее элементов. Грубое членение науки внешне выглядит, как классификация. Это впечатление усугубляется в процессе дифференциации наук. Однако попытки выделить в науке элементарные «кирпичики», из которых складывается целое, не приводят к удовлетворительному результату. Там, где может быть проведена граница, там кончается «суть дела». Наука — это не россыпь отдельных предметов, про которые можно говорить, что одни входят в такой-то класс, а другие нет. Наука есть целостный организм, в котором кровеносная, нервная, гормональная и т. п. системы пронизывают насквозь все части.

ЭВОЛЮЦИЯ НАУКИ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НАУК

Известно, что бурное развитие науки происходит на стыках научных областей. Из этого следует, что для понимания сущности эволюции науки необходимо изучить, как происходит взаимодействие наук. Но можно на это посмотреть и с обратной стороны. Если допустить, что эволюцию науки каким-то образом

определяет человеческое стремление к синтезу знания, это должно как-то сказаться на механизмах взаимодействия наук. Эволюция науки реализуется двояко: в «расчистке» сформировавшихся областей и в возникновении новых. В сущности, любая принципиально новая теория или концептуальная схема конструирует новый материал исследования хотя бы за счет специфического способа обращения с эмпирией и тем самым образует новую область науки.

Сказанное означает, что эволюция науки происходит как под воздействием причин (в том числе взаимодействия различных областей), так и под влиянием целей (например, стремления к синтезу знания). Столкновение столь различных «механизмов» делает столь сложной логику развития науки.

Ситуация, когда результаты одной научной области находят прямое применение в другой, не способствует рождению новой науки. Возникновение новой области происходит в тот момент, когда методы, привнесенные из одной науки, «приживаются» в другой, приспосабливаясь к новой предметной области путем достаточно заметной трансформации. Так, статистика успешно применяется в разных предметных областях. И далеко не всегда из этих применений рождаются новые науки, вроде биометрики или наукометрии.

Очень часто внедрение математического аппарата в некоторую сферу знания приводит к возникновению новой математической области науки (математическая физика, математическая экономика и т. д.) или способствует становлению новой теоретической дисциплины (как теоретическая физика).

При взаимодействии общественных и естественных наук большую роль играет проникновение в первые методов, сложившихся в последних. Так, в лингвистику кроме математических проникают точные физические методы изучения акустики речи. В физиологию высшей нервной деятельности проникают объективные методы регистрации сигналов мозга. Несмотря на постоянно присутствующую опасность упрощения картины путем сведения ее к физикалистской модели, подобное проникновение в чем-то обогащает общественные науки. Это упрощение связано с тем, что высвещение некоторой поверхностной, легче всего под-

⁴ Ср. Мейен С. В., Шрейдер Ю. А. Методологические проблемы теории классификации. — «Вопросы философии», 1976, № 12.

⁵ Кедров Б. М. Классификация наук, т. 1. М., 1961, т. II, 1965.

дающей проникновению точных методов стороны явлений порой не только оставляет в тени суть дела, но заставляет этой сутью вообще пренебречь. Примитивизация предмета связана не с самим применением точных методов, но с упрощенными философско-методологическими концепциями, которые порой тянутся за этими методами. Вряд ли, например, стоит всерьез бояться проникновения теоретико-информационных методов в искусствоведение. Но опасно было бы принять как теоретическую модель искусства готовый набор познавательных установок, на которых строится теория передачи сообщений, чисто инженерная в своей основе. Опасность лежит даже не в самой модели, но в ее абсолютизации, в соблазне принять скромную инженерную концепцию за абсолютный эталон при изучении искусства.

Успехи естественных наук имели одним из следствий признание абсолютизма естественнонаучного подхода, который стал претендовать на абсолютный эталон научности. В истории науки можно проследить, как принятие и признание этого эталона способствовало развитию ряда концепций в общественных науках. К таким концепциям можно с определенным основанием отнести, например, психоанализ или бихевиоризм в психологии. В обеих теориях можно увидеть черты, характерные для классического естественнонаучного мышления. Прежде всего, это стремление к детерминистскому описанию психических явлений. Понятие свободы воли не вмещается ни в одну из указанных концепций. Во-вторых, это стремление свести высшие психические процессы к низшим, допускающим объективную регистрацию. В-третьих, это стремление к универсализму объяснения, к желанию уложить многообразие психических явлений в весьма жесткие рамки претендующей на господство концепции. Стоит подчеркнуть, что психоанализ в его классической (фрейдистской, а не юнговой) форме гораздо ближе по духу к позитивизму или даже вульгарному материализму, чем к более глубоким воззрениям объективно идеалистической природы. Можно предположить, что массовый успех психоанализа обязан именно его духовному родству с естественнонаучной методологией прошлого века, его посягательством на разгадку глубочайших тайн психики путем редукции к довольно простым механизмам.

НЕОБХОДИМОСТЬ МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЙ РЕФЛЕКСИИ

Но не только общественные науки черпают методы из естественных — сходное явление происходит и в противоположную сторону, приобретая форму специфической рефлексии над природной наукой как социального феномена. Осознание самой науки как исторического процесса, идея смены научных парадигм, о которой в последнее время появилось много публикаций, в корне подрывает абсолютизм классической естественнонаучной методологии⁶. Сегодня эта идея помогает понять диалектический характер развития науки, ее способность осознавать и преодолевать, казалось бы, незыблемые установок. Это сказывается в конкретной методологии науки, ведя к уточнению и пересмотру, казалось бы, очевидных положений. Пока постулаты и установок, лежащие в основе той или иной естественной науки или теории, представляются само собой разумеющимися, они чаще всего и не формулируются явно. Сомнение в непреложности этих постулатов и потребность в их явной формулировке тесно взаимосвязаны и возникают почти одновременно.

Включение методологических аспектов в самую ткань естественной науки — очень важный вид взаимодействия общественных и естественных наук. Здесь речь идет уже не о локальном взаимодействии наук на стыке, но о тесной зависимости естествознания от исследования самих процессов человеческого познания. Методология и конкретное познание всегда были тесно переплетены в науке. Сегодня наука как никогда нуждается в методологической ясности, в четком выделении и уяснении методологических аспектов. Классическая наука принимала свои методологические установок как нечто очевидное и не подлежащее замене. Многие классические научные концепции в качестве оснований имеют, скажем, уверенность в непреложности «бритвы Оккама» или в отсутствии в живой природе целепологающих факторов. Это означает фактически, что наука ис-

⁶ Ср. обсуждение понятия «научная парадигма» в статьях: Грязнов Б. С. Философские «парадигмы» Т. Куна. — «Природа», 1976, № 10; Кедров Б. М. О революционном характере развития естествознания. — Там же; Левин А. Е. Модель науки «в первом приближении». — Там же.

пользует натурфилософию в качестве фундамента научных знаний. Ясное выделение чисто методологических проблем, уяснение диалектичности подхода и методологии, запрещающей абсолютизацию тех или иных частных предпосылок, дают науке необходимые для ее развития степени свободы, облегчают путь рационального освоения действительности. Принцип методологической рефлексии, сменяющий в естественных науках непреклонную уверенность в абсолютности классической парадигмы, явно заимствован из сферы общественных наук. Вместе с ним заимствуется и представление о допустимости многообразия теорий⁷ и о многоаспектности подходов к эмпирическому материалу.

Абсолютизация естественнонаучного метода привела к возникновению позитивизма как собственной философии науки. Однако философская недостаточность позитивизма сегодня обнаруживается уже не только с философско-теоретических позиций, но и в рамках конкретной науки. Науки о природе не могут развиваться только на основе эксперимента и индукции. Далеко не всюду возможен чистый эксперимент и далеко не всегда то, что наблюдается в эксперименте «in vitro», адекватно реальности «in vivo». Позитивистская натурфилософия, ставящая превыше всего единую физикалистскую картину мира, стремящаяся найти механоподобные истолкования жизни и психики, показывает свою неадекватность на конкретном научном материале. Эта натурфилософия оказывается неспособной дать истолкование явлениям более сложной, чем просто механистическая, природы. Впрочем, это не значит, что для успешного развития науки достаточно сменить натурфилософию. Никакая, даже ультрасовременная догма, даже в философском облики, не должна лежать в основаниях науки. Наука принципиально полифонична и диалогична. Философия, основанная на диалектическом методе, не диктует науке решений, не создает из научных знания апробированные натурфилософские схемы. Скажем, нельзя на чисто философской основе решать вопрос о существовании внеземных цивилизаций или о невозможности

парапсихологических явлений. Сегодня отсутствие в естественных науках эстетических и ценностных категорий есть одно из важнейших оснований для их выделения в особый вид знания, не связанного с человеческой природой, и следовательно не подлежащего компетенции общественных наук. Но если эстетические критерии оказываются необходимыми для формулировки естественнонаучных теорий? Если ценность знания как такового оказывается необходимым сопоставлять с общей системой человеческих ценностей? Тогда барьер, отделяющий естественные науки от общественных, перестает быть непреодолимой границей, глухим забором. Он просто отмечает границы профессиональной компетентности. В новых интегральных науках (некоторые из них представляют лишь наметки грандиозных замыслов) можно увидеть зачатки нового отношения между конкретно-научным и философским мышлением. Это — экология, философская антропология (задуманная М. М. Бахтиным), учение о ноосфере (В. И. Вернадский и Т. де Шарден) и т. п. Возможно, лицо завтрашней науки будут определять именно такие интегральные области знания, а современные естественные науки займут статус частных исследовательских методик. Подобная ситуация уже имела место с микроскопией, которая из особой науки превратилась в общенаучную методику.

Сегодня наука, вооруженная философским подходом, начинает посягать на сами основания научного знания и научных концепций. Пересмотру подлежит не объективность бытия и природы, но объективность и всемогущество методов, изучающих природу как независимый от человека фрагмент действительности. Экспериментальный метод как основа индукции сам по себе прекрасен и плодотворен, это могучий инструмент. Но в науке не меньшую роль играет интуитивная экстраполяция точных локальных результатов на широкий класс ситуаций.

Наука (и вообще человеческое знание) не может обойтись без экстраполяции. Но возникает фундаментальный вопрос о критериях разумности этих экстраполяций. И, во всяком случае, эти экстраполяции в свете философского анализа не кажутся столь однозначными, столь детерминированными логикой научных рассуждений, столь обязательными. Первый шаг, который здесь пред-

⁷ Ср. Овчинников Н. Ф. Взаимодействие естественных, технических и общественных наук в свете решений XXV съезда КПСС. Обнинск, 1978.

стоит сделать,— это осознать, сколь многие из так называемых научных утверждений являются всего лишь экстраполяциями знания, действительно добытого наукой.

Классическое естествознание стыдливо закрывает глаза на логические и экспериментальные лакуны, принимая наиболее неудовлетворительный теоретико-познавательный принцип: веру в то, что эти лакуны заполнит будущее. Вряд ли подобную веру уместно квалифицировать как научный рационализм. Настоящий рационализм умеет обнаруживать пробелы в научных доказательствах, оценивать реальные основания используемых экстраполяций. Предчувствие смены научной парадигмы и связанный с этим кризис сциентизма— это не кризис подлинного рационализма, а только ощущение недостаточности традиционных форм рационального познания.

СИНТЕТИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА КАК ФАКТОР, ФОРМИРУЮЩИЙ ЧЕЛОВЕКА

Рассматривая науку как инструмент познания, мы не должны забывать, что получаемое знание входит в самое структуру человеческого сознания. Научная картина мира— это не только цель науки, но фактор, непосредственно формирующий человеческое сознание. Именно поэтому вопрос о достижимости синтеза, о его адекватности миру— это не только вопрос о возможностях науки, но вопрос об отношении человека к миру и о его способности осознать это отношение. Классическая позитивная наука внушила человечеству уверенность в том, что может дать устойчивое и непротиворечивое представление о мире, где антиномии преодолены или выведены на периферию познания. (Так, математика не смущают парадоксы теории множеств, ибо они лежат на периферии его науки.) Фактически оказалась, что наука вместо единой непротиворечивой панорамы предлагает набор специализированных «окошек», через которые раскрываются фрагменты действительности. Кризис физикалистской картины мира, обнаружение неоднозначности, многослойности, диалектичности самой реальности, изучаемой наукой, все это привело к необходимости выбора одной из трех мыслимых установок. Во-первых, можно надеяться, что этот кризис будет преодолен в классическом духе и наука вернется в

старый и уютный рай. Во-вторых, можно принять этот кризис как симптом гибели науки и рационализма в целом. (Так всегда бывало в кризисных ситуациях.) В-третьих, можно принять те же самые явления как признак зрелости научного рационализма, который не имеет больше права держаться за уютную натурфилософскую картину действительности, но обязан мыслить диалектически: стремиться высветлять открывающиеся в познании парадоксы, видеть в антимониях движущие силы развития знания. Последняя установка формирует мужество сознания и снимает самоуспокоенность разума. Поэтому уместней быть благодарным эволюции науки, чем испытывать ужас перед кризисом физикалистского универсализма в научной методологии.

С этих позиций следует пересмотреть и сам идеал синтетического знания. Да, стремление к грядущему синтезу остается благородной мечтой целостного прочтения книги природы. Но вряд ли стоит мечтать о новой синтетической картине мира, лишенной принципиальных противоречий. Это будет все та же натурфилософская идиллия в подновленной окантовке. Подлинное единство знания связано с логикой, лежащей в его основе. Единым является процесс познания, основанный на философской логике, не боящейся диалектических противоречий и философских трансценденций. Этот процесс познания есть процесс рационального освоения мира, теснейшим образом связанный с эстетическим освоением действительности и утверждением этических начал. Высшая цель человеческого знания, включающего в себя науку, есть не описание, но постижение мира. Это идеал, сформулированный в строках А. С. Пушкина:

И внял я неба содроганье,
И горный ангелов полет,
И гад морских подводный ход,
И дольней лозы прозябанье.

Экспериментальная экосистема — «Этэкос»

В. В. Алексеев, В. В. Сапожников



Вячеслав Викторович Алексеев, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник физического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Биофизик, занимается математическим моделированием биогеоценозов. Автор ряда монографий, в том числе: *Динамические модели водных биогеоценозов*. М., 1976.



Виктор Вольфович Сапожников, кандидат географических наук, старший научный сотрудник географического факультета того же университета. Специалист по гидрохимии водоемов суши и океанов.

Нарушение равновесия в природе вследствие загрязнения окружающей среды промышленными, сельскохозяйственными и бытовыми отходами вызвало огромный интерес к фундаментальным исследованиям экологических проблем, которые могут быть решены лишь совместными усилиями ученых разных специальностей: физиков, химиков, биологов и т. д. Основные сведения об экосистемах получены в результате наблюдений в природе. Однако наблюдения — это первый, но далеко не самый эффективный способ изучения. Возможность получить максимальную количественную информацию и перейти к построению математической модели явления дает только эксперимент.

Первые эксперименты проводились с экосистемами из микроскопических организмов. В 1912 г. Л. Л. Вудрефф впервые дал количественное описание последовательного изменения популяции простейших в сенном настое под влиянием изменения среды населяющими ее организмами. Он наблюдал, как многочисленных жгутиковых сменяют различного рода колподы, а затем парамеции, которых последовательно замещают брюхооресничные инфузории, амёбы и сувойки.

Дальнейшим этапом в развитии такого рода экспериментов было исследование замкнутых микроэкосистем (объемом около 250 мл и более), требующих для своего развития лишь световой энергии, а также изучение организ-

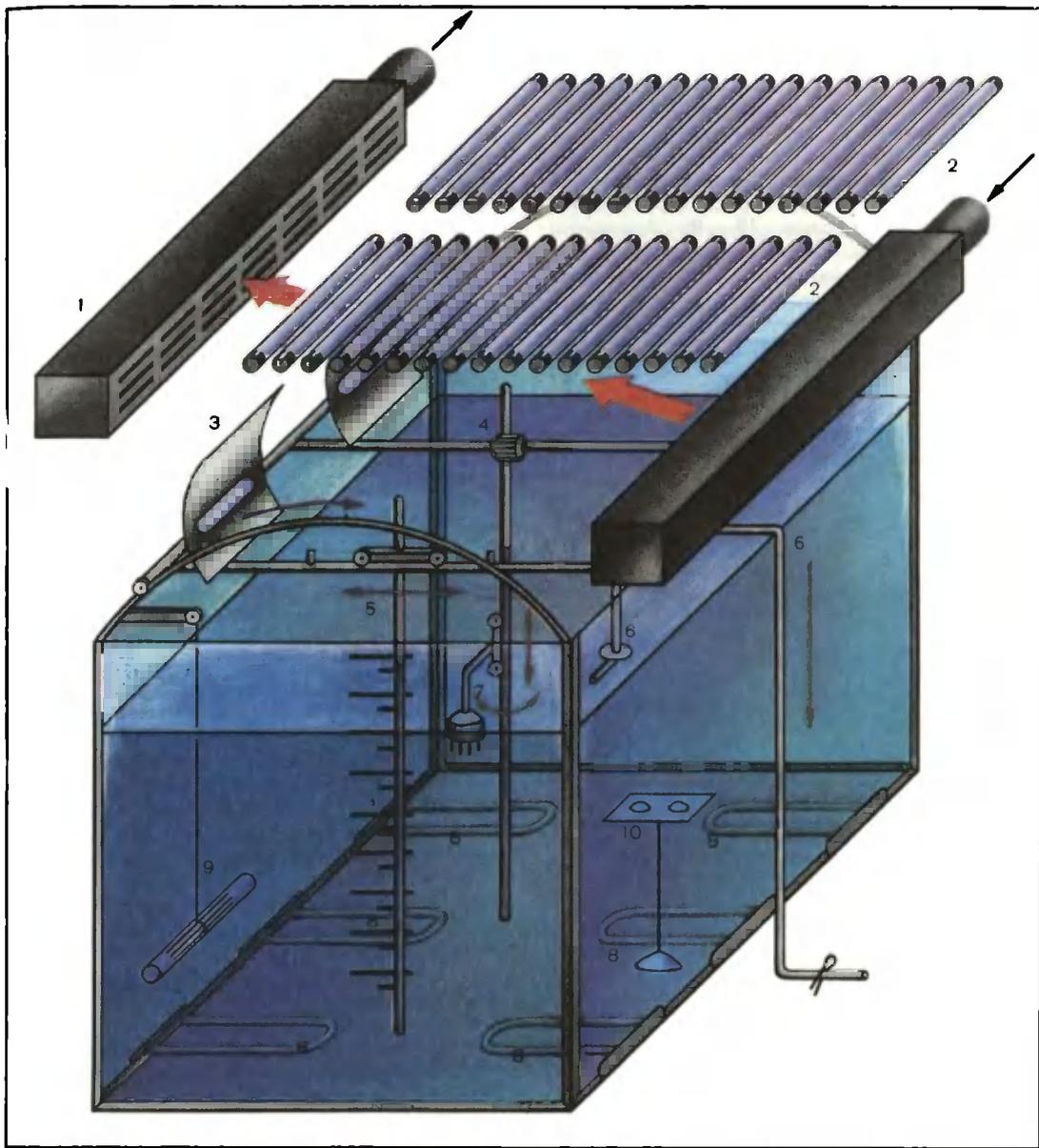


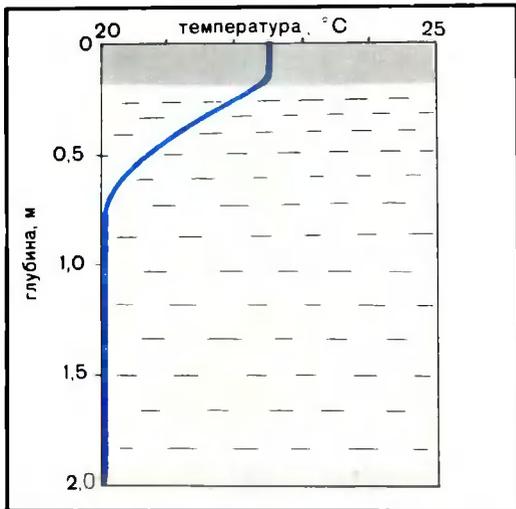
Схема экспериментальной установки для изучения экосистем: 1 — система кондиционирования воздуха, 2 — регулируемая система освещения [софит из 56 люминесцентных ламп], 3 — ксеноновые лампы, перемещающиеся по дугам, 4 — электродвигатели, вращающие штангу с зондом и передвигающие его по вертикали, 5 — передвижная платформа с датчиками кислорода [оксиметрами], 6 — пробоотборники, 7 — зонд для определения pH, растворенного кислорода и температуры, 8 — электрические нагреватели, 9 — прибор для определения прозрачности воды, 10 — фотоэлементы для определения интенсивности света.

мов, развивающихся в хемостатах и турбидостатах различных типов с регулируемым притоком и оттоком питательных веществ¹. Недостаток этих систем — пространственная однородность различных физических и химических свойств среды. Преодолеть этот недостаток можно лишь созданием бассейнов больших емкостей

¹ Печуркин Н. Н. Популяционная микробиология. Новосибирск, 1978.

Изучение водного биоценоза в замкнутом бассейне дает возможность проследить взаимодействие между элементами экосистемы в условиях, близких к естественным, но без всяких внешних помех.

В Московском университете в специальном бассейне гидрофизической лаборатории физического факультета коллективом авторов (В. В. Алексеев, Ю. И. Горбатов, А. А. Георгиев, М. Я. Лямин, В. Н. Максимов, В. В. Сапожников) физического, биологического и геогра-



Вертикальные распределения температуры через три дня после включения люминесцентных ламп и при включенном кондиционере. Температура воздуха в камере ниже, чем в верхнем слое воды. За счет охлаждения в верхнем слое воды начинается конвективное перемешивание — возникает изотермический слой (показан серым цветом).

фического факультетов создана установка для исследования экосистем — экспериментальная экосистема, или Этэкос.

В формировании структуры водной экосистемы важную роль играют вертикальное распределение освещенности и температуры и интенсивность турбулентного обмена на разных глубинах — факторы, которые можно изменять только в бассейне достаточно больших размеров.

Рабочий бассейн Этэкоса представляет собой резервуар объемом $3 \times 4 \times 3 = 36 \text{ м}^3$. Сам бассейн и воздушная камера над ним изолированы от окружающей среды. Вода может подогреваться снизу и охлаждаться сверху, так что в системе могут быть созданы стабильные во време-

ни и однородные в пространстве условия. Однако этот режим, как правило, редко реализуется в природе. Гораздо интереснее иметь среду, в которой температура, освещенность и интенсивность турбулентного обмена изменяются с глубиной. Для этого освещенность и температура регулируются с помощью софита из 56 ламп дневного света по 40 вт каждая. Свет, падающий под углом к горизонтальной поверхности, создается лампами, спектр излучения которых можно регулировать в определенных пределах. Эти лампы могут перемещаться по окружности.

Кондиционер может поддерживать определенную температуру и влажность в воздушной камере и тем самым изменять интенсивность конвективного обмена в воде, который возникает при охлаждении ее сверху.

В систему можно добавлять питательные соли или, добавляя дистиллированную воду, уменьшать их концентрацию, что очень удобно для изучения изменений экосистем, возникающих, например, при эвтрофикации водоемов, т. е. при увеличении концентрации питательных солей в воде.

Важная составная часть установки — оригинальный комплекс измерительной аппаратуры.

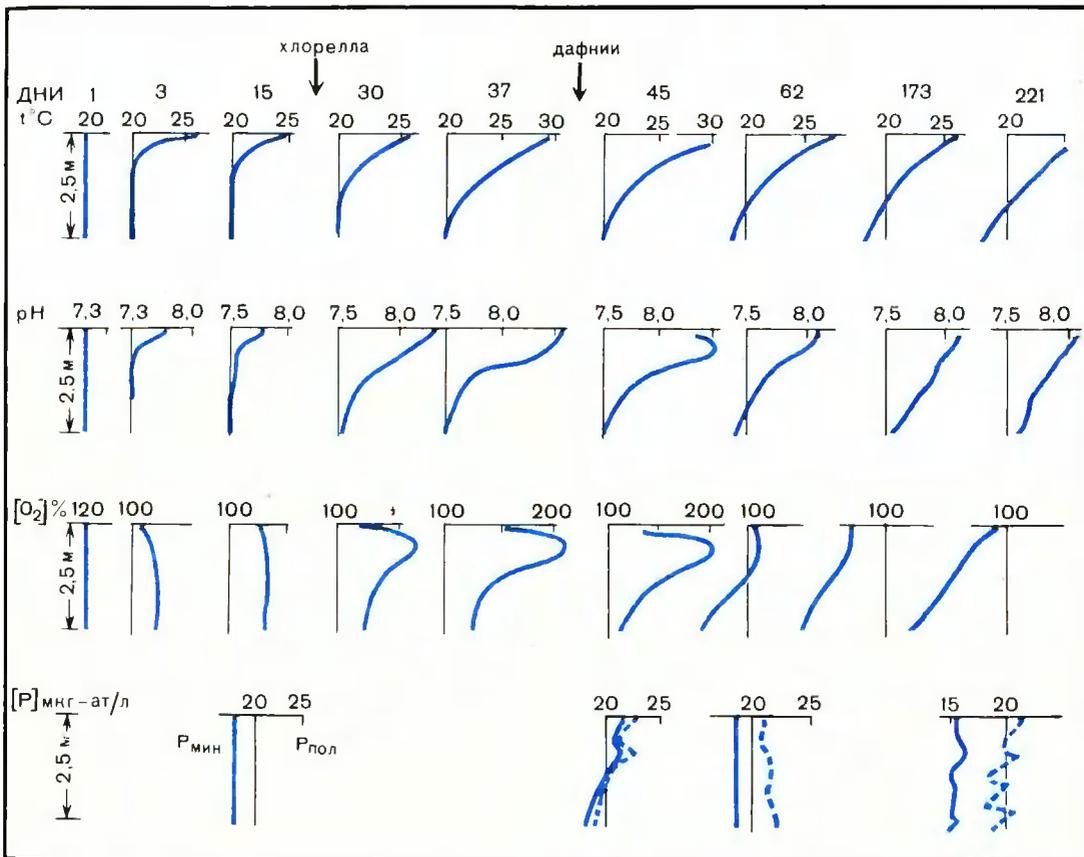
К первой группе относятся физические и химические параметры, измерения которых полностью автоматизированы: температура и освещенность на разных глубинах, значения pH и окислительно-восстановительного потенциала среды, концентрация растворенного кислорода. Результаты измерений фиксируются самописцами.

Вторую группу параметров составляют концентрации различных биогенных элементов. В принципе их измерения стандартны и могут быть автоматизированы. Однако на данном этапе химические анализы делаются вручную. С помощью пробоотборника — полиэтиленовой трубки диаметром 0,5 см — пробы отбираются с нужного горизонта и далее поступают в химическую лабораторию. Гидрохимические анализы включают определение органических и минеральных форм фосфора и азота, растворенной кремниевой кислоты, растворенных аминокислот и т. д.

Наконец, к третьей группе относятся преимущественно биологические параметры — концентрации различных видов фито- и зоопланктона. Определение этих параметров исключительно трудно автоматизировать. Например, определить

видовой состав фитопланктона можно только с помощью микроскопа. Однако определение величины первичной продукции или количества вновь образованного органического вещества удается автоматизировать. Для определения первичной продукции фотосинтеза *in situ* Г. Г. Шинкар и В. В. Саложников предложили специальный прибор — продукциометр, который представляет собой две стеклянные трубы (темную и светлую), через которые прокачивается вода. Зная концентрацию кислорода на входе в си-

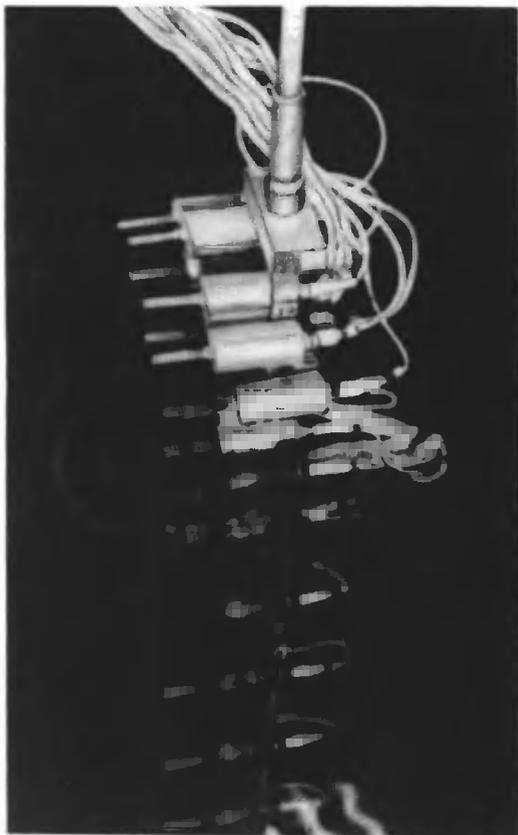
стему ($O_{вх}$) и концентрацию кислорода на выходе из темной ($O_{тем}$) и светлой трубы ($O_{св}$), можно легко рассчитать полную продукцию ($O_{св} - O_{тем}$), чистую продукцию ($O_{св} - O_{вх}$) и деструкцию ($O_{вх} - O_{тем}$). Использование этого прибора позволяет вести непрерывную запись продукции фотосинтезирующих водорослей и оценивать скорость процессов деструкции, или величину биохимического потребления кислорода в темной трубе. Измеряя на входе и выходе из продукциометра не только концентрацию кис-



Ход экологического эксперимента. Вертикальное распределение температуры, pH, концентрации растворенного кислорода [O₂], минерального [P_{мин}] и полного [P_{пол}] фосфора. В силу того что нитраты были в воде в избытке, их концентрация в течение эксперимента менялась слабо, и поэтому они на рисунке не показаны. В начальный момент времени все параметры были однородными. В первый день эксперимента в воду бассейна были добавлены биогенные элементы (нитрат — KNO₃ и фосфат — KH₂PO₄). Вследствие прогрева водоема в верхнем слое воды [50 см] сформировался так называемый термоклин, концентрация кислорода

уменьшилась в связи с уменьшением его растворимости при повышении температуры; pH возрос, так как уменьшилось содержание углекислого газа в воде.

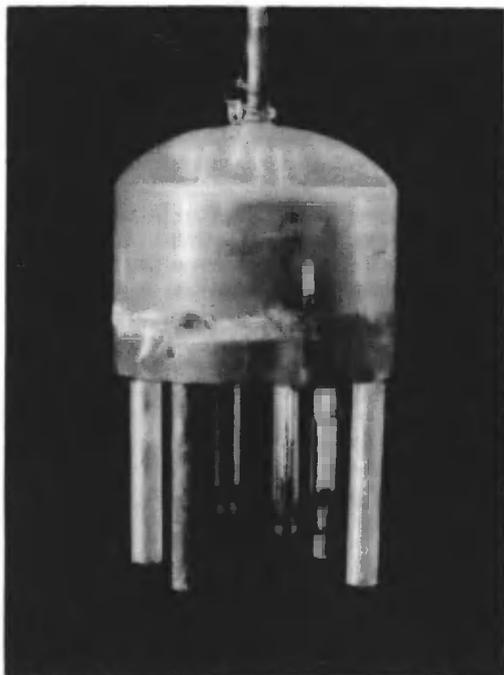
Через две недели в бассейн были запущены водоросли (хлорелла): началось интенсивное производство O₂ водорослями. Через полтора месяца в систему были добавлены дафнии, которые питаются хлореллой. Это привело к уменьшению производства кислорода, уменьшению максимума pH и к постепенной стабилизации системы.



лорода, но и фосфора, азота, а также рН воды и т. д., можно оценить влияние процессов фотосинтеза на утилизацию и регенерацию основных биогенных элементов.

Понятно, что $(O_{св} - O_{вх})$ и $(O_{вх} - O_{тем})$ будет определяться временем нахождения воды в трубах. Чтобы определить более точно мгновенное значение, необходимо это время (экспозицию) делать меньше. При больших же экспозициях мы получим средние значения продукции за большое время и не будем знать тонкой структуры колебаний продукции во времени.

Серьезной методической проблемой при изучении экосистемы является различная степень точности получаемых результатов и различная степень воздействия процесса измерения на систему. Датчики для измерения температуры могут быть сделаны настолько маленькими, что позволяют измерять градиенты температуры в слое воды толщиной меньше миллиметра (например, с их помощью можно обна-



Подвижный зонд для измерения температуры, рН, O_2 .

Мачта с термодатчиками для измерения температуры на разных глубинах.

ружить холодную пленку на поверхности, вызываемую испарением воды). Кислородные датчики, представляющие собой гальваническую ячейку из двух электродов (серебряного — катод и свинцового — анод), погруженных в раствор щелочи, не могут быть сделаны достаточно маленькими. Кроме того, кислород вблизи датчика быстро потребляется, и необходим постоянный его приток, поэтому датчики приходится устанавливать на подвижных мачтах. Таким образом, область возмущений, создаваемая кислородным датчиком, велика по сравнению с областью возмущений, создаваемой температурным датчиком. Хотя наш пробоотборник существенно лучше батометра, но и он вносит сильные возмущения, так как при отборе пробы засасывается 500—800 мл воды.

Описываемый нами экологический эксперимент продолжался около года. Лампы были включены в течение всего эксперимента. Это позволяло упростить интерпретацию полученных результатов,

так как снимался вопрос о суточных изменениях параметров.

В начале эксперимента все показатели были одинаковыми независимо от глубины. Вода была пересыщена кислородом, его концентрация достигала 120% от равновесного значения, что при температуре 20° составляло 11 мг/л. В воду были добавлены нитрат (KNO_3) и фосфат калия (KH_2PO_4). Прогрев лампами поверхностного слоя довольно быстро привел к образованию устойчивой стратификации по вертикали. Концентрация кислорода в верхнем слое уменьшилась в силу того, что растворимость молекулярного кислорода падает с повышением температуры.

Примерно через две недели в бассейн были помещены водоросли (хлорелла). Через неделю после запуска водоросли за счет интенсивного фотосинтеза на глубине 40 см наблюдалось максимальное содержание кислорода (до 222%). Максимум рН (8,4) был расположен несколько выше, на глубине 20 см. Очевидно, это является результатом двух процессов: обеднения верхнего слоя CO_2 за счет уменьшения его растворимости при повышении температуры и утилизации CO_2 в процессе фотосинтеза. В природе (например, в Можайском водохранилище) поверхностный слой до глубины 1—2 м обычно перемешан, и там максимумы кислорода и рН совпадают по глубине.

Через 1,5 месяца после начала эксперимента в бассейн были помещены дафнии, которые питаются хлореллой. Баланс между продукцией кислорода за счет фотосинтеза и потреблением его для дыхания дафний и окисления органического вещества был нарушен. Концентрация кислорода в верхнем слое стала резко падать, и через 20 дней пересыщения кислородом уже не наблюдалось. Концентрация кислорода в верхнем метровом слое была чуть ниже 100%, что свидетельствовало о доминирующей роли зоопланктона.

В последней фазе эксперимента сложилось такое продукционно-деструкционное равновесие, когда незначительное количество кислорода, выделяемое при фотосинтезе, тут же расходовалось на дыхание и окисление органических остатков, выпадающих из всех звеньев пищевой цепи (бактерии, фито- и зоопланктон). Отмечалось обеднение поверхностного слоя (0—60 см) всеми формами азота: резко уменьшилась концентрация нитратов, появились нитриты, кон-

центрация которых увеличивалась в зависимости от глубины.

Таким образом, процессы, происходившие в бассейне, хорошо имитировали аналогичные процессы в естественных водоемах. Исследования, проведенные в бассейне, показали большие возможности установки Этэкос: эксперимент можно повторить, условия можно контролировать, измерения можно проводить значительно детальнее, чем в природе. Развивая эти исследования, можно получить необходимые коэффициенты для составления математической модели водного биоценоза. Построение подобной модели позволит управлять гидрохимическим и гидробиологическим режимом водохранилищ, а следовательно контролировать и прогнозировать качество воды. Эта система может быть полезна для отработки и сравнения различного рода методик, предлагаемых для мониторинга окружающей среды. Знание деталей продукционно-деструкционного процесса необходимо при управлении синтезом органического вещества в фотосинтетическом слое с целью наиболее эффективного использования солнечной энергии. Ускорение оборота органического вещества в такой оптимизированной экосистеме (за счет сокращения числа трофических уровней) позволит значительно количеству органического углерода накапливаться в донных отложениях. Таким образом можно получить биохимический источник энергии, в котором соответствующие донные микроорганизмы будут разлагать органическое вещество на метан и CO_2 . В результате солнечная энергия преобразуется в удобное топливо — метан. Природа дает нам готовые примеры такого топливного элемента — это выделение метана из донных илов эвтрофных водохранилищ и застойных водоемов. Глубоководное озеро Киву в Центральной Африке уже используется как источник газа. Его воды содержат в растворенном виде 60 млрд м^3 метана.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Алексеев В. В. ЧЕЛОВЕК И БИОСФЕРА. М., 1973.

Терсков И. А. и др. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, ВКЛЮЧАЮЩИЕ ЧЕЛОВЕКА, т. 28, М., 1975.

Алексеев В. В. и др. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЭКОСИСТЕМА «ЭТЭКОС». — «Биологические науки», 1979, № 7.



Бассейн Колорадо становится областью внутреннего стока

Т. И. Кондратьева,
С. П. Горшков,
кандидат геолого-минералогических наук

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

Возрастающее хозяйственное освоение суши невозможно без увеличения потребления воды. Однако во многих районах с засушливым климатом воды давно уже не хватает, и проблемы водоснабжения решаются путем создания водохранилищ. Часть воды, забираемой из водохранилищ и используемой в сельском хозяйстве, промышленности и для бытовых целей, исключается из речного стока, так как мигрирует впоследствии либо с атмосферными массами, либо с подземными водами, не связанными с данной рекой. Уменьшается речной сток и благодаря дополнительному испарению с поверхности водохранилищ, и в результате межбассейновых перебросок части стока рек.

Строительство водохранилищ на таких реках, как Нил, Волга, Дон и других, привело к сокращению их водного стока. Но особенно показательным в этом отношении является пример р. Колорадо. В настоящее время она почти целиком утратила связь с океаном, и ее бассейн стал, по существу, первой крупной областью внутреннего стока, благодаря почти полному использованию водных ресурсов.

На последних географических картах Северной Америки приустьевой отрезок р. Колорадо — одной из крупнейших на этом континенте, показан пунктиром¹, что оз-

начает отсутствие постоянного водотока в ее русле. Этот парадоксальный факт подтверждает и космический снимок северной части Калифорнийского залива. На нем видно, что устье реки представляет собой небольшой червеобразный залив моря, от которого в глубь суши отходит лишь сухое русло прежней реки. Правда, и сейчас при сильных ливнях в приустьевом отрезке реки появляется вода, и в Калифорнийский залив таким образом поступает до 0,06 км³ воды в год, т. е. 0,3% ее бывшего стока.

Куда же пропал мощный постоянный водоток р. Колорадо, ежегодно поставлявший в Калифорнийский залив, по свидетельству справочников всего 15-летней давности, около 20 км³ воды и 135 млн т наносов? Анализ литературных данных последних лет, в том числе американских справочников по качеству поверхностных вод, проведенный на кафедре физической географии зарубежных стран географического факультета², показывает, что 99,7% водного стока реки расходуется в настоящее время на нужды водоснабжения юго-запада США и крайнего северо-запада Мексики. При этом бассейн Колорадо стал местом аккумуляции минеральных веществ, которые ранее выносились в океан в обломочной и растворенной формах. Вот почему бассейн Колорадо (его площадь — 637 тыс. км², что составляет 1/12 часть территории США) можно рассматривать как крупную область внутреннего стока антропогенного происхождения.

Плато Колорадо, в пределах которого река получает

почти все свое питание, располагается в центральной части Скалистых гор Северной Америки на высоте 2—3 тыс. м. Высота отдельных хребтов и горных массивов внутри плато и по его краям превышает 3 тыс. м, а изредка и 4 тыс. м. Примерно на 35% площади плато выпадает сравнительно большое количество атмосферных осадков — до 1250 мм в поясе альпийских лугов и до 1000 мм в верхней части лесного пояса. На большей же его части, покрытой травянисто-кустарниковой растительностью, в интервалах высот 2—1,5 км выпадает всего 150—250 мм осадков в год. В южной части бассейна Колорадо расположены субтропические и тропические пустыни, общая площадь которых составляет 24% площади бассейна Колорадо. Таким образом, почти всю вторую половину своего пути р. Колорадо, имеющая длину 2740 км, течет через пустыни. После впадения в нее крупного притока Сан-Хуан вплоть до устья Колорадо не имеет ни одного притока, который мог бы существенно увеличить ее водность. В то же время, глубокая (более 1 км) речная долина с крутыми бортами, местами каньонообразная, тянущаяся почти на 1000 км ниже устья р. Сан-Хуан, послужила идеальным местом для создания двух крупных водохранилищ. У нижнего края знаменитого Большого Каньона в 1936 г. была построена плотина им. Гувера и создано водохранилище Мид, а в 1963 г. в Глен-Каньоне — плотина с таким же названием и водохранилище Пауэлл. Создание водохранилища Пауэлл в основном завершило начатое еще в 1911 г. регулирование стока рек бассейна Колорадо и позволило использовать его водные ресурсы в масштабах, приближающихся к максимальным.

² Geological survey. Water — supply paper № 970, 1945; № 2015, 1972; № 2098, 1973; № 2148, 1974; № 2158, 1976.

¹ The National Atlas of the United States of America. Washington, 1970.

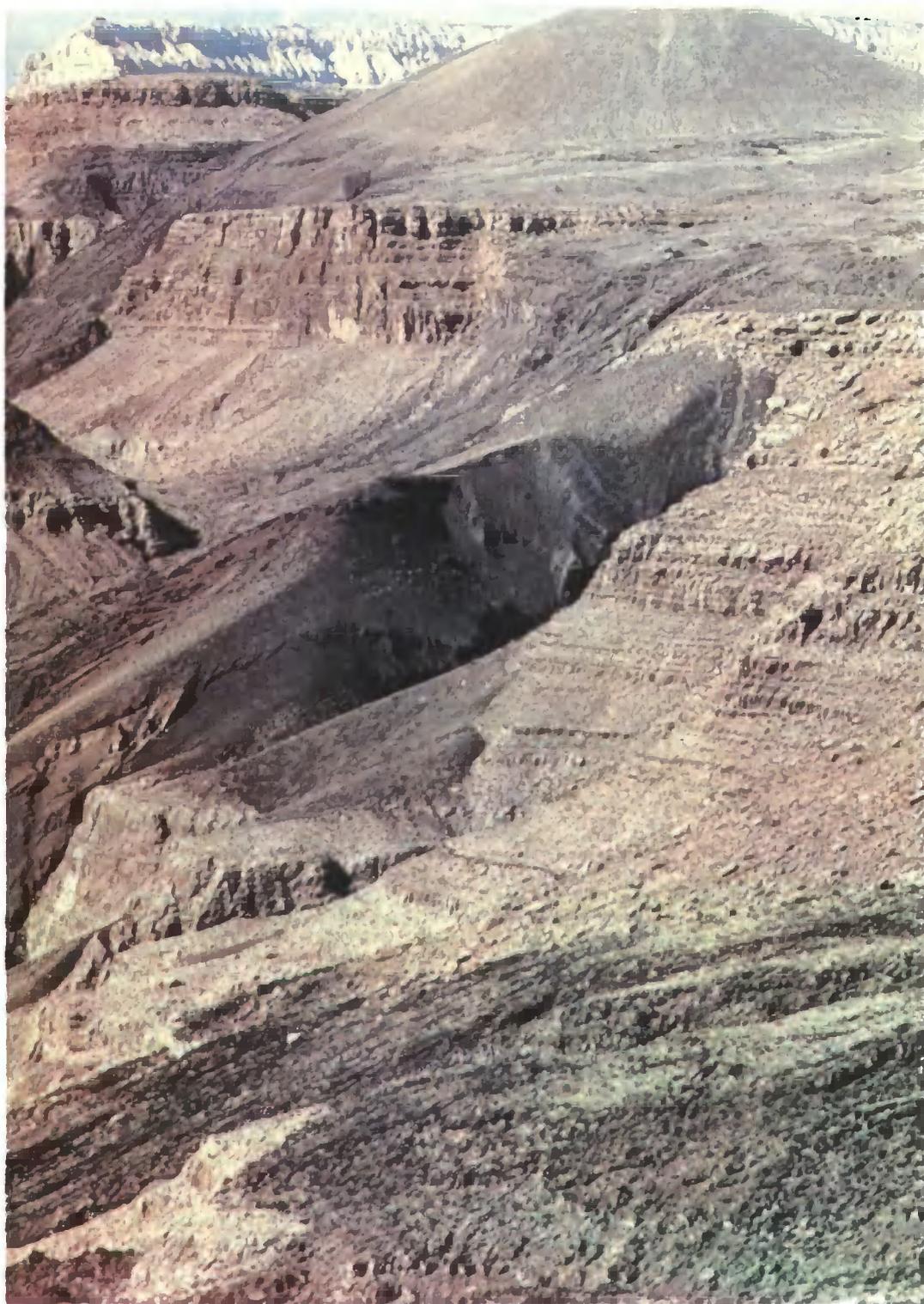
Крупнейшие плотины и водохранилища в бассейне Колорадо. Цифры на карте соответствуют цифрам в таблице. XIV, XV, XVI — плотины, построенные на территории Мексики.

В настоящее время распределение колорадской воды регламентируется соглашениями между штатами, а также между США и Мексикой. Штаты Юта, Колорадо, Вайоминг и Нью-Мексико, относимые к так называемому Верхнему Бассейну р. Колорадо, получают ежегодно $7,7 \text{ км}^3$ воды, причем $0,6 \text{ км}^3$ из этого количества отводится по системам переброски вод в соседние бассейны рек Платт, Арканзас, Рио-Гранде, Севир. В Нижнем Бассейне (штаты Аризона, Невада и Калифорния) используется $9,3 \text{ км}^3$ воды, из которых $5,45 \text{ км}^3$ забирается безвозвратно на нужды сельского хозяйства бассейна оз. Солтон-Си и промышленного и коммунально-бытового водоснабжения городов тихоокеанского побережья Южной Калифорнии. Оставшийся речной сток, как правило не превышающий определенной договором величины — $1,85 \text{ км}^3$ воды в год, поступает из США в Мексику.

Главным экономическим стимулом для столь радикального преобразования бассейна Колорадо служила высокая продуктивность крупных массивов орошаемых земель при гарантированном регулярном увлажнении, а также освоение новых земель. В настоящее время в бассейне орошается свыше $11,6 \text{ тыс. км}^2$, т. е. около 1,8% его территории. Наличие плотин позволило повысить выработку электроэнергии на юго-западе США. В начале 20-х годов в бассейне Колорадо действовало 36 мелких электростанций, общей мощностью 37 тыс. квт. Сегодня мощность только четырех крупнейших станций Гувер, Паркер, Дэвис и Глен-Каньон превышает 2,5 млн квт. Благодаря созданию водохранилищ возросло водопотребление населенных пунктов, появились новые места для отдыха на воде.



Название плотины	Река	Дата завершения строительства	Название водохранилища	Объем водохранилища, км ³
I. Фонтенелл	Грин-Ривер	1964	Фонтенелл	0,43
II. Флеминг-Горж	Грин-Ривер	1962	Флеминг-Горж	4,7
III. Блю-Меса	Ганнисон	1965	Блю-Меса	1,0
IV. Морроу-Пойнт	Ганнисон	1968	Морроу-Пойнт	0,15
V. Навахо	Сан-Хуан	1962	Навахо	2,1
VI. Глен-Каньон	Колорадо	1963	Пауэлл	33,3
VII. им. Гувера	Колорадо	1936	Мид	36,8
VIII. им. Дэвиса	Колорадо	1949	Мохаве	2,2
IX. им. Паркера	Колорадо	1938	Хавасу	0,76
X. Империял	Колорадо	1936	Империял	0,10
XI. Лагуна	Колорадо	1965	Лагуна	0,005
XII. им. Рузвельта	Солт-Ривер	1911	Рузвельт	1,7
XIII. Кулидж	Хила	1928	Сан-Карлос	1,5





Космический снимок устья Колорадо, свидетельствующий об отсутствии постоянного водотока в русле реки.

Фото НАСА.



Большой Каньон р. Колорадо в районе национального парка Гранд-Каньон.

Однако наряду с очевидными экономическими выгодами водохозяйственной системы р. Колорадо сразу обнаружилось и негативные явления. Главным из них стало изменение качества колорадской воды. Несмотря на то, что водохранилища Пауэлл и Мид перехватывают почти весь твердый сток р. Колорадо, ни-

же каждого из них осветленные речные воды интенсивно размывают русло и вновь становятся мутными. Так, сразу после постройки плотины им. Гувера на отрезке в 148 км ниже по течению в результате донной эрозии за 16 лет было вымыто 190 млн т руслового аллювия. Хотя в целом содержание взвесей в



Река Колорадо в нижней части Большого Каньона.

колорадской воде в низовьях реки снизилось на один-два порядка, резко возросшее использование ее для орошения сделало необходимым и, более того, рентабельным создание при водоотводных сооружениях специальных очистных устройств. Наиболее крупное из них — отстойник Лагуна емкостью в 1,97 млн м³, из которого удаляется в среднем 0,6—0,7 млн т наносов в год.

При этом ежегодный твердый сток р. Колорадо непосредственно выше отстойника у плотины Имперал был в период с 1958 по 1972 гг. все время несколько ниже 1 млн т; в 1972 г. он равнялся 0,7 млн т. Таким образом, в отстойнике Лагуна заканчивает свой путь основная масса наносов, которые содержатся в водах р. Колорадо в ее низовьях. Тем не менее борьба с наносами, отложение которых в оросительных каналах, на полях и на листьях культивируемых растений особенно велико, продолжается и в Мексике. По свидетельству мексиканского ученого К. Анайи, водоотводный канал от плотины Морелос окружен в настоящее время

насыпями из речных наносов. Заиление каналов здесь огромно вследствие активизации ветровой эрозии рыхлых песчаных почв, наземный растительный покров которых оказался нарушенным ирригационным строительством.

Из-за резкого сокращения поступления твердого вещества гигантская аккумулятивная деятельность реки в ее дельте, о которой свидетельствовали многочисленные литературные и даже картографические источники, почти полностью прекратилась.

В географическом атласе «Новая Испания» Ал. Гумбольдта, вышедшем в свет в 1811 г., очертания берегов Большого Калифорнийского

залива, бывшего моря Кортеса, далеки от современных. Северная часть залива вытянута на север вплоть до устья нижнего левого притока Колорадо р. Хилы, а известное озеро Солтон-Си, лежащее в котловине на высоте 72 м. ниже ур. м., не изображено вовсе. Этот исторический факт интересен тем, что заполнение северного участка залива наносами реки произошло в сравнительно короткий период времени, совпадающий с периодом интенсивного заселения бассейна р. Колорадо и освоения его земельных ресурсов. Только после введения в 1941 г. ограничений на выпас скота и проведение противозерозионных мероприятий на сельскохозяйственных землях, а также благодаря аккумуляции наносов в водохранилище Мид, твердый сток реки снизился вдвое. Дальнейшее сокращение его происходило в последние десятилетия.

Если проблема наносов в настоящее время решается более или менее удовлетворительно, то другая задача — борьба с увеличившейся минерализацией вод — лишь недавно приобрела особую актуальность. Достаточно сказать, что за 50 лет концентрация растворимых солей в нижнем течении реки возросла вдвое. Такое нежелательное для водопотребителей ухудшение качества воды последовало за полным зарегулированием стока р. Колорадо и интенсификацией использования земель в ее бассейне. Основным фактором ухудшения физико-химических свойств колорадской воды оказалось поступление в реку возвратного стока с орошаемых угодий, содержащего большие количества солей. Огромную роль сыграло и уменьшение объема речного стока за счет отвода почти 0,6 км³ пресной воды из верхнего течения в соседние речные бассейны. Возросшее испарение с обширной поверхности водохранилищ также отразилось на увеличении концентрации солей в водах Колорадо. Особенно существенным было ухудшение качества воды в нижнем течении реки,

ниже головных водозаборных сооружений каналов Хила и Пан-Американского, отводящих воду в Южную Аризону и Калифорнию, где благодаря небольшим расходам воды ее количества явно недостаточно для разбавления поступающих в реку сельскохозяйственных стоков.

В период, предшествовавший достижению договоренности между США и Мексикой относительно качества колорадской воды на границе и прекращения сброса в реку дренажного стока крупного орошаемого массива ниже плотины Империл Велтон-Могаук, концентрации растворимых веществ достигали у границы с Мексикой 1500 мг/л (1962 г.). Согласно новым условиям договора, 98% поступающей в Мексику воды должны обладать гораздо меньшей минерализацией. В результате предпринятых эффективных действий минерализация воды в последние годы понизилась до 1200 мг/л.

В настоящее время разработана комплексная программа регулирования солёности вод Колорадо, которая предусматривает контроль не только за поступлением солей из источников антропогенного происхождения, но и за ее естественным питанием солеными водами ряда крупнейших минеральных источников в бассейне реки. Суть программы заключается в изоляции высокоминерализованного стока, очистке его на опреснительных установках, выпаривании рассолов в испарительных прудах, увеличении эффективности водопотребления в сельском хозяйстве.

Чтобы вернуть бассейну реки хотя бы часть используемого безвозвратно речного стока, в США возобновили (и считают перспективными) эксперименты по увеличению снежных запасов в горах в верховьях реки путем засева облаков иодистым серебром в зимнее время года³. Предпринимаю-

щиеся попытки преодоления отрицательных последствий вмешательства человека в ход естественных процессов представляют собой новую стадию все более углубленного преобразования качественного состояния крупных природных систем. Свойственные бассейну Колорадо типичные для всего Запада США другие проблемы, такие как быстрый рост городов, необходимость разработки имеющихся месторождений меди, угля, горючих сланцев, перспективы развития химии и энергетики, в условиях ограниченности земельных и водных ресурсов усиливают опасность резкого ухудшения качества окружающей среды.

Экологические проблемы, связанные с изменением качества воды зарегулированной р. Колорадо, по-видимому, могут возникнуть и в бассейнах других рек при интенсивном ведении в них орошаемого земледелия. Поэтому описанные выше явления интересны с практической точки зрения широким кругам мелиораторов и ученых.

В то же время примечателен сам факт образования первого на суше крупного антропогенного бассейна внутреннего стока. В настоящее время в связи с хозяйственным использованием речной сток в океан постепенно сокращается. Однако, если водный бюджет океана оказывается даже положительным за счет прогрессирующего истощения ресурсов подземных вод, осушения болот, таяния ледников, обмеления озер и др. и ежегодно его уровень повышается приблизительно на 1 мм, то поступление в него веществ, приносимых речными водами, в ряде районов сильно снизилось. Уменьшение выноса реками взвешенных наносов и растворимых веществ, и в частности биогенных веществ, сопряжено с отрицательными последствиями для биологических ресурсов дельт и океана. Поэтому дальнейшее уменьшение минерального речного стока в океан, связанное с увеличением использования человеком водных ресурсов, ставит новую большую экологическую проблему.

³ Colorado River Water Quality Improvement program. Status Report. Washington, 1974.

Был ли на Дальнем Востоке бронзовый век?

В. И. Дьяков

Древнейшая история человечества, как известно, насчитывает несколько крупнейших эпох, главным признаком которых является материал для изготовления орудий: каменный, бронзовый и железный века. Об этом еще в I в. до н. э. писал римский поэт и философ Тит Лукреций Кар:

«Прежде служили орудием руки
могучие, ногти,
Зубы, камня, обломки ветвей от
деревьев и пламя,
.....
После того была найдена медь и по-
рода железа.
Все-таки в употребленье вошла
прежде медь, чем железо,
Так как была она мягче, причем изо-
бильней гораздо.
Медным орудием почва пахалась и
медь приводила
Битву в смятение, тяжкие раны везде
рассеивая.»¹

Если сравнить бронзовый век с первой ступенькой лестницы, поднимаясь по которой человечество узнает мир металлов с их удивительными свойствами и огромными возможностями, то могло ли случиться так, что такой крупный регион, как Дальний Восток, перешагнул эту ступень?

В конце XIX в., когда Дальний Восток казался далекой окраиной, а о его древней культуре ходили самые противоречивые слухи, врачу А. В. Елисееву первому пришла мысль о такой непоследовательности в первобытной истории этого района. Елисеев попал на Дальний Восток в 1889 г. с группой переселенцев. Он был неплохо знаком с европейской археологией и обратил внимание на то, что среди приморских древностей (в то время здесь уже были проведены первые археологические исследования) практически не

встречается классических изделий из бронзы, знакомых ему по экспозициям музеев и литературе. Отсюда и последовало предположение: «Вероятно, что собственно в Уссурийском крае бронзовый век и отсутствовал, так как страна еще в период собственно каменного века была занята народом высшей культуры»². Елисеев решил эту проблему в духе обычных представлений о Дальнем Востоке, как об отсталой окраине, где традиции каменного века сохранились чуть ли не до прихода русских.

Спустя 20 лет, независимо от Елисеева, к этой же мысли пришел известный путешественник и писатель В. К. Арсеньев, много сделавший для развития дальневосточной археологии. Арсеньев систематизировал сведения о древнейшей истории края в специальном докладе и, отметив наличие памятников каменного века, констатировал: «Интересно, что бронзовый век у нас отсутствует совершенно; вслед за каменными орудиями сразу на сцену появляется железо. Об этом красноречиво свидетельствуют раскопки. Быть может, между каменным веком и железным в Уссурийском крае был период запустения»³.

Что же было на самом деле? Кто прав — Елисеев, предполагавший, что появление в крае «народа высшей культуры» прервало застойные традиции каменного века, позволив миновать эпоху бронзы и сразу подняться на следующую ступеньку культурно-хронологической лестницы, или Арсеньев, говоривший о «периоде за-

² Елисеев А. В. Отчет о поездке на Дальний Восток. — «Известия ИРГО», 1890, т. XXVI, вып. 5, с. 361—364.

³ Арсеньев В. К. Материалы по изучению древнейшей истории Уссурийского края. Записки Приамурского отдела Императорского общества востоковедения. Хабаровск, 1912, вып. 1, с. 32.

¹ Тит Лукреций Кар. О природе вещей. М., 1904, с. 184.



Каменные шлифованные ножи из поселения Лидовка в Приморье.

Каменные наконечники копий из поселения Лидовка.

пустыня», т. е. перерыве исторического развития на Дальнем Востоке в определенное время?

В начале 1950-х годов начались систематические археологические исследования на Дальнем Востоке под руководством А. П. Окладникова¹. Он и открыл ряд

¹ Окладников А. П., Бродянский Д. Л. Дальневосточный очаг древнего земледелия. — «Советская этнография», 1969, № 2, с. 6—7.



С таких ядрищ мастер скалывал каменные пластинки — заготовки орудий.

Вкладное лезвие и наконечники кремневых стрел из поселения Лидовка.

памятников, благодаря которым удалось проследить последовательные переходы от одной эпохи к другой: от камня к металлу и далее — к образованию первых племенных союзов и государств. Выяснилось, что на Дальнем Востоке бронзовый век оказался... без бронзы. Несмотря на самые тщательные поиски, за все время удалось найти всего лишь около двух десятков орудий, большей частью сохранившихся в обломках. Для такой огромной территории, как Приморье и Приамурье

(сюда можно также добавить Сахалин и Охотское побережье), это настолько мало, что всерьез говорить о существовании местных бронзовых изделий не приходится. К тому же среди этих вещей нет ни одной, о которой можно было бы с уверенностью сказать, что она изготовлена именно здесь, а не за тысячи километров отсюда: ведь каждый предмет уникален (лишь в одном случае, при раскопках у с. Синий Гай, Д. Л. Бродянского удалось обнаружить несколько серийных изделий), своеобразие в типах вещей отсутствует. Наоборот, все они идентичны хорошо известным предметам, распространенным в период поздней бронзы в Сибири. Это вогнутообушковые «хвостатые» ножи, полусаровидные бляшки-пуговицы, лапчатая подвеска и т. д. Можно было бы возразить, что дальневосточные племена заимствовали идею плавки меди у далеких соседей и поэтому на первых порах освоения новой технологии невольно должны были слепо повторять изделия своих «учителей» (такие случаи действительно имеют место). Отказаться от этого предположения пришлось почти сразу: вещи говорили сами за себя — четко отработанные индивидуальны приемы и мельчайшие особенности, зафиксированные в изделиях, характерны для районов с традиционной бронзовой металлургией. А каких-либо убедительных признаков их дальневосточного производства нет: ни исходных материалов (руды, слитков или лома), ни литейных форм, ни приспособлений для плавки и разлива металла, ни отходов производства (в том числе случайно пролитых капель) — ничего этого в слоях соответствующих поселений не обнаружено. Несколько лет назад в Приморье было сделано почти сенсационное открытие — найдено четыре обломка литейных форм, в которых можно было отливать наконечники копий, но эти формы были обнаружены на полу литейной мастерской, существовавшей во второй половине I тыс. н. э., т. е. почти на полторы тысячи лет позже эпохи бронзы. Естественно, нельзя с полной уверенностью использовать это открытие для доказательства существования в этих местах собственного бронзолитейного производства в эпоху раннего металла.

Отсутствие местной бронзовой металлургии и единичные находки металлических изделий на неолитических по облику памятниках, казалось бы, требуют однозначного решения вопроса, примерно такого, как у Арсеньева: «...бронзового века нет». Но зато есть поселения, ко-

торые, с одной стороны, по времени синхронны культурам, существовавшим в эпоху бронзы, с другой — у их обитателей были бронзовые вещи и, следовательно, они вольно или невольно втягивались в сферу широких межкультурных связей того времени. На Амуре этот процесс происходил несколько иначе, чем в Приморье: в район Амура переселилась часть населения из сибирской тайги, знающего бронзу, в Приморье же прослеживаются степные, возможно, южносибирские аналоги металлических изделий, а миграции населения, видимо, не было.

В Приморье в самом конце II и начале I тыс. до н. э. было две группы поселений, или две археологических культуры, условно названных синегайской и лидовской. Первая занимает плодородную степную равнину вблизи оз. Ханка, вторая — восточные склоны хребта Сихотэ-Алинь и прибрежную полосу — от современного г. Находки до Советской Гавани и, видимо, до устья Амура.

Синегайцы для своих поселений выбирали труднодоступные холмы и рыли на их склонах овальные ямы, служившие основаниями полужемлянок. Суровые зимы с пронзительными ветрами вынуждали их внутри закопанных в землю жилищ складывать из крупных каменных плит печные очаги. Они почти забыли искусство изготовления разнообразных кремневых изделий, заменив твердый кремень мягким, легко поддающимся шлифовке сланцем. Отличные гончары, синегайцы изготавливали огромные корчаги и миниатюрные чашипалы; лепили широкие горшки, напоминающие русский чугунок, и высокие сосуды в виде кринок. Украшать свою посуду они не слишком стремились, отдавая предпочтение небольшим, едва заметным шишечкам, расположенным на расширенной части кринок или вблизи верхнего края чаш. Некоторые сосуды, орнаментированные поясами из свисающих треугольников, чем-то неуловимо напоминают горшки карасукской культуры из Южной Сибири.

Синегайцы занимались скотоводством и земледелием. Возможно также, что «каменные лемехи» — так предположительно называются изделия, найденные на некоторых поселениях — соответствуют своему назначению и свидетельствуют, следовательно, о пашенном земледелии. Значение этого вывода трудно переоценить, если учесть, что речь идет о конце II — начале I тыс. до н. э.

К востоку от синегайской культуры в это время образуется группа поселений,

где жили люди иной культурной традиции и, видимо, этнически чуждые синегайцам. По р. Лидовке на северо-востоке Приморья, где было найдено одно из наиболее крупных поселений, всю эту культуру называют лидовской. Лидовцы, как правило, селились в долинах небольших рек на невысоких террасах. Они возводили наземные жилища. На относительно ровных площадках пола располагались несколько очажных ям, заполненных ярко-оранжевой золой и углем. Очаг нередко был выслан берестой, засыпанной сверху слоем песка. Песок и береста служили своеобразным отражателем, ограничивая распространение тепла в глубь земли и направляя его внутрь жилища. Кроме очагов на поселениях сохранились основания столбовых ям и углублений хозяйственного назначения. В процессе раскопок пришлось столкнуться с совершенно неожиданным явлением: там, где предполагались стены жилых построек, были найдены ряды очень плотных невысоких глиняных столбиков. Точно такие же столбики оказались и вблизи очагов. Возможно, столбики входили в интерьер жилища и служили основаниями для нарлежанок. Но уникальность подобного явления пока не позволяет окончательно решить этот вопрос. Кто поставил глиняные столбики — человек или природа? Сейчас ясно одно, что ответ на поставленный вопрос будет одинаково важен как археологам, так и специалистам по криогенным процессам⁵.

Исследование других поселений лидовцев дополнило представление о конструктивной особенности жилищ. На оз. Благодатном, например, наклонная поверхность террасы потребовала от людей той поры специальной подготовки. Со стороны склона часть грунта была выбрана, благодаря чему образовались площадки, ограниченные с одной стороны невысоким (10—20 см) уступом. Несколько ниже по склону был сделан еще один уступ такой же высоты. В результате каждое из трех жилищ оказалось размещенным на двух невысоких искусственных террасах. Это нововведение, вызванное условиями местности, позволило и в данном случае обойтись без котлованов.

Явно отличаются от синегайской культуры и остальные находки, прежде

всего — относительно богатые изделия из кремня: вкладные лезвия, оснащающие костяную оправу копыя или кинжала, наконечники стрел, скребки, резцы, ножи, т. е. набор, вполне типичный как для неолитического памятника, так и для поселений эпохи ранних металлов. Наряду с кремнем, лидовцы широко применяли шлифованные орудия из сланца. Для оперативной подправки и заточки сланцевых инструментов служили небольшие, стандартизованные точильца из песчаника.

Характерной для лидовской культуры оказалась и третья группа каменных орудий. Они изготовлены из целых и расколотых пополам галек, у которых сильными ударами затесан рабочий край. Такие инструменты являются своеобразным хронологическим указателем, так как они получают широкое распространение в эпоху металла.

Но, конечно, лучше всего различие двух культур прослеживается по изделиям из обожженной глины. Керамика лидовцев — это, в первую очередь, амфоровидные сосуды с прямой горловиной и выпуклым туловом; реже встречаются горшки, имеющие невысокое изогнутое горло и слабо расширенное тулово, и совсем мало обломков широких чаш. Часть амфоровидных сосудов имеет особенно привлекательный вид благодаря яркой малиновой окраске поверхности.

В орнаментике никогда не встречается геометрических фигур или шишечек, подобных синегайским. Концентрические линии, вдавления, насечки и наlepной валик — вот те элементы, с помощью которых декорировался сосуд. А композиционно орнамент сосредоточен либо у верхнего края сосуда, либо там, где шейка переходит в выпуклое тулово.

Основой хозяйства лидовцев было земледелие, базирующееся на мотыжной обработке почвы и возделывании проса. Меньшее значение имели охота и речное рыболовство. Несмотря на близость моря, лидовцы так и не научились пользоваться его дарами. Сбор морских продуктов если и имел место, то в очень ограниченных количествах.

Что же является наиболее характерной чертой этих культур, позволяющей соотносить их именно с эпохой бронзы, а не с концом каменного века? Конечно же, не сами бронзовые изделия. На более чем двадцати поселениях лидовской культуры найдено лишь одно изделие из меди, а в синегайской культуре бронзовые предметы найдены лишь на одном памятнике.

⁵ Следует отметить, что никаких явных криогенных нарушений (в виде разломов, трещин, мерзлотных клиньев и т. п.) на вскрытой площади (около 250 кв. м) не обнаружено.



Площадка центрального жилища на поселении Благодатное — III.

Лидовское поселение. Там, где сейчас видны глиняные «столбики», стояли наземные постройки.

Ответ на эти вопросы подсказали находки. Уже в неолите для изготовления орудий труда на территории Приморья широко стал применяться относительно мягкий, хорошо поддающийся шлифовке сланец. Приморье очень богато этим материалом. Выходы сланца в виде целых пластов или отдельных валунов повсеместны. Именно эта порода оказалась своеобразным эквивалентом бронзы.

В то время в Сибири сложился мощный металлургический центр и отдельные металлические предметы проникли далеко на восток. Внешний вид этих вещей копировался. Этим, очевидно, и можно объяснить, что у берегов Тихого океана вдруг появились каменные ножи, кинжалы, наконечники копий и стрел, в точности повторяющие изделия из металла. У наконечника копья, например, стремились сохранить не только пропорции и форму, но и вышлифовывали так называемое ребро жесткости, проходящее вдоль боевой части наконечника и совершенно бессмысленное на каменных орудиях с функциональной точки зрения. Стремление передать в камне втулку способствовало лишь утолщению черешка и скорее мешало, чем помогало при креплении его к древку. Особенно уникальна каменная бляшка-пуговица, обнаруженная А. П. Окладниковым на поселении в пади Харинской у оз. Ханка. Мастеру потребовалось вложить немало труда и времени, чтобы вырезать каменным резцом из довольно плотной беловато-серой породы односторонне выпуклое, круглое по форме изделие, по внешнему краю которого расположена «зернь», заключенная в резной ободок.

Размер каждой такой шишечки менее 1 мм². Еще более удивительно, что противоположную сторону мастер сделал вогнутой, а в центре выточил миниатюрную петельку с очень тонким сквозным отверстием.

Сланец — благодатный материал и по цветовой гамме. Можно найти образцы от насыщенно черного цвета до светло-бежевого. Изготавливая каменную копию, мастера стремились сохранить даже цвет оригинала. Некоторые каменные наконечники или кинжалы, на первый взгляд, трудно отличить от зеленовато-белесого бронзового изделия, как бы покрытого патиной.

Такие каменные образцы и являются наиболее четким индикатором эпохи бронзы в Приморье. Прослеживая изменения в каменных копиях, мы, как в теневом театре, можем наблюдать за процессом развития бронзовой металлургии в Сибири и степях. Правда, с некоторым опозданием — и это необходимо учитывать. Так, со временем в Приморье на смену кинжалам, почти не имеющим наверший, приходят каменные изделия с тщательно моделированными верхними концами рукоятей, имеющие аналогии в культурах скифского и тагарского времени. В то время, когда появляются кинжалы с Т-образными и другими сложными навершиями, на Дальнем Востоке (в Приамурье и Приморье) неожиданно рано появляется новый металл — железо. В классических центрах бронзовой металлургии железо, как правило, в это время встречается редко и в очень ограниченных количествах. Основные потребности в металле по-прежнему удовлетворялись бронзой. На Дальнем Востоке



развитие в этот момент пошло быстрее, чем на сопредельных территориях, что имеет вполне логичное объяснение.

Производительные силы в эпоху бронзы резко возросли. Длительная оседлость в сочетании с земледелием (возделыванием проса) и знакомство, хотя и косвенное, с металлом, наличие огромных, легко доступных (поверхностных) месторождений железа, явились необходимыми предпосылками наступления новой эпохи. Подобные условия были и в других местах, но это не приводило там к аналогичным результатам. Главной причиной такого скачка оказалось отсутствие на Дальнем Востоке местной бронзовой металлургии. В Сибири же возрастающие потребности в металле лишь способствовали дальнейшему совершенствованию бронзолитейного дела, пока не наступил кризис — ограниченные возможности бронзы тормозили развитие производительных сил. На Дальнем Востоке такой кризис наступил раньше и лишь потому, что менять потребовалось не металл на металл (бронзу на железо), а камень на металл (железо). Сыграли свою роль в раннем распространении железа на Дальнем Востоке и все прочие объективные факторы (наличие рудной базы и т. д.).

Итак, перерыва — «периода заупустения» — между каменным и железным веками на Дальнем Востоке не было. Ясно и другое — бронзовый век в полном смысле, как позволяют судить об этом существующие факты, также не получил развития. Тем не менее время, когда появились поселения с отдельными бронзовы-

ми вещами и, главным образом, с каменными моделями этих изделий, уже нельзя отнести к неолиту. Это новый этап, но он в силу невыясненных пока условий не завершился созданием местной металлургии. Поэтому и предлагается называть его не бронзовым веком, а э п о х о й б р о н з ы. С одной стороны, это новое понятие отражает качественную сторону, с другой — подчеркивает местные особенности исторического развития. Ведь нетрудно заметить, что рассматриваемый регион окружен областями с развитой бронзовой металлургией: Китай в эпоху Инь и Чжоу, Забайкалье конца II — начала I тыс. до н. э., а также Корея, где может быть выделено несколько очагов металлообработки. Прямых влияний со стороны этих районов мы не видим. На Дальнем Востоке постепенно нарастают признаки, свидетельствующие о наступлении эпохи металла.

Так как этот процесс обеспечивался главным образом из внутренних источников (основанных на естественном росте потребностей людей, адаптированных к местным условиям), то качественных изменений наступление эпохи бронзы на Дальнем Востоке не вызвало.

Изучение этого периода находится в начальной стадии — собраны и интерпретируются еще сравнительно немногочисленные факты. Поэтому особенно важно не стиснуть их осмысление привычными представлениями, стоящими за традиционным определением «бронзовый век», а напротив, в рамках единого исторического процесса увидеть и региональную специфику.



Насекомые — индикаторы загрязнения природной среды

Многие специалисты для контроля за состоянием природной среды предлагают использовать различных насекомых.

А. В. Жулидов и В. М. Емец (Воронежский заповедник) провели на его территории специальные исследования, позволившие установить, что свинец, выбрасываемый с автомобильными выхлопными газами, накапливается в теле жуков, обитающих вблизи дорог. Исследования проводились на 12 видах, собранных в различных биотопах: в автопарке, с обочин шоссе и лесных дорог, в лесу на расстоянии от 600 м до 5 км от автопарка. Для сравнения были взяты жуки пяти видов, собранные в лесах Воронежского заповедника в 1930—1939 гг.

Результаты химических анализов показали, что жуки обладают способностью накапливать в своем организме значительно больше свинца, чем окружающие почвы и травянистая растительность, причем хищные напочвенные жуки-жужелицы (Carabidae) концентрируют больше загрязняющих веществ по сравнению с растительноядными видами жуков, обитающих на растениях.

Американский энтомолог Дж. Броменшенк (Университет штата Монтана) предлагает использовать в качестве индикаторов загрязнения природной среды пчел. Возглавляемая Броменшенком группа специалистов в течение ряда лет проводила наблюдения в юго-восточной части штата Монтана, в районе площадью 80 км². После начала наблюдений здесь были построены

две электростанции, работающие на каменном угле. Вскоре в организме пчел, обитающих на территории протяженностью до 15 км по направлению господствующих ветров, концентрация фтористых соединений возросла с $8 \cdot 10^{-6}$ до $1,6 \cdot 10^{-5}$. Этот уровень еще нельзя считать опасным, однако он настораживает, особенно, если учесть, что в этом и прилегающих районах планируется построить еще 30 электростанций, работающих на угле или продуктах его газификации.

Имеются сведения, что в организме пчел накапливаются и радиоактивные вещества, например в случаях утечки из мест захоронения радиоактивных отходов или при выпадении радиоактивных осадков и т. д.

Наблюдения показали, что пчелы помогают обнаружить больше 40 различных элементов, включая свинец, кадмий, серу, даже при весьма малых концентрациях их в природной среде. Вместе с тем в организме пчел, по-видимому, имеется некий естественный фильтр, не позволяющий большинству загрязняющих веществ попасть в мед.

«Доклады АН СССР», 1979, т. 244, № 6, с. 1515—1516; «Science News», 1978, v. 114, № 11, p. 183 (США).



Гибель морских птиц у Шетландских островов

Орнитологи Шотландии провели наблюдения за изменениями в природной среде в районе Шетландских о-вов (Великобритания) в связи с аварией здесь крупного танкера «Эссо Берница», в результате которой в декабре 1978 г. в Северное море вылилось

около 1160 т нефти. Экологи указывают, что хотя сам по себе объем излившейся нефти относительно невелик, в прибрежных водах он может оказать кумулятивное воздействие.

Наиболее тяжелые последствия катастрофы принесла морская водоплавающая птица. В течение первого же месяца после аварии здесь было обнаружено 115 трупов большой северной гагары — более четверти всех птиц данного вида, зимующих в этом районе. В Европе эта птица вообще обладает ограниченным ареалом; большую часть года она проводит в прибрежных водах, где риск подвергнуться последствиям нефтяного загрязнения особенно велик.

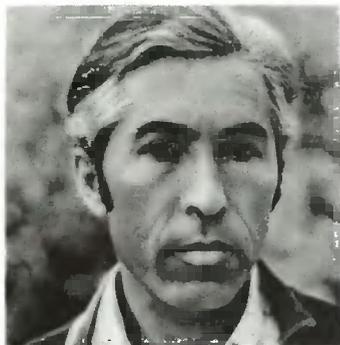
Помимо наиболее пострадавшей гагары, орнитологи обнаружили в районе катастрофы еще 3080 трупов морских птиц, принадлежащих к 46 видам. Если всего за месяц до аварии здесь насчитывалось, например, 342 особи гаги обыкновенной, 87 морянок, 50 крохалей красногрудых, то спустя только месяц после нее их число соответственно упало до пяти, нуля и девяти. Некоторые из пострадавших видов уже и прежде были включены в списки тех, чье существование находится под угрозой. Увеличение смертности среди зимующих здесь птиц может привести также к критическим последствиям для их популяции, гнездящейся в Исландии.

К концу марта 1979 г. число обнаруженных мертвых птиц достигло 3700. Опыт показывает, что это всего лишь около 10% всех погибших, так как большинство трупов остается в море. Пагубное воздействие излившейся нефти должно продолжаться, по-видимому, около полугода.

«New Scientist», 1979, v. 81, № 1144, p. 656; № 1145, p. 933 (Великобритания).

Роль планетарных циркуляций в образовании бокситов

Р. А. Биджиев, В. М. Сергиенко



Рустам Асхадович Биджиев, кандидат геолого-минералогических наук, начальник геологической партии объединения «Аэрогеология» Министерства геологии СССР. Основные научные интересы связаны с геологической съемкой, поисками полезных ископаемых, прогнозированием бокситов. Автор работ по стратиграфии, литологии и палеогеографии осадочных пород мезозоя и кайнозоя.



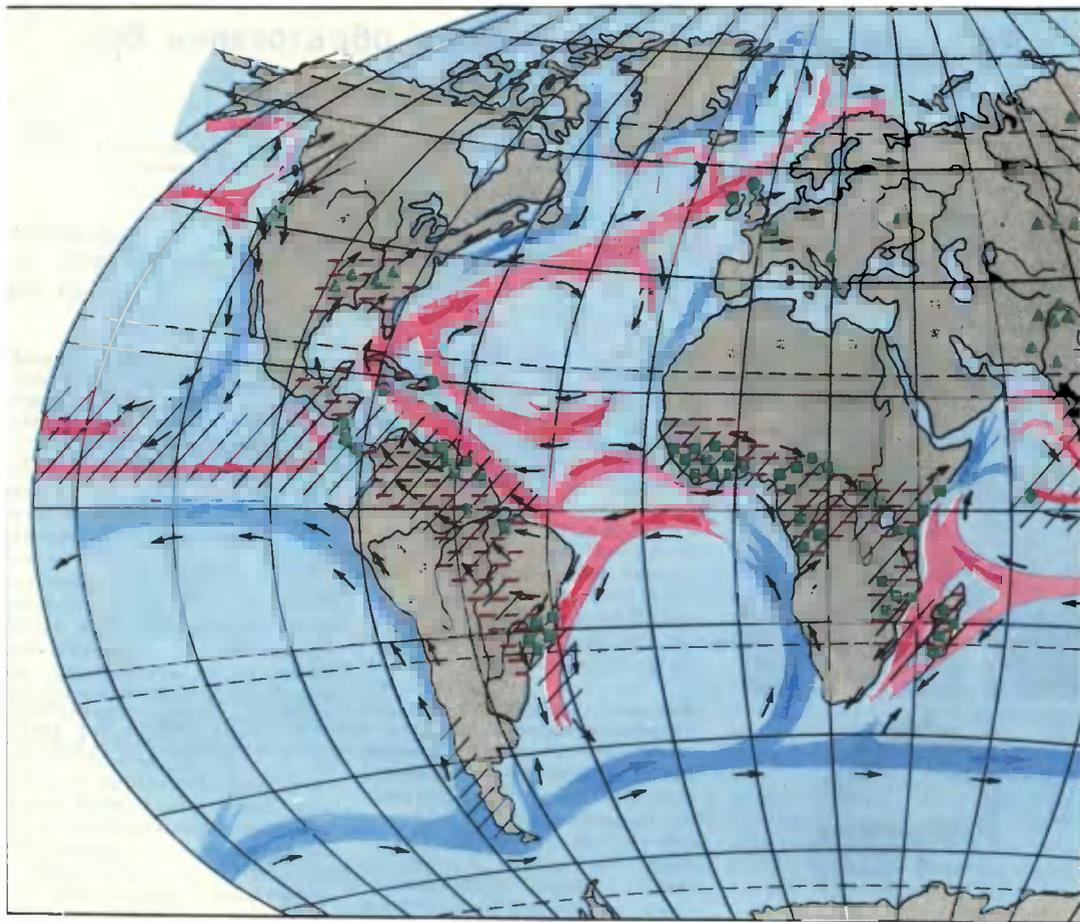
Василий Максимович Сергиенко, старший геолог объединения «Аэрогеология» Министерства геологии СССР. Много лет занимается геологической съемкой, поисками полезных ископаемых, прогнозированием бокситов.

Наверное, ни одна порода не связана так тесно с наземными природными процессами, как бокситы — самая богатая алюминиевая руда. Бокситы состоят из гидроксидов алюминия и железа с примесью окиси кремния и титана. В зависимости от состава, строения и примесей бокситы имеют самый разнообразный внешний вид. Известны бокситы черного, белого, красного, желтого и вишневого цвета, пористые и плотные, глинистые и песчаные.

Бокситы образуются при благоприятном взаимодействии многих природных факторов: климата, рельефа, тектонического строения, интенсивности дренажа и др. Наиболее важен из них, без сомнения, климат, отражающий воздействие солнеч-

ной радиации и количества влаги на ту или иную географическую обстановку. Например, крупные скопления бокситов в незаконсервированном состоянии возможны только в условиях высокого гидротермического режима, свойственного современному влажнотропическому поясу, поэтому не удивительно, что подавляющая часть кайнозойских высококачественных бокситов, включая все крупнейшие месторождения мира, сосредоточена именно в этом поясе Земли¹. Причем расположены бокситоносные про-

¹ Мировые запасы бокситов в настоящее время оцениваются приблизительно в 19,5 — 20,0 млрд т, причем на долю наиболее молодых кайнозойских высококачественных бокситов приходится около 18,5 — 19,0 млрд т, или 94% всех мировых запасов.



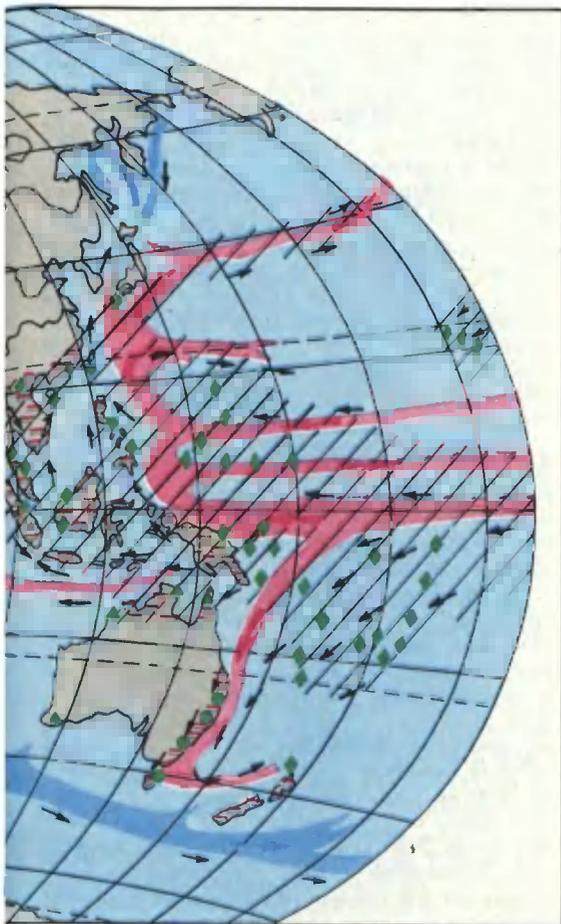
винции и области в этом поясе не хаотично: их размещение контролируется планетарными циркуляциями в атмосфере и океане. Но, прежде чем остановиться на этом вопросе, коснемся хотя бы кратко некоторых основных теорий и гипотез бокситообразования.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ОБРАЗОВАНИИ БОКСИТОВ

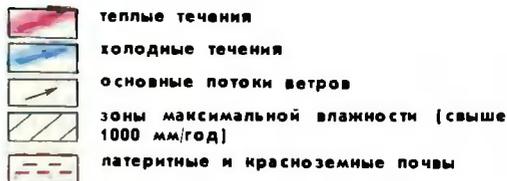
Все существующие в настоящее время многочисленные теории происхождения бокситов в какой-то мере основываются на выявлении географических и тектонических условий, способствующих накоплению свободного глинозема².

Суть наиболее широко распространенной латеритной теории заключается в том, что бокситы рассматриваются как остаточный продукт после выноса из пород субстрата щелочных и щелочно-земельных элементов, кремния и других легко подвижных компонентов. На месте (в латеритной коре выветривания) остаются и накапливаются соединения инертные, с очень низкой миграционной способностью — гидроокислы железа, алюминия, титана. Происходит это в первую очередь благодаря теплым атмосферным водам, которые разлагают алюмосиликаты горных пород, а затем растворяют и вымывают из пород подвижные элементы, переходящие в раствор. Процесс латеритизации пород усиливается за счет почвенных вод, обогащенных углекислотой, а также за счет благоприятных геоморфологических и гидрогеологических условий. Климат в обла-

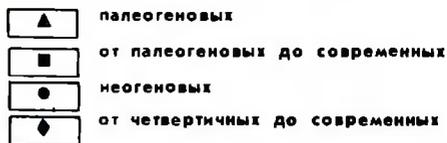
² Пастухова М. В. Происхождение бокситов. — «Природа», 1975, № 6.



Соотношение океанских течений, ветров, осадков и типов почв с размещением бокситов. На рисунке хорошо видно, что бокситовые залежи расположены в районах, где циркулируют теплые течения и куда направлены господствующие ветры — пассаты. На участках же суши, омываемых холодными течениями [Перуанским, Бенгальским, Сомалийским, Канарским, Калифорнийским], залежей бокситов нет.



залежи кайнозойских бокситов:



стях латеритного выветривания должен быть очень жарким и обильно влажным — тропическим или субтропическим. В последнее время, правда, определились разногласия по вопросу о том, необходимы ли для образования бокситов в подобной климатической обстановке сухие сезоны. Многие исследователи считают, например, что для образования бокситов необходим переменный влажный климат с сухими сезонами, во время которых при испарении происходит особенно интенсивная химическая проработка пород. Последователи этой концепции отождествляют климатическую обстановку бокситообразования с современной парковой саванной. Другие считают, что бокситы формируются только в условиях постоянно влажного тропического климата в ландшафтах близких к современным буйным влажнотропическим лесам. В настоящее время

латеритный процесс с накоплением свободного глинозема и гидроокислов железа, по мнению этих авторов, идет только в тропиках при среднегодовой температуре не ниже 20—25°C и количестве равномерно распределенных атмосферных осадков не менее 1500—2000 мм в год.

Помимо латеритной существует также латеритно-осадочная гипотеза происхождения бокситов, наиболее глубокая разработка которой принадлежит Г. И. Бушинскому. Согласно этой гипотезе образование бокситов начинается в латеритной коре выветривания. В процессе размыва и водно-механического переотложения латеритных бокситов образуются осадочные бокситы. Но одновременно с бокситовым материалом переносятся и повторно отлагаются глины, алевролиты и обломки других пород коры выветривания. Бокситы и обломки пород подвергаются дальней-

шей латеритизации: выносятся кремнезем, а местами и окислы железа. Процессы латеритизации особенно интенсивно протекают в осадках, отложившихся на карбонатных породах. Карст — особенно благоприятная ловушка для бокситов латеритно-осадочного типа.

Помимо латеритной и латеритно-осадочной теорий происхождения бокситов есть собственно осадочная теория, сторонники которой полагают, что бокситы образовались осадочным путем. Спорное место этой теории — вопрос об источниках бокситового материала и способах переноса его к месту накопления. Различают обломочную, коллоидную и химическую гипотезы переноса. Согласно первой из них бокситовый материал переносится в составе грубых и тонких взвесей, причем дальность переноса незначительна (десятки — сотни метров). Названия коллоидной и химической гипотез говорят сами за себя: в одних случаях продукты разрушения переносятся в виде гелей, тончайших суспензий на значительные расстояния (100—200 км), в других — перенос глинозема осуществляется в виде истинных растворов (дальность переноса при этом очень велика). Химическая гипотеза, которую развивал выдающийся советский геолог А. Д. Архангельский, сыграла серьезную роль в теории образования бокситов и практике поисковых работ в СССР.

Сейчас можно уверенно говорить о том, что подавляющее большинство кайнозойских бокситовых месторождений мира имеет латеритное и латеритно-осадочное происхождение. По существу, таковы все бокситовые месторождения Африки, Австралии, Океании и Америки.

ПРИЧИНА ВОЗНИКНОВЕНИЯ БОКСИТОНОСНЫХ ПРОВИНЦИЙ И ОБЛАСТЕЙ

Анализируя распространение кайнозойских бокситов на планете, мы пришли к выводу, что от низких широт к высоким величина и количество бокситовых месторождений резко падают, снижается и качество бокситов. Нам отмечена также отчетливая связь между бокситоносными провинциями и современными влажно-тропическими ландшафтами, которым свойствен латеритный почвенный покров, тропическая растительность.

Такое распределение бокситов на земной поверхности свидетельствует, казалось бы, о том, что почти все известные нам бокситы образовались в историческое

время или по крайней мере в четвертичный период. Однако установлено, что возраст бокситов современного тропического пояса колеблется от палеоценового (возможно, позднемиоценового) до современного³. Следовательно, на протяжении всего кайнозоя в тропическом поясе Земли существовали ландшафтно-климатические условия, мало чем отличающиеся от современных и весьма благоприятные для латеритного выветривания, образования бокситов и их накопления. Правда, в отдельных регионах накопление бокситов прекратилось в начале кайнозоя, в других прекращалось на какое-то время, а затем возобновилось, в третьих — продолжается и поныне.

Наряду с высокой концентрацией бокситовых залежей в тропической зоне, распределены они в пределах этой зоны крайне неравномерно. Не вызвана ли их локализация также особенностями климата, какова сущность этого процесса?

Известно, что высокие температуры в тропиках обусловлены глобальной климатической зональностью, а высокая влажность и направленная циркуляция ветров, которые приносят с собой влагу на континент из наиболее прогретой части океана — зон теплых течений. Таким образом, создается сочетание циркуляций водных и воздушных масс, благоприятное для образования бокситов. Этот вывод подтверждает известное положение о том, что главными природными факторами образования бокситов являются высокая среднегодовая температура (не ниже 18—20°C) и большая атмосферная влажность (не менее 1500 мм осадков в год). Это, видимо, тот оптимальный гидротермический режим, при котором возможен процесс интенсивного химического разложения пород.

Известные залежи кайнозойских бокситов находятся в тех районах суши, к которым и в настоящее время направлены основные потоки теплых течений и ветров и где в настоящее время осуществляется основная разгрузка влаги и широко распространены современные латеритные почвы. Например, бокситы сосредоточены в той части Западной Африки, которая

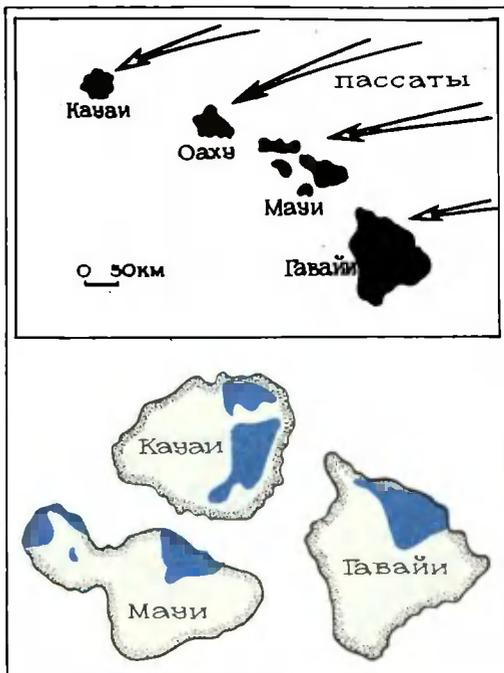
³ Биджиев Р. А., Сергиенко В. М. О роли морских течений и атмосферных циркуляций в образовании и размещении бокситов. — «Доклады АН СССР», 1976, т. 227, № 2.

омывается теплым Гвинейским течением и где дуют северо-восточные ветры. Залежи бокситов распространяются далеко вглубь материка именно в том направлении, куда проникают насыщенные влагой ветры. Месторождения Южной Америки располагаются в области влияния Южного пассатного течения, теплое Бразильского течения и ветров того же направления. Залежи бокситов Карибского бассейна находятся в зоне Северного пассатного и Карибского течений и ветров того же направления, а южные бокситовые провинции Северной Америки — в зоне теплое Карибского течения и области господства северных и северо-восточных пассатов. Такая же в целом картина наблюдается в акваториях Индийского и Тихого океанов. Она в некоторой степени осложняется в регионах с муссонным климатом. В целом же бокситоносные провинции практически повсеместно совпадают с территориями, где благоприятно сочетаются направления современных теплых течений и господствующих ветров. Для этих провинций характерны также современные латеритные и красноземные почвы.

Яркий пример влияния пассатных ветров и течений на локализацию бокситоносных районов внутри единой бокситоносной провинции можно видеть на востоке Южной Америки. На широте мыса Калканьяр Южное пассатное течение раздваивается на Бразильское и Гвинейское. Здесь же происходит разделение ветров Южно-Атлантической антициклонической системы: основной поток направляется в сторону Гвианского нагорья и в верховья бассейна р. Амазонки, другой — круто отклоняется к югу, захватывая восточный край Бразильского нагорья. Эти ветры оказали влияние на распределение осадков, а следовательно и на локализацию латеритных почв и бокситовых залежей. Не исключено, что вся влажно-тропическая Амазония является высокоперспективной бокситоносной провинцией, что подтверждено открытиями последних лет.

Главный ветер тропической зоны, на которую приходится основная масса кайнозойских бокситовых месторождений, — пассат (северо-восточный в северном полушарии, юго-восточный — в южном). Пассаты зарождаются в зоне сравнительно сухих тропиков (500—1000 мм осадков в год). При движении к экватору воздух прогревается, насыщается влагой и постепенно трансформируется в экваториальный — очень теплый (27—30°) и влажный (2000—4000 мм осадков в год).

Для понимания роли течений в образовании бокситов важна следующая особенность пассатных циркуляций, отмечающаяся в центральной части Тихого океана. Благодаря влиянию холодного Перуанского течения в тропической и экваториальной зонах (Галапагосские, Маркизские о-ва; о-ва Тубуаи, Общества; частично о-ва Лайн, Туамоту) количество осадков в открытом океане слишком мало для возникновения бокситов (в среднем 800—1200 мм в год). На некоторых островах даже стоит засуха⁴. Вне зоны действия холодных течений,



Воздействие пассатной циркуляции на образование бокситов на Гавайских островах [по И. Валетон, 1974]. Восток-северо-восточные пассаты оставляют на наветренных склонах максимальное количество осадков, в среднем 2500 мм. Именно там сосредоточены бокситовые залежи (показаны цветом).

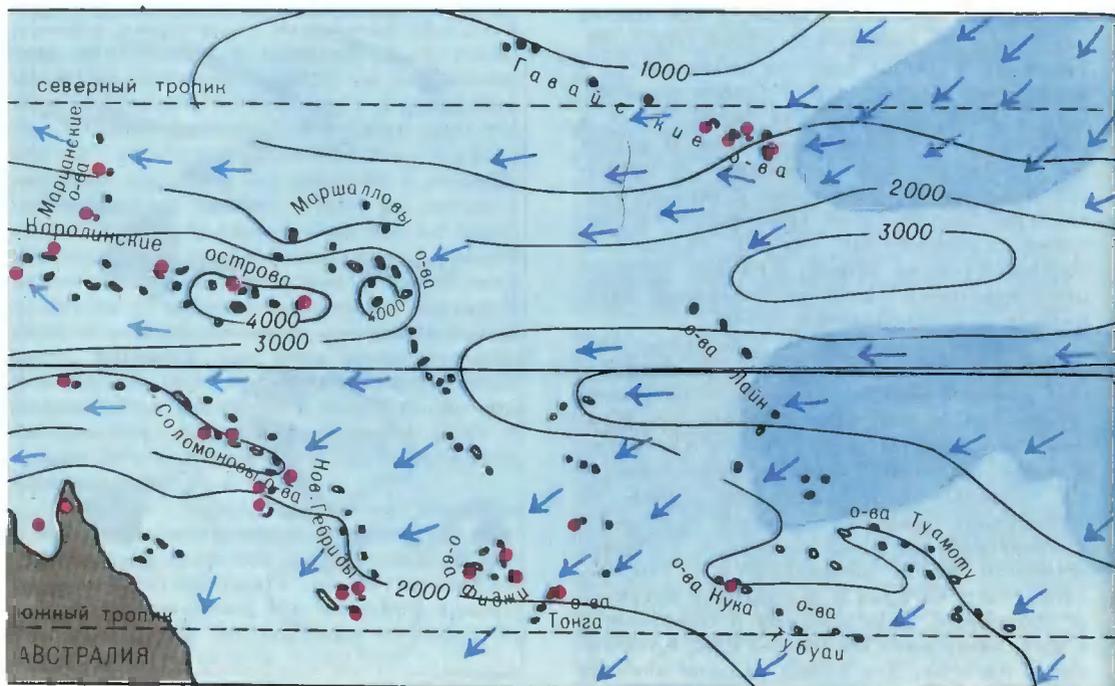
на влажных лесных островах (Фиджи, Марианские, Соломоновы, Маршалловы, Каролинские, Кука, Тонга, Новые Гебриды и др.), где выпадает до 2000—4000 мм осадков в год, и сейчас образуются бокситы на атоллах, на вулканических островах.

⁴ Атлас океанов. Тихий океан. М., 1974.

Очень ярко связь пассатной циркуляции с бокситообразованием проявляется на Гавайских о-вах. Этот архипелаг, состоящий из молодых вулканических образований, расположен у северной границы тропического пояса в зоне влияния восток-северо-восточных пассатов. Эти ветры оставляют на наветренных склонах островов в среднем 2500 мм осадков, причем с увеличением высоты рельефа их количество резко возрастает (до 11 250 мм). На подветренных же (запад-юго-западных) склонах гос-

Отмеченная пространственная связь между направлением современных пассатных ветров и океанских течений, с одной стороны, и распределением областей высокой влажности, современных латеритных почв и кайнозойских бокситов — с другой, наводит на мысль о консервативности циркуляционных систем атмосферы и вод Мирового океана.

Устойчивое в геологическом времени положение макроциркуляционных систем, благодаря которым осуществляется



Зависимость размещения современных бокситовых залежей в Тихом океане от океанских течений. Благодаря влиянию холодных Перуанского и Калифорнийского течений на многих островах в тропической и экваториальных зонах количество осадков настолько мало, что возникновение бокситов невозможно. Вне зоны действия холодных течений, на влажных лесных островах, где выпадает до 2000—4000 мм осадков в год, и сейчас образуются бокситы [показаны кружками].

подстает степной или полустепной ландшафт со среднегодовым количеством влаги не более 500 мм. Такое распределение осадков и обусловило локализацию бокситовых залежей на наветренных склонах.

планетарная циркуляция вод и атмосферы, подтверждается длительностью существования ныне известных субтропических аридных зон. Эти зоны находятся на краях континентов в областях влияния холодных течений. Л. Кинг, например, пишет, что «ландшафты Центральной Калахары со свойственными им многочисленными плоскими котловинами и сейчас почти ничем не отличаются от ландшафтов нижнекайнозойского (K_2 —Р) цикла»⁵. Этот же исследователь добавляет, что облик Сахары в течение почти всей кайнозойской

⁵ Кинг Л. Морфология Земли. М., 1967, с. 212.

эры представлял собой, что и сейчас — плоскую каменистую пустыню (хамату).

Если общая климатическая зональность, а с ней и бокситоносная зональность Земли, определяется солнечной радиацией, то провинциальные климаты, а следовательно и бокситоносные провинции, определяются конфигурацией материков, их величиной и положением относительно главных циркуляционных систем. Так, К. Брукс и А. П. Воейков в своих исследованиях пришли к выводу, что

плато США, в ФРГ, Северной Ирландии и Шотландии. При этом ведущая роль принадлежала древним теплым течениям Северо-Тихоокеанскому и Гольфстриму, так как, по мнению большинства исследователей, субтропический пояс Земли в миоцене не достигал пятидесятих широт.

ПРОГНОЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БОКСИТОВ

Выявленная связь между циркуляцией теплых течений и ветров и процессами бокситообразования дает ключ к научному прогнозированию бокситов. Большую помощь при этом оказывает палеогеографический анализ, включающий реконструкции древних морских течений и потоков ветров — главных поставщиков влаги на сушу.

Установленные закономерности распространения бокситовых провинций позволяют прогнозировать месторождения бокситов не только на континенты в целом, но и на отдельные регионы. Например, полярные области нашей страны, которые раньше считали неперспективными на бокситы, следует тщательно исследовать, так как палеоклиматическая обстановка в отдельные геологические эпохи была здесь благоприятна для образования бокситов.

Помимо поиска залежей бокситов выявленные связи могут оказать неоценимую помощь и при расшифровке палеогеографической картины, например Сибирской платформы в меловое и палеогеновое время, когда образовывались бокситы.



широколиственные леса с вечнозелеными растениями произрастали в Арктике в палеогеновое время в условиях мягкого климата, существовавшего тогда благодаря обильному притоку к полюсу теплых Атлантических вод. Процессы бокситообразования, протекавшие в палеогене и неогене вне пределов современного тропического и субтропического пояса, вызваны, на наш взгляд, не только более теплым климатом планеты в то время, но главным образом провинциальными климатами с неперменным благоприятным сочетанием направлений теплых течений и ветров. Вероятно, с этими природными факторами связано образование в высоких широтах миоценовых бокситов на Колумбийском

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Бушинский Г. И. ГЕОЛОГИЯ БОКСИТОВ. М., 1971.
- Валетон И. БОКСИТЫ. М., 1974.
- Пастухова М. В. ПРОИСХОЖДЕНИЕ БОКСИТОВ.— «Природа», 1975, № 6.
- Синицын В. М. КЛИМАТ ЛАТЕРИТА И БОКСИТА. Л., 1976.

Памяти Акселя Ивановича Берга

9 июля 1979 г. умер Аксель Иванович Берг. Это тяжелая потеря для советской науки. Мы простились с человеком, чья жизнь и дела долго будут жить в сознании людей и привлекать внимание биографов.

А. И. Берг родился 10 ноября (29 октября) 1893 г. в Оренбурге. Его отец происходил из семьи обрусевших шведов, был участником русско-турецкой войны и вышел в отставку в чине генерала-от-инфантерии. Мать А. И. Берга, по происхождению итальянка, заведовала Мариинской гимназией в Царском Селе. На вопрос о его национальности А. И. Берг всегда отвечал: русский. Он был не только вскормлен русской землей и ее культурой. Он стал одним из известных деятелей ее истории.

В 1914 г. А. И. Берг окончил Морской корпус. После Октябрьской революции молодой штурман действующего Балтийского флота становится командиром подводной лодки и в 1922 г. удостоивается звания Героя труда Отдельного дивизиона подводных лодок Балтморя. В том же году он поступает на электротехнический факультет Военно-морской академии и выходит из нее радиоспециалистом и вполне сложившимся ученым. Вся дальнейшая жизнь А. И. Берга связана с развитием и организацией советской науки и техники.

Еще в 1921 г. была опубликована первая работа А. И. Берга о техническом оборудовании подводных лодок. К 1925—1928 гг. относится разработка А. И. Бергом теорий радиопеленгации и подводного приема. В эти годы он преподает в Высшем военно-морском инженерном училище, в Военно-инженерной академии, в Электротехническом институте и Военно-морской академии.

С конца двадцатых годов А. И. Берг активно включается в исследование ультракоротких волн и их применений на



флоте для связи, навигации, обнаружения и опознавания. В 1928—1934 гг. он возглавляет работу по созданию и реализации первой системы вооружения флота радиотехническими и гидроакустическими средствами, условно называвшейся «Блокада-1». В 1933 г. за участие в осуществлении этой задачи А. И. Берг на-

гражден учрежденным незадолго до того орденом Красной Звезды.

В 1932 г. А. И. Берг был назначен начальником только что организованного Научно-исследовательского морского института связи РККА. Институт скоро превращается в крупное многопрофильное научное учреждение, которому, в частности, предстоит заняться разработкой системы «Блокада-II», соответствовавшей возросшему уровню техники.

Великая Отечественная война поставила задачу перевести ультракоротковолновую технику сравнительно скромных довоенных масштабов в область промышленного производства и массового применения. Когда была вполне осознана эта необходимость, оказалось, что собрать старых, довоенных специалистов невозможно и многое из предвоенного опыта уже утрачено. В 1943 г. А. И. Берг назначается заместителем народного комиссара электромышленности и одновременно заместителем председателя Совета по радиолокации при Государственном Комитете Обороны. Преодолевая психологическое сопротивление людей, привыкших к технике более низких частот, он развертывает пропаганду новых задач, устраивает конференции, семинары, налаживает выпуск соответствующей научно-технической литературы. В результате готовятся нужные специалисты, создается специализированный институт, в дело вовлекаются предприятия, далекие от него по первоначальному профилю. В самые короткие сроки А. И. Бергу удается развернуть научно-исследовательские работы в области сверхвысоких радиочастот, полупроводников, радиолокации, измерительной техники и организовать промышленное производство соответствующей аппаратуры.

В 1953—1957 гг. А. И. Берг работает на посту заместителя министра обороны СССР по радиолокации (позже — по радиоэлектронике). Одновременно выполняет ответственные поручения Госплана и Совета Министров СССР, а также Академии наук СССР, в которую он избран в 1943 г. членом-корреспондентом, а в 1946 г. академиком. По его инициативе создан Институт радиотехники и электроники АН СССР, первым директором которого он был в 1953—1954 гг.

А. И. Бергу всегда были по душе и оказывались по плечу новые трудные дела. Так, он стал одним из первых в нашей стране и притом страстным пропагандистом кибернетики в тот период,

когда она именовалась лженаукой. В 1959 г. А. И. Берг назначается председателем Научного совета по комплексной проблеме «Кибернетика» при Президиуме АН СССР. До конца своих дней А. И. Берг отдает все свои силы развитию этого важного научного направления, расширению применений электроники и вычислительной техники в различных областях естественных и общественных наук, техники и народного хозяйства.

Герой Социалистического Труда, коммунист, адмирал-инженер А. И. Берг был награжден четырьмя орденами Ленина, двумя орденами Красного Знамени, орденом Отечественной войны первой степени, тремя орденами Красной Звезды, орденом Октябрьской революции. Академия наук СССР присудила ему золотую медаль имени А. С. Попова.

А. И. Берг остался в нашей памяти как человек исключительного обаяния. Строгая военно-морская выправка, властный, порой нарочито резкий тон не способны были замаскировать его душевность, деликатность и простоту. Для него не было неинтересных людей. Всех, с кем он встречался, он считал достойными внимания. Так же как для него, деятеля государственного масштаба, почти не существовало дел, от которых можно отмахнуться. Каждому делу, нуждавшемуся в его участии, он отдавал столько сил, сколько оно требовало. Таково было и его отношение к журналу «Природа», членом редколлегии которого он был последние пятнадцать лет своей жизни.

Аксель Иванович высоко ценил наш журнал, всегда подчеркивал его ответственное назначение и прилагал немало сил к тому, чтобы «Природа» была пропагандистом наиболее передовых научных идей.

Редколлегия журнала «Природа»

Космические исследования

Продолжение длительной экспедиции на «Салюте-6»

В июне — июле 1979 г. космонавты В. А. Ляхов и В. В. Рюмин продолжали выполнение запланированной программы научно-технических исследований и экспериментов. Космонавты провели наблюдения лесных массивов Дальнего Востока, съемки сельскохозяйственных районов Украины, Урала, Казахстана, а также южной части территории Советского Союза, отдельных районов Украины, дельты Волги, Южного Урала, Алтая, Сибири, Дальнего Востока в интересах различных отраслей народного хозяйства. В Тихом океане, вблизи Курильских о-вов экипаж обнаружил обширную популяцию планктона протяженностью до 1000 км. Такие наблюдения имеют важное значение для поиска в океане различных видов промысловых рыб. Использование указаний космонавтов для поиска рыболовственных участков уже приносит ощутимый экономический эффект.

В начале июня была завершена разгрузка транспортного корабля «Прогресс-6». Космонавты демонтировали и перенесли в грузовой отсек «Прогресса-6» использованное оборудование, провели дозуправку емкостей объединенной двигательной установки станции «Салют-6» горючим из баков «Прогресса-6» и дополнительный наддув отсеков орбитального комплекса воздухом из баллонов транспортного корабля. «Прогресс-6» был использован в качестве космического буксира: 22 мая, 4 и 5 июня с помощью его двигательной установки были осуществлены три коррекции траектории полета пилотируемого орбитального комплекса.

8 июня «Прогресс-6» был

отстыкован от орбитального комплекса; на следующий день двигательная установка корабля была включена на торможение, в результате он перешел на траекторию снижения, вошел в плотные слои атмосферы над заданным районом Тихого океана и прекратил свое существование.

6 июня был запущен беспилотный космический корабль «Союз-34». В процессе автономного полета корабля была проведена контрольная проверка работы сближающе-корректирующей двигательной установки, доработанной в связи с неисправностями, возникшими во время полета «Союза-33» в апреле 1979 г. После маневрирования на орбите «Союз-34» был состыкован с орбитальным пилотируемым комплексом «Салют-6» — «Союз-32».

13 июня завершился полет космического корабля «Союз-32», на котором 25 февраля 1979 г. стартовали космонавты Ляхов и Рюмин: в 19 ч 18 мин по московскому времени спускаемый аппарат корабля совершил мягкую посадку в заданном районе территории Советского Союза, в 295 км северо-западнее Джезказгана. На Землю были доставлены материалы проведенных исследований, в том числе кассеты с кинофотоленкой, капсулы с веществами, полученными в экспериментах по космическому материаловедению, вкладыши с биологическими объектами; были возвращены также отдельные элементы и блоки научной аппаратуры и оборудования, исчерпавшие ресурсы за время длительного функционирования станции.

14 июня была осуществлена перестыковка «Союза-34», который отделился от стыковочного узла, расположенного на агрегатном отсеке, отошел от станции на расстояние 100 м и после того, как станция совершила разворот, причалил к

стыковочному узлу на переходном отсеке станции. Основная цель перестроения орбитального комплекса — освободить стыковочный узел со стороны агрегатного отсека, чтобы стали возможны транспортные операции по снабжению станции различными грузами.

28 июня был запущен автоматический грузовой транспортный корабль «Прогресс-7», который 30 июня состыковался с орбитальным пилотируемым комплексом «Салют-6» — «Союз-34» и доставил на орбиту топливо, научную аппаратуру, оборудование, материалы для обеспечения жизнедеятельности экипажа, почту. Как и предыдущие корабли этого типа, «Прогресс-7» также был использован для коррекции орбиты пилотируемого комплекса.

С помощью болгарской научной аппаратуры и капсул с материалами, предоставленными учеными НРБ и доставленными «Прогрессом-6», космонавты выполнили ряд совместных советско-болгарских экспериментов. На электронгревательной установке «Кристалл» в эксперименте «Пирин» исследовалась диффузия в жидких металлах в условиях невесомости, а на установке «Сплав» был проведен эксперимент по получению пенометаллов с малым удельным весом и сравнительно высокими механическими характеристиками.

Интересные исследования оптических явлений в атмосфере и ее загрязненности вблизи крупных промышленных районов проводились с помощью болгарских приборов «Спектр-15» и «Дуга».

В рамках советской национальной программы экипаж продолжал эксперименты по космическому материаловедению на установках «Сплав» и «Кристалл»: в условиях невесомости были получены такие полупроводниковые матери-

лы, как германий и арсенид галлия.

Были продолжены эксперименты по измерению потоков γ -излучений и заряженных частиц в околоземном космическом пространстве с помощью малогабаритного γ -телескопа «Елена».

Большое место в программе работ космонавтов занимали биологические исследования, а также медицинские обследования и эксперименты. С помощью прибора «Биогравиастат» экипаж изучал развитие растений в условиях искусственной гравитации, на установке «Оазис» — развитие высших растений в условиях орбитального полета. Систематически проводились комплексные обследования состояния здоровья экипажа; с помощью многофункциональной регистрирующей аппаратуры «Полином-2М» исследовалась биоэлектрическая активность сердца и тонус сосудов, с использованием вакуумного костюма «Чибис» определялась реакция сердечно-сосудистой системы на имитацию действия гидростатического давления; проводились также комплексные обследования системы кровообращения при дозированной физической нагрузке на велоэргометре.

В начале июля экипаж приступил к разгрузке автоматического корабля «Прогресс-7»

С. А. Никитин
Москва

19 августа 1979 г. в 15 ч 30 мин московского времени после выполнения сложной и напряженной программы научных-технических исследований и экспериментов на борту орбитального комплекса «Салют-6» — «Союз-34» космонавты Ляхов и Рюмин возвратились на Землю. Спускаемый аппарат корабля «Союз-34» совершил посадку в 170 км юго-восточнее Джезказгана.

Предварительное медицинское обследование космонавтов, проведенное на месте приземления, показало, что они хорошо перенесли длительный, 175-суточный орбитальный полет.

Астрофизика

Гравитационное излучение от двойной системы, содержащей радиопульсар

Американские астрофизики Дж. Тейлор, Л. Фаулер и П. Маккаллох сообщили об обнаружении гравитационных волн¹. Речь шла не о лабораторных экспериментах типа тех, которые ведутся сейчас под руководством Дж. Вебера в США и В. Б. Брагинского в СССР, а об обычных, длительных радиоастрономических наблюдениях одного и того же радиоисточника, но источника уникального по своей природе — двойной звездной системе, одним из компонентов которой является радиопульсар PSR 1913+16.

Этот пульсар был открыт группой Тейлора в 1974 г. во время серии наблюдений, проводившихся с помощью радиотелескопа в Аресибо². Его орбита сильно вытянута (эксцентриситет — 0,91). Средний период следования импульсов от пульсара составляет 0,059 с, период двойной системы — 7 ч 45 мин, скорость движения пульсара по орбите ~300 км/с.

Последующие наблюдения позволили не только оценить параметры двойной системы, но и сделать вывод, что, согласно общей теории относительности, такая система должна излучать гравитационные волны; в результате период обращения тел в этой системе должен уменьшаться.

И, действительно, как показали недавние наблюдения группы Тейлора, происходит уменьшение периода обращения компонентов системы со скоростью $dT/dt = (-3,2 \pm 0,6) \cdot 10^{-12}$, т. е. в течение года период двойной системы умень-

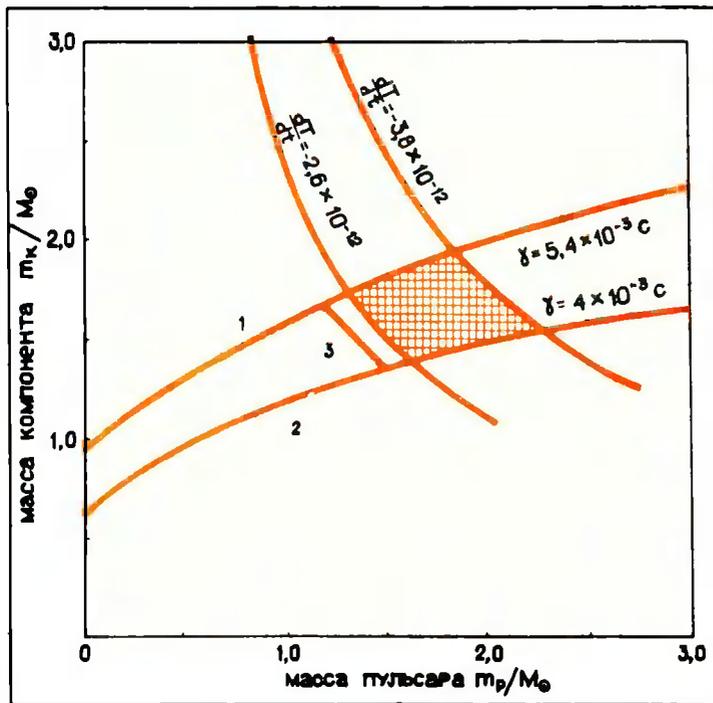
шается примерно на 10^{-4} с. Именно на такую величину он и должен уменьшиться из-за потери системой энергии на гравитационное излучение. Необходимо отметить, что уменьшение периода может быть обусловлено и другими физическими процессами, например потерей системой массы, действием приливного трения между компонентами или же ускоренным движением центра тяжести системы, содержащей пульсар, относительно Солнечной системы. (Легко, например, подсчитать, что ускорение всего в $3 \cdot 10^{-6}$ см/с² уже может привести к наблюдаемому эффекту.) Пока параметры двойной системы (массы обоих компонентов, угол наклона орбиты системы к лучу зрения и др.) определены с недостаточной точностью, нельзя окончательно предпочесть механизм гравитационного излучения.

Для оценок масс компонентов Тейлор с сотрудниками использовали три эффекта. Вначале были определены наиболее легко измеряемые регулярные вариации периода следования импульсов от пульсара, обусловленные линейным эффектом Доплера. Используя, кроме того, третий закон Кеплера, можно было найти соотношение между массами компонентов и углом наклона орбиты. Затем были измерены дополнительные задержки времени прихода импульсов от пульсара (γ), обусловленные квадратичным эффектом Доплера³ и гравитационным красным смещением. Величина γ зависит только от соотношения между массами компонентов и для данной двойной системы составляет величину порядка нескольких миллисекунд. И, наконец, из наблюдений было установлено, что орбита пульсара прецессирует со

¹ Taylor J. H., Fowler L. A., McCulloch P. M. — «Nature», 1979, v. 277, p. 436.

² Об открытии этого пульсара см.: Бисноватый-Коган Г. С. Первый радиопульсар в двойной системе. — «Природа», 1975, № 3.

³ Этот метод был предложен впервые В. А. Брумбергом, Я. Б. Зельдовичем, И. Д. Новиковым и Н. И. Шакурой («Письма в АЖ», 1975, т. 1, № 1, с. 3) и несколько позже и независимо Р. Бленфордом и С. Чекольским («Astroph. J.», 1975, v. 198, L 27).



Возможные ограничения на значения масс компонентов двойной системы, содержащей пульсар PSR 1913+16, полученные при учете различных эффектов. Кривая 1 ограничивает диапазон значений масс по наблюдаемым величинам линейного эффекта Доплера, кривая 2 — квадратичного эффекта Доплера и гравитационного красного смещения. На прямой 3 находятся значения масс, которые вычислены с учетом всех трех эффектов (т. е. использована также релятивистская прецессия орбиты). Массы компонентов в заштрихованном четырехугольнике характерны для механизма гравитационного излучения. Если с увеличением точности измерения скорости изменения периода системы dT/dt и величины дополнительных задержек у прямая 3 попадет в четырехугольник, то тем самым будет доказано, что двойная система излучает гравитационные волны.

скоростью 4,2 град/год. Вероятнее всего, это вращение обусловлено релятивистским эффектом, аналогичным тому, который наблюдается для планеты Меркурий (44" в столетие)⁴. Расчет релятивистского поворота дал соотношение между скоростью прецессии и

суммой масс компонентов системы.

В итоге было получено три соотношения для трех неизвестных — угла наклона и масс компонентов. Так как все измерения проводились с определенной точностью, то были неизбежны ошибки в значениях масс и угла, т. е. для них получены не точные значения, а некоторый диапазон значений, показанный на рисунке. С увеличением точности измерения величин γ и особенно dT/dt будет получен окончательный ответ, определяется ли наблюдаемое уменьшение периода двойной системы только излучением гравитационных волн или же наряду с этим механизмом имеют место и другие эффекты, о которых мы упоминали выше.

Н. И. Шакура,
кандидат

физико-математических наук
Москва

⁴ Подробнее об этом эффекте см.: Визгин В. П. Эйнштейн и другие. К истории создания общей теории относительности.— «Природа», 1979, № 3.

Антарктические метеориты

С ноября 1978 г. по январь 1979 г. американские и японские исследователи собрали в Антарктиде, в урочище Драй-Вэллис близ станции Мак-Мердо, 309 метеоритов общим весом 300 кг. Эти находки существенно пополнили прежние коллекции антарктических метеоритов¹. Среди новых образцов — железный метеорит весом 136 кг — самый крупный из найденных в Антарктиде; четыре ахондрита (редкий тип каменных метеоритов, по химико-минеральному составу подобный структуре и составу некоторых глубинных земных горных пород); два крошечных, пятиграммовых, углистых хондрита (этот тип метеоритов относится к числу самых примитивных пород в Солнечной системе, но в земных условиях они встречаются весьма редко, так как легко подвержены разрушительному воздействию при входе в атмосферу и в процессах выветривания на поверхности планеты). Новые сборы метеоритов подтвердили ранее высказанное У. Кассиди (Питтсбургский университет, США) предположение, что ледяной щит Антарктиды служит идеальным местом накопления метеоритов².

Главное, что привлекает исследователей к антарктическим метеоритам, — их хорошая сохранность в условиях низких температур и отсутствия других разрушающих воздействий. Чтобы предотвратить загрязнение образцов во время сбора и доставки в исследовательские лаборатории, предпринимались специальные меры, почти такие же, как для сохранности образцов лунных пород. Антарктические метеориты были доставлены в лунную приемную лабораторию Цент-

¹ См.: «Природа», 1977, № 6, с. 125.

² См.: «Природа», 1979, № 4; с. 117.

ра космических исследований им. Джонсона в Хьюстоне, где они исследуются под руководством геохимика и космохимика Дж. О. Аннекстада и откуда они будут также выдаваться для изучения в другие лаборатории.

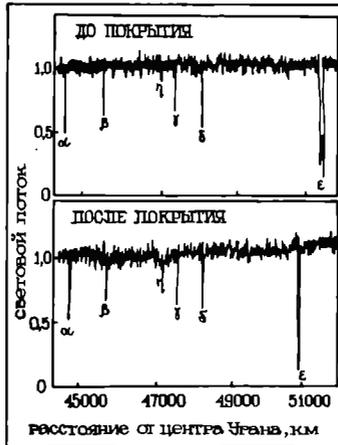
К настоящему времени уже более 50 образцов метеоритов, собранных в Антарктиде в предыдущие годы, исследовано специалистами. Кроме изучения свойства самих метеоритов, дающих важные сведения о процессах, происходивших на ранних стадиях развития Солнечной системы, можно в ходе этих работ получить представление и об истории ледового континента. Э. Файрмен с сотрудниками (Смитсоновская астрофизическая обсерватория, США) путем изотопного анализа определили, что один из найденных в Антарктиде метеоритов находился на Земле около 1,54 млн лет, а три других — от 30 тыс. до 300 тыс. лет. Таким образом установлено, что антарктический ледник существует уже более 1,5 млн лет. Исследователи считают, что нынешнее распределение по антарктическому леднику метеоритов разного возраста свидетельствует о том, что за последние 30—300 тыс. лет усилились процессы, приводящие к выносу на поверхность ледникового щита древних метеоритов, долгое время пребывавших в его более глубоких слоях. Дальнейшие исследования позволят сделать заключения об изменениях климата в этот геологический период.

«Science», 1979, v. 203, № 4378, p. 453—455 (США).

Астрономия

Исследования колец Урана

Повторные наблюдения колец Урана¹ во время затмений звезд 23 декабря 1977 г. и 10 апреля 1978 г. позволили установить, что Уран окружен не менее чем девятью узкими



Регистрограммы затмения звезды SAO 158687 кольцами Урана 10 марта 1977 г. Неодиократные затмения звезды, симметрично повторяющиеся с той и другой стороны от планеты, свидетельствуют о наличии колец (обозначены греческими буквами). Расстояния даны в уточненном при последующей обработке виде.

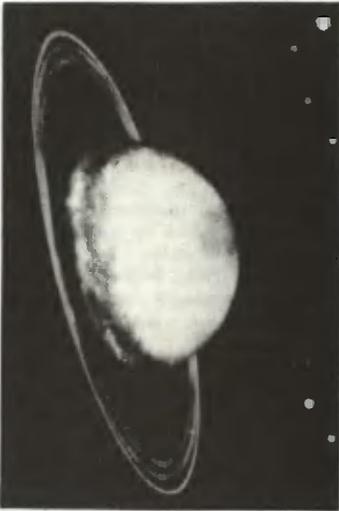
кольцами; расстояния их от центра планеты, по данным Дж. Эллиота и Э. Данхэма (Корнеллский университет, США), Л. Вассермана и Р. Миллса (Лоуэлловская обсерватория, США), а также Дж. Чермса (Обсерватория Кейптауна, ЮАР), составляют 41 980, 42 360, 42 663, 44 844, 45 799, 47 323, 47 746, 48 423 и 51 400 км. Уточненный радиус Урана — 25 700 ± 600 км. Таким образом, все кольца расположены внутри так называемого предела Роша, отстоящего на 2,5 радиуса от центра планеты. Достаточно крупные спутники не могут существовать в пространстве между планетой и пределом Роша из-за разрушающего действия гравитационных сил.

По-видимому, кольца Урана состоят из множества малых тел, поскольку ни одно из них не произвело полного затмения звезд, а лишь ослабило их свет, причем в разной

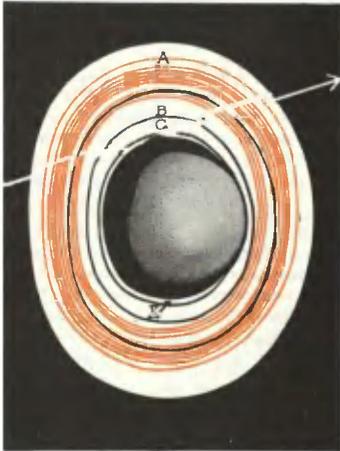
степени на разных участках колец. Отсюда сделан вывод, что кольца состоят из тел размером не более 4—6 км, распределенных внутри каждого кольца неравномерно. Кольца (обозначенные в порядке удаления от планеты — α , β , γ , δ , ϵ) занимают пояс шириной около 9500 км. Каждое из них (кроме внешнего кольца ϵ) имеет в ширину не более 10 км. Внешнее кольцо либо более толстое, чем другие, либо составляющие его глыбы расположены ближе друг к другу, поскольку оно ослабляет свет звезды на 90%, в то время как внутренние кольца — не более чем на 50%. Одни из первооткрывателей колец Урана — Дж. Бхаттачария и М. Баппу (Кавалурская обсерватория, Индия) — выделяют четыре широких кольца, обозначенных в порядке приближения к планете — А, В, С и D. В пределах этих колец имеются более плотные участки, соответствующие описанным выше узким кольцам. Такая модель колец Урана напоминает систему широких колец Сатурна. Правда, у Урана суммарная ширина колец А, В, С и D составляет около 25 000 км, а кольца Сатурна занимают пояс в 77 000 км шириной. Однако и у Урана, и у Сатурна расстояние от внешнего края колец до центра планеты составляет, по сравнению с размером планеты, одну и ту же величину, равную приблизительно двум радиусам планеты. Отличие колец Сатурна состоит в том, что они очень яркие — отражают около 40% падающего на них света, и, по-видимому, состоят из глыб, покрытых льдом. Кольца Урана очень темные, отражают не более 5% света (подобная яркость характерна для наиболее темных участков лунных морей).

Повторные наблюдения колец Урана при затмениях ими звезд показали, что внешнее кольцо ϵ прецессирует относительно планеты. В 1978 г. К. Мэтьюс и Дж. Нойгенбауэр (Калифорнийский технологический институт, США) впервые получили непосред-

¹ Кольца Урана были открыты 10 марта 1977 г. сразу несколькими группами наблюдателей в разных странах. См.: «Природа», 1977, № 10, с. 151.



Система колец Урана. Кольца, расположенные в плоскости экватора, почти вертикальны относительно плоскости орбиты, поскольку плоскость экватора наклонена к плоскости орбиты на 98° и Уран движется вокруг Солнца, «лежа на боку». Кольца по яркости уступают планете, так как Уран отражает 66% падающего на него света, а кольца — не более 5%.



Широкие кольца Урана (A, B, C, D), выделенные индийскими астрономами. Положение ближнего к планете края внутреннего кольца D точно не установлено. Цветными полосами показаны наиболее плотные узкие кольца β , γ , δ и ϵ . Линия со стрелкой — видимый путь звезды SAO 158687 во время затмения ее кольцами Урана 10 марта 1977 г. Кольцо B оптически менее плотное, чем остальные, однако границы его достаточно четкие.

ственное изображение кольца вокруг Урана путем сканирования планеты на длинах волн 2,2 и 1,6 мкм. На первой из этих волн было получено изображение планеты и кольца, а на второй — только кольца. Затем из первого изображения «вычли» второе и получили изображение собственно кольца. Обнаруженная при этом эллиптичность и различная ширина кольца позволили П. Голдричу (Калифорнийский технологический институт, США) вычислить прецессию этого кольца ($1,374^\circ$ в день) и на ее основе определить период вращения Урана вокруг оси, который оказался равным 15 ч (ранее имевшиеся оценки давали разброс от 11 до 24 ч). Открытие колец Урана развело уникальность колец Сатурна и поставило вопрос о поиске колец вокруг других планет-гигантов — Юпитера и Нептуна.

По материалам журналов: «Nature», 1977, v. 267, № 5609, p. 328—332; v. 270, № 5637, p. 503—506 (Великобритания); «Science News», 1978, v. 114, № 20, p. 32 (США); «Astronomical Journal», 1978, v. 83, № 8, p. 980—998 (США).

Физика

Лазерный нагрев в химической кинетике

Свойства химических лазеров как мощных источников монохроматического излучения уже нашли широкое применение в химии. Но воздействие лазерного излучения на вещество может иметь и термический характер. Так, энергия CO_2 -лазера, дающего достаточно длительный импульс ($\sim 10^{-2}$ с) или работающего в непрерывном режиме, использовалась для возбуждения термических реакций в газовой фазе. Лазерный нагрев, существенно отличающийся от обычного нагрева локальностью горячей зоны (где температура поднимается выше 1000 К), позволяет проводить химические реакции в строго гомогенных условиях, исключая побочные гетерогенные стадии

химических процессов на поверхностях аппаратов, которые при таком способе нагрева остаются практически холодными. Эта особенность лазерного нагрева лежит в основе разработанного в Институте химической кинетики и горения СО АН СССР (Новосибирск) метода проведения и исследования гомогенных реакций с использованием непрерывного CO_2 -лазера. Метод применим для молекулярных, радикальных и цепных реакций.

При его разработке пришлось преодолеть ряд трудностей. Одна из них связана с тем, что далеко не все вещества поглощают излучение CO_2 -лазера; кроме того, поглощающие вещества в процессе работы обычно претерпевают химические изменения, а следовательно расходуются, поэтому в реакторе с лазерным нагревом непрерывно меняются условия поглощения и температура. Чтобы избежать от неустойчивости в работе реактора и сделать метод универсальным, в зону действия лазерного луча, кроме реагентов, вводили смесь буферного газа (аргона) и газа-нагревателя. Эффективным газом-нагревателем оказался гексафторид серы. Он обладает рекордным коэффициентом поглощения излучения CO_2 -лазера, кроме того, этот газ термически устойчив (до 1500 К) и химически инертен. С помощью смеси газа-нагревателя с буферным газом осуществляется поглощение энергии излучения лазера и превращение ее в тепловую, иницирующую химическое взаимодействие реагентов.

При решении сложной задачи измерения температуры в реакторе использован метод сравнения скорости исследуемой реакции со скоростью другой гомогенной реакции, хорошо изученной в широком интервале температур; реакция сравнения играет роль «химического термометра», учитывающего все неопределенности температурного поля в реакторе.

Новый метод был применен для изучения реакций термического распада нитрометана, формальдегида, мети-

лового спирта и муравьиной кислоты. С его помощью было показано, что при обычном нагреве смеси пентафторида бензола с бромом в результате гетерогенных процессов образуются побочные продукты; локальный лазерный нагрев дает только NBг и $\text{C}_6\text{F}_5\text{Br}$.

«Кинетика и катализ», 1979, т. 20, № 1, с. 17.

Физика

Получен сверхпроводящий ксенон

Е. Н. Яковлев, Ю. А. Тимофеев, Б. В. Виноградов (Институт физики высоких давлений АН СССР) сообщили о получении металлического ксенона и его переходе в сверхпроводящее состояние при давлении 300—400 кбар и температуре 6,8 К. Это наибольшее значение критической температуры в условиях данного эксперимента, оно соответствует току через образец ~ 100 мкА.

Диаметр камеры сжатия равнялся 4 мм. Наковальни, изготовленные из искусственных непрозрачных алмазов типа карбонадо, были одна плоской, другая — конусом с закругленной вершиной. Поскольку непрозрачность наковален не позволяла определять площадь сжатой части образца, давление можно было оценить лишь по порядку величины.

После предварительного охлаждения пресса и наковален до температуры ниже температуры плавления ксенона (161 К), к поверхности наковален через подогреваемый капилляр был подведен газообразный ксенон, который осаждался в виде тонкого слоя твердого вещества.

Металлизация ксенона фиксировалась по падению электрического сопротивления цепи «наковальни — изоляция наковален — твердый ксенон»: от $\sim 10^7$ Ом в отсутствие нагрузки на образец до 50,8 Ом при усилии сжатия ~ 90 кг.

«Письма в ЖЭТФ», 1979, т. 29, вып. 7, с. 400.

Физика

Ускорение капель электронно-дырочной жидкости фоновым ветром

Дж. Долер и Дж. Уорлок («Бэлл лабораториз», Холмдел, США) выполнили эксперимент, прямо показавший, что движение капель электронно-дырочной жидкости в полупроводнике германия происходит за счет их увлечения потоками неравновесных фононов («фононного ветра»), излучаемых при не прямых переходах электронов и дырок в этой жидкости. Впервые на существование такого физического механизма указал Л. В. Келдыш¹.

В зависимости от вида зонной структуры полупроводника экситоны бывают прямыми и непрямыми. Прямые экситоны возникают, когда минимум зоны проводимости и максимум валентной зоны (по отношению к энергии электрона) находятся в одной и той же точке зоны Бриллюэна. Непрямые экситоны возбуждаются, когда минимумы и максимумы этих зон разнесены в пространстве квазиимпульсов. Именно такая ситуация имеет место в германии: минимум энергии дырок в валентной зоне расположен в точке $k=0$, а минимум энергии электронов в зоне проводимости — на границе зоны Бриллюэна, т. е. в точке $k \sim 1/a$ (a — постоянная решетки). Электрон и дырка, составляющие не прямой экситон, могут рекомбинировать, совершая так называемый не прямой переход. Закон сохранения импульса удовлетворяется за счет излучения фонона с квазиимпульсом $\hbar k_0$. Поскольку прямой переход с излучением фотона в таких экситонах запрещен законом



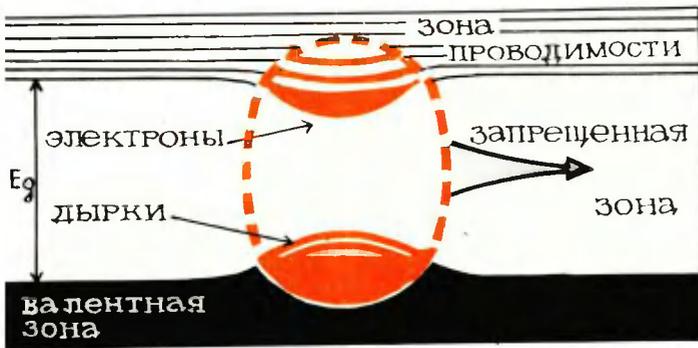
Схема непрямого перехода в электронно-дырочной жидкости полупроводника германия. При таком переходе излучается фонон с импульсом $\hbar k_0$ ($k_0 = 1/a$, где a — постоянная решетки в германии). Стрелка показывает направление перехода.

сохранения импульса, то их время жизни на 2—3 порядка больше времени жизни прямых экситонов. Это приводит к тому, что образование электронно-дырочной жидкости происходит в полупроводниках с непрямыми переходами.

Из-за непрерывных безызлучательных не прямых переходов, происходящих внутри электронно-дырочной капли, эти капли в германии являются источником неравновесных фононов с импульсом $\sim \hbar k_0$ и интенсивностью тем большей, чем выше температура капли. Взаимодействие таких фононов с другими типами колебаний кристаллической решетки приводит к возбуждению в ней всего спектра неравновесных фононов, импульс которых может принимать значения от $\sim \hbar k_0$ до 0, т. е. к образованию «фононного ветра».

Действие «фононного ветра» сводится к двум эффектам. Во-первых, между отдельными элементарными объемами капли возникают внутренние силы отталкивания, как если бы капля была равномерно заряжена по объему. Эти силы имеют «реактивную» природу и возникают в результате обмена фононами, излучаемыми одним элементарным объемом капли и поглощаемыми другим. Такое ра-

¹ Келдыш Л. В. — В сб.: Экситоны в полупроводниках. М., 1971; Келдыш Л. В. — «Письма в ЖЭТФ», 1975, т. 21, № 10, с. 582; 1976, т. 23, № 2, с. 100.



Увеличение электронно-дырочной капли упругой волной сжатия (стрелкой показано направление распространения волны). Бегущей по решетке полупроводника волне упругих сжатий соответствует волна деформационного потенциала, одинаково взаимодействующая со всеми электронами и дырками капли, если длина волны больше размеров капли. E_g — величина запрещенной зоны в германии.

сталкивание определяет, в частности, максимальный размер капель: капель с радиусом, большим некоторого предельного, становится неустойчивой и рассыпается на более мелкие.

Во-вторых, когда с каплей взаимодействует распространяющаяся по кристаллу упругая волна с длиной, превышающей размеры капли, последняя увлекается этой волной как целое. В конечном счете, электронно-дырочные капли движутся в направлении «фононного ветра», создающего в данном случае внешнюю силу.

Эксперимент, проведенный Долером и Уорлоком, проверил вывод теории, согласно которому нагрев капли, увеличивая ее внутреннюю энергию, должен усиливать «фононный ветер», а следовательно и скорость капель. Опыт проводился со сверхчистым монокристаллом германия (плотность атомов примесей $\sim 3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$), находившимся в кристате при температуре 2 К. Капли электронно-дырочной жидкости возбуждались светом лазера

с длиной волны 1,06 мкм и мощностью 50 мВт. Скорость их движения определялась по доплеровскому сдвигу частот рассеянного каплями света He-Arg-лазера ($\lambda = 3,39 \text{ мкм}$). Капли нагревались светом лазера с длиной волны 2,2 мкм и мощностью 100 Вт/см².

Согласно результатам эксперимента, средняя скорость капель возрастала на 40 см/с при мощности греющего излучения $\sim 100 \text{ Вт/см}^2$. Их температура поднималась на 1—20 миллиградусов. Наблюдавшийся «фононный ветер» действовал в основном в направлении $\langle 111 \rangle$, т. е. в направлении разности экстремумов зоны проводимости и валентной зоны. Полученные данные показали, что наблюдаемый эффект согласуется с теорией Келдыша и не может быть объяснен радиационным давлением.

«Physical Review Letters», 1978, v. 41, № 14, p. 980 (США).

Физика

Быстрые магнитные «пузырьки»

Специалисты фирм «Philips Research Laboratories» (Нидерланды) и «IBM Research Division» (США) нашли способ получения малых, с диаметром до 0,4 мкм, магнитных «пузырьков», скорость перемещения которых в магнитной пленке может достигать 500 м/с.

Магнитный пузырьек¹ — это цилиндрический домен, вектор намагниченности которого ориентирован противоположно направлению «легкого» намагничивания магнитной пленки (последнее обычно перпендикулярно к поверхности пленки). Пузырек образуется, когда величина внешнего магнитного поля, перпендикулярного к поверхности магнитного слоя и параллельного направлению легкого намагничивания, превышает определенное значение. Магнитные пузырьки, используемые в качестве переносчиков информации в системах памяти ЭВМ, можно перемещать вдоль магнитного слоя с помощью вращающегося магнитного поля, параллельного поверхности слоя. Скорость вращения этого поля, определяющая быстроедействие памяти ЭВМ, ограничивается предельной скоростью движения пузырьков (обычно, это величина порядка нескольких метров в секунду).

Столь малые и подвижные пузырьки были найдены в ходе большого числа экспериментов с различными комбинациями магнитных пленок, подложек для них и взаимной ориентацией их структур. Было обнаружено, что самые маленькие пузырьки $\sim 0,4 \text{ мкм}$ получаются в пленках из галлий — самариевого граната, а несколько большие, но и с большей подвижностью — в галлий — европиевом гранате (средний диаметр $\sim 3 \text{ мкм}$).

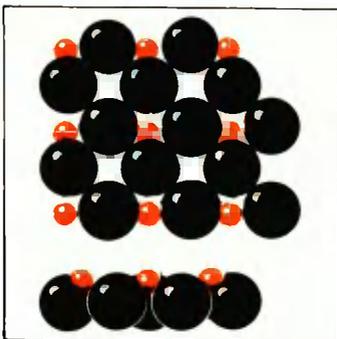
Кроме того, было обнаружено, что скорость перемещения пузырьков увеличивается в 30—100 раз при использовании магнитного слоя с внутренней ромбической анизотропией. Анизотропия создавалась в слоях железного граната, содержащего марганец, европий или лютеций и наносимого на кристаллографическую поверхность (100) монокристалла немагнитного галлий — гадолиниевого граната. Постоянные кристаллических решеток подложки и слоя несколько отличались.

¹ Лисовский Ф. В. Память на магнитных пузырьках. — «Природа», 1974, № 10.

чались друг от друга. Это привело к перестройке структуры последнего с образованием элементарных ячеек в форме параллелепипедов, ориентация которых (по отношению к решетке подложки) зависит от вещества и разницы постоянных решеток. Скорость пузырьков в магнитных слоях, полученных таким способом, достигала 500 м/с и уменьшалась до 5 м/с, когда слой наносился на кристаллографическую поверхность (1 1 1) подложки.

По мнению исследователей, комбинация различных магнитных пленок и подложек позволит в широких пределах менять параметры памяти ЭВМ.

«Physics in Technology», 1978, в. 9, № 5, с. 228 (США).



Поверхностная решетка, образуемая адсорбированными атомами натрия (показаны цветом) на поверхности [001] монокристалла никеля [вид сверху и сбоку].

Физика

Поверхность твердых тел исследуется с помощью фотоэффекта

Группа английских и американских специалистов (Университет Уорвик, Великобритания, и «Белл лабораториз», Нью-Джерси, США) исследовали угловую анизотропию распределения фотоэлектронов, испускаемых глубокими электронными оболочками (атомного остова) атомов натрия и теллура под действием Р-поляризованного синхротронного излучения с энергией 60—120 эВ. Атомы натрия (или теллура) адсорбировались на поверхность (001) монокристалла никеля, образуя двумерную квадратную решетку. Синхротронное излучение падало на эту поверхность под углом 45°. Для получения углового распределения вылетающих фотоэлектронов монокристалл никеля вращался относительно кристаллической оси <001>; угол наблюдения фотоэлектронов θ был равен 30°.

Анизотропия углового распределения фотоэлектронов обусловлена взаимодействием вылетающих электронов с ад-

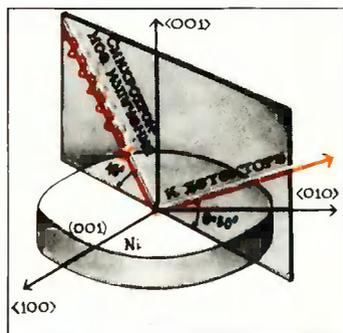


Схема эксперимента по определению угловой анизотропии фотоэлектронов, испускаемых глубокими электронными оболочками адсорбированных на поверхности (001) никеля атомов натрия (или теллура). Направления <001>, <010> и <100> — кристаллографические оси кристалла никеля.

сорбированными атомами, а также с атомами подложки, ближайшими к излучающему атому. В отсутствие внешних полей, а также из-за незначительного влияния внешних валентных оболочек облако электронов заполненных оболочек атомного остова сферически симметрично. Угловое распределение фотоэлектронов от изолированных атомов натрия и теллура должно быть

изотропным. В действительности же наличие атомов подложки и соседних адсорбированных атомов приводит к рассеянию первичной расходящейся электронной волны на этих атомах и интерференции всех волн. Пики результирующей интерференционной картины и позволяют определить положение адсорбированных атомов на поверхности.

Самая сильная анизотропия углового распределения фотоэлектронов зафиксирована для энергии падающих фотонов ~80 эВ: отношение максимальной интенсивности излучения к минимальной равнялось 1,43 для теллура и 1,31 — для натрия. Пики распределения фотоэлектронов для теллура наблюдались в направлениях <110> и <100>, а для натрия — в направлении <100>. Хотя предполагается, что адсорбированные атомы натрия и теллура занимают на поверхности одни и те же положения, направления максимумов для них различны (при одной и той же энергии фотонов). Такое различие может быть, во-первых, результатом разного расстояния между центрами адсорбированных атомов и атомов самого верхнего слоя никеля: для натрия это расстояние равно 2,23 Å, а для теллура — 1,90 Å. Во-вторых, сказывается различие начального состояния электронов атомных остовов натрия и теллура. Действительно, поскольку поглощаемый фотон вносит в атомную систему механический момент, равный $\pm\hbar$, то начальное 2p-состояние электрона в атоме натрия будет связано с двумя компонентами в расходящейся электронной волне, имеющими орбитальный момент 0 и \hbar . В случае теллура, начальное 4d-состояние будет связано с компонентами, имеющими момент \hbar и $3\hbar$.

С увеличением угла θ степень анизотропии уменьшалась, так как увеличивалась доля электронов, неупруго рассеянных на атомах подложки.

«Physical Review Letters», 1978, в. 41, № 16, с. 1130 (США).

Физика

Сверхпроводимость и антиферромагнетизм в кристаллах $DyMo_6S_8$

Группа американских и швейцарских физиков, работающих в Брукхейвенской национальной лаборатории (США), сообщила о получении одновременно сверхпроводящего и антиферромагнитного состояний в кристаллах $DyMo_6S_8$.

Оказалось, что это соединение (сверхпроводник при температуре ниже 2,05 К) при уменьшении температуры ниже 0,4 К становится также и антиферромагнетиком. Антиферромагнетизм дальнего порядка с характерным масштабом, превышающим 300 Å, создается ионами Dy^{+3} , образующими простую кубическую структуру, элементарные ячейки которой слегка растянуты вдоль одной из диагоналей куба. Как показал эксперимент, ионы Dy^{+3} в кристалле $DyMo_6S_8$ обладают магнитными моментами, равными 8,77 магнетонов Бора, ориентирующимися ниже 0,4 К то параллельно, то антипараллельно кристаллографическому направлению (111) .

Известно, что тройные соединения MMo_6X_8 , где М — редкоземельный элемент, Х — сера, селен, обладают низкой температурой сверхпроводящего перехода благодаря присутствию ионов редких земель с большими магнитными моментами. Сильное магнитное взаимодействие этих ионов противодействует образованию куперовских пар, обуславливающих возникновение сверхпроводимости. Более того, в соединении $HoMo_6S_8$ (а также $ErRh_4V_4$) при дальнейшем понижении температуры после достижения сверхпроводящего состояния происходит фазовый переход; сверхпроводимость исчезает, восстанавливается нормальная проводимость и развивается магнитное упорядочение — ферромагнетизм.

Исследование возникавшей в $DyMo_6S_8$ магнитной структуры проводилось методом дифракции быстрых нейтронов с деброявской длиной волны, равной 2,462 Å. Температу-

ра образца менялась от 4,2 до 0,05 К. При углах дифракции от 5° до 65° и температуре образца 2,05—0,4 К наблюдалось шесть дифракционных ядерных пиков, обусловленных ядерным взаимодействием нейтронов с ядрами диспрозия. При понижении температуры образца ниже 0,4 К в кристалле возникло антиферромагнитное упорядочивание магнитных моментов ионов Dy^{+3} . Эти моменты образовывали новую кристаллографическую подрешетку, в результате в дифракционной картине возникло восемь новых дополнительных пиков за счет взаимодействия моментов нейтронов с магнитными моментами ионов Dy^{+3} .

Расшифровка полученных дифракционных картин и дала вышеупомянутые результаты.

«Physical Review Letters», 1978, v. 41, № 16, p. 1133 (США).

Химия

Степень окисления берклия

Во второй половине семейства актинидов (от америция до лоуренсия) наиболее устойчивой является степень окисления 3+. Однако до сих пор не было известно, есть ли состояние 2+ у берклия, расположенного перед калифорнием. Недавно группе специалистов под руководством В. И. Спицына (Институт физической химии АН СССР) удалось это установить.

Метод регистрации двухвалентного берклия основывался на предполагаемом различии в поведении двухвалентного (Bk^{2+}) и трехвалентного (Bk^{3+}) берклия в процессах сокристаллизации. Трехвалентный берклий имеет ионный радиус, близкий к ионным радиусам Sm^{3+} и Nd^{3+} , поэтому, в отличие от двухвалентного, он кристаллизуется совместно с осадками оксихлоридов $LnOCl$ ($Ln = Sm, Nd$).

При постановке эксперимента учитывалось, что окислительные потенциалы пары Bk^{2+}/Bk^{3+} могут быть столь

низкими, что нельзя использовать для восстановления берклия не только водные растворы, но и большинство органических растворителей. Выбор пал на расплавы ди- и трихлоридов ($LnCl_3—LnCl_2—SrCl_2$), которые могут обладать наиболее низкими окислительными потенциалами.

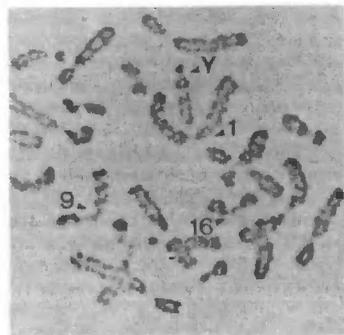
Изучение распределения берклия между твердой фазой оксихлоридов и расплавом показало, что в системах с неодимом коэффициент сокристаллизации берклия уменьшается при увеличении отношения Nd^{2+}/Nd^{3+} . Это доказывает, что здесь берклий восстанавливается и поэтому окислительный потенциал пары Bk^{2+}/Bk^{3+} несколько выше, чем пары Nd^{2+}/Nd^{3+} . В системах с самарием восстановление берклия не наблюдалось из-за высокого окислительного потенциала пары Sm^{2+}/Sm^{3+} . Таким образом, удалось установить, что берклий действительно может иметь состояние окисления 2+; устойчивость этого состояния монотонно растет от берклия к нобелию.

«Доклады АН СССР», 1979, т. 224, № 1, с. 109.

Молекулярная биология

Прямой анализ хромосом сперматозоидов человека

П. Джекобс (Гонолулу, Гавайи, США) разработал метод прямого изучения наборов хромосом в сперматозоидах



Набор хромосом сперматозоида человека, изученный методом Джекобса. Видны хромосомы 1, 9, 16 и Y.

человека, позволяющий оценить влияние на хромосомы различных факторов среды. Последнее время очень интенсивно изучаются так называемые хромосомные болезни — заболевания, обусловленные нарушениями набора хромосом во всех клетках человека. Рождение детей с хромосомными болезнями, а также ряд случаев спонтанных абортс связаны с хромосомными аномалиями в гаметах матери и отца. Однако до сих пор не имелось прямых данных о частоте таких нарушений в гаметах человека и о влиянии на нее различных факторов. Поэтому особый интерес вызвал метод Джекобса, позволяющий непосредственно изучать наборы хромосом в сперматозоидах человека.

Этот метод основан на активации сперматозоидов человека яйцеклетками золотистого хомячка. (Дело в том, что хромосомы не видны в неделящихся клетках, поэтому чтобы их увидеть, необходимо активировать клетки.) У половозрелых самок золотистого хомячка (*Mesocricetus auratus*) вызывали овуляцию путем внутривенной инъекции специальных гормонов. От одной самки удается получить по 40—50 яйцеклеток. Чтобы облегчить проникновение в яйцеклетку сперматозоидов, яйцеклетки обрабатывали трипсином, который удалял их поверхностный слой. В чашку Петри с яйцеклетками хомячка, обработанными трипсином, помещали суспензию сперматозоидов человека в питательной среде. Через 3 часа сперматозоиды проникали примерно в 75% яйцеклеток. Яйцеклетки инкубировали в питательной среде 18—20 часов, затем готовили хромосомные препараты. Для накопления клеток на стадии метафазы, во время которой наиболее удобно изучать хромосомы, в питательную среду за 6—7 часов до фиксации добавляли кальцемид. Примерно в половине яйцеклеток наблюдались отдельные наборы хромосом не только хомячка, но и человека (на один набор хромосом хомячка приходилось от одного до трех наборов человека).

Используя описанный ме-

тод, Джекобс изучал наборы хромосом в сперматозоидах двадцатитрехлетнего здорового мужчины. Удалось проанализировать наборы хромосом 60 сперматозоидов. В 31 из них содержалось по 23 хромосомы (норма), одна из которых была X-хромосомой; 26 сперматозоидов содержали по 23 хромосомы, одной из которых была Y-хромосома. Все хромосомы этих 57 сперматозоидов были нормальными. А 3 оставшихся сперматозоида обладали необычными наборами хромосом: в двух из них недоставало по одной хромосоме (в одном случае — хромосомы группы G, в другом — группы F), а в третьем имелась добавочная хромосома необычной формы.

Таким образом, в изученном случае примерно 5% сперматозоидов были ненормальными. В результате оплодотворения такими сперматозоидами нормальной яйцеклетки сформировался бы эмбрион, который либо погиб бы до рождения ребенка (спонтанный аборт), либо привел бы к рождению ребенка с хромосомной болезнью.

«Nature», 1978, v. 274,
№ 5674, p. 911—913
(Великобритания).

Медицина

Онкогенный вирус придает опухолевым клеткам устойчивость к действию химиотерапии

Сотрудники Онкологического научного центра АМН СССР обнаружили, что рост опухолей, вызванных систематическим введением под кожу хомячков химического канцерогена диметилбензантрацена, успешно приостанавливается с помощью метотрексата. Это химиотерапевтическое средство нарушает биосинтез пуриновых соединений — важных компонентов нуклеиновых кислот опухолевых клеток. Если же лечение метотрексатом производится после введения животным онкогенного вируса обезьян SV 40, лечебный эффект уменьшается или же вовсе отсутствует.

Авторы сообщения не дают никакого объяснения наблюдаемому феномену. Можно лишь высказать предположение, что здесь имеет место явление, сходное с вирусной трансформацией опухолевых клеток, приводящей к изменению их биохимических особенностей. Возможно, мы имеем дело с поразительным тропизмом (направленностью действия) вируса в отношении опухолевых клеток. В таком случае это одна из первых работ, открывающих совершенно новое направление в комбинированном лечении опухолей.

В то же время недавно было установлено, что онкогенный вирус мышинного лейкоза Френд усиливает цитостатическое (т. е. блокирующее деление клеток) воздействие противоопухолевого антибиотика митомидина С на экспериментальные опухоли животных. Таким образом, намечаются некоторые новые пути в поисках средств, которые позволили бы избирательно тормозить рост опухолевых клеток.

«Вопросы онкологии», 1979, т. 25,
№ 2, с. 46—47.

Зоология

Океанариум-холодильник

В океанариуме «Sea World» (Сан-Диего, Калифорния, США) содержится около 250 пингвинов, доставленных сюда из Антарктиды три года назад. Обычно продолжительность жизни этих птиц в неволе много меньше, так как они особенно страдают от непривычного тепла. Помещение для пингвинов в океанариуме (площадью всего 14×16 м), по существу, представляет собой холодильник, в котором постоянно поддерживается отрицательная температура. Часть этого помещения занята двумя полузамерзшими бассейнами, часть — покрытой льдом «сушей».

Основная задача вольера-холодильника — служить базой изучения пингвинов, которое ведется Институтом исследования моря им. Хаббса,

также находящимся в Сан-Диего. В океанариуме получены интересные результаты. Впервые удалось добиться размножения пингвинов в неволе. Существенную роль здесь сыграла система регулирования освещения, имитирующая полярную ночь и полярный день; кроме того, из Антарктиды было доставлено около 250 кг камней, из которых пингвины строят гнезда.

Первые 14 пингвинов Адели (*Pygoscelis adeliae*), зачатые в неволе, вылупились из яиц в декабре 1977 — январе 1978 г. и ныне уже стали взрослыми. Помимо 180 мелких пингвинов Адели здесь содержатся 70 представителей самых крупных — императорских пингвинов (*Aptenodytes forsteri*), рост которых достигает 90 см, а вес 45 кг. Отношения между двумя этими видами можно назвать вполне мирными: «разногласия» возникают лишь в случаях, когда императорские пингвины, повинувшись материнскому инстинкту, делают попытки «усыновить» птенцов пингвинов Адели.

В перспективе предполагается расширить помещение и усовершенствовать условия обитания в нем пингвинов — создать холмистый остров, покрытый льдом, окружить его круглым бассейном, который позволит птицам разгоняться до привычных им скоростей; с помощью воздуходувного устройства вызывать «метели» с почти ураганным ветром и т. п. 1.

«The Polar Times», 1978, № 87, р. 3 (США).

Зоология

Новый орган чувств у гусениц

У гусениц капустной совы (*Varathra brassicae*), широ-

ко распространенного вредителя культурных растений, швейцарский энтомолог Ю. Тауц обнаружил не описанный ранее орган чувств. Он состоит из восьми специализированных чувствительных волосков, расположенных на трех грудных сегментах. Каждый волосок связан с чувствительной клеткой. Проведя соответствующие опыты, Тауц выяснил, что эти волоски очень восприимчивы к незначительным колебаниям воздуха, особенно в области 100—400 Гц. При слабой вибрации воздуха ползающие гусеницы внезапно застывают на месте, принимая характерную защитную позу.

Электрофизиологические исследования позволили установить, что раздражения, возникающие при колебаниях воздуха, передаются волосками чувствительным клеткам. Они, в свою очередь, посылают импульс в центральную нервную систему, сигналы которой воспринимает мускулатура. В результате гусеница проявляет защитную реакцию.

Тауц предполагает, что с помощью чувствительных волосков гусеница заблаговременно улавливает появление врага (хищных ос или паразитических мух-тахин, откладывающих яйца в гусеницах) по его «гудению» в полете. Для проверки этого предположения проводился специальный опыт, в котором участвовали рабочие осы *Delichovespula media* и две группы гусениц — нормальные и лишённые чувствительных волосков. В первой группе гусениц потери оказались меньше на 30%.

«Umschau», 1978, Bd. 78, H. 21, S. 673—674 (ФРГ).

Этология

Собаки «охраняют» птиц

Датский зоолог Х. Мельтофте наблюдал вблизи Денборга на северо-востоке Гренландии, где он исследовал жизнь гнездовья гаг (*Somateria mollissima*), необычный случай сосуществования пернатых с собаками.

Исследователь отметил, что рядом с гнездовьем каждую весну жители привязывали ненужных им в теплое время года ездовых собак. Близость лаек, чрезвычайно агрессивных по отношению ко всему живому, отпугивала различных хищников, главным образом песцов — основного врага пернатых, особенно во время насиживания яиц и выведения птенцов. Весенний период наиболее труден для гаг: в течение 26 суток, пока самка сидит на яйцах, она обычно остается без пищи и лишь на короткое время покидает гнездо, чтобы попить и искупаться в ближайшем водоеме. Поэтому многие колонии птиц располагаются на мелких островках, где пребывание наземных хищников менее вероятно. Покидая гнездо в спокойной обстановке, самка укрывает яйца пухом; если же птицу испугнули, она все же, как правило, успевает обрызгать яйца пометом, чтобы сделать их «непривлекательными».

Соседство собак имеет для вида не только положительные, но и отрицательные последствия: в среднем лайки уничтожают за год до 90 гаг; это происходит или при низком пролете птицы, или в случае, когда та или иная собака сорвется с привязи.

Отвечая на неизбежный вопрос, почему гаги терпят инстинктивный страх перед собаками и селятся вплотную к ним, зоолог высказывает предположение, что привязанная, а потому малоподвижная собака лишается в глазах гаги главного отличительного свойства всякого хищника.

Несмотря на близость собак (или именно благодаря ей) средние размеры выводков гаг в Денборге много выше, чем в любой другой их колонии; процент успешного высидения яиц — тоже. Если в 1955 г. здесь насчитывалось всего две гнездящиеся пары, то спустя 20 лет их численность достигла уже 1300 пар. Таким образом, потери от такого соседства значительно уступают выгодам.

«New Scientist», 1978, v. 81, № 1136, p. 23 (Великобритания).

1 В 1979 г. экспедиционный отряд океанариума и Института им. Хаббса вновь побывал в Антарктике с целью пополнения видов в коллекции океанариума. — Прим. ред.

МВБ Охрана природы

Джейран в Азербайджане: надежды на спасение

В прошлом джейран был неотъемлемой частью ландшафта Куро-Араксинской низменности Восточного Закавказья; многочисленные табунки этих грациозных газелей оживляли Мильские, Муганские, Ширванские пустынные степи; плотно населен был джейранами и небольшой участок их ареала у юго-восточных предгорий Кавказского хребта — в Кабристане. Еще в середине 20-х годов в Закавказье обитало около 40 тыс. джейранов. Однако в дальнейшем в связи с сельскохозяйственным освоением Куро-Араксинской низменности, а также из-за браконьерской охоты с автомашин численность и ареал джейрана стали быстро сокращаться. Уже в середине 30-х годов в закавказской части ареала насчитывалось всего около 8 тыс. газелей; к 50-м годам их число сократилось еще вдвое, хотя уже существовал полный запрет охоты. Материалы авиачетов¹, проведенных Институтом зоологии АН Азербайджана в 1960 г., свидетельствовали о катастрофическом положении: в Ширванской степи был обнаружен всего 131 джейран; из них 77 держались в прибрежной пересеченной местности в районе м. Бяндован, где их не могли преследовать браконьеры на автомашинах; в других местах были встречены лишь одиночки или маленькие табунки, а всего в Закавказье оставалось около 180 джейранов. Казалось, их судьба предрешена. Однако правительство и общественность республики приняли самые энергичные меры для спасения этого замечательного животного, образ которого издавна вошел в фольклор, олицетворяя грацию и красоту.

¹ Сафаров М. А. Результаты учета с самолета численности джейрана в Азербайджане. — «Изв. АН Азерб., сер. биол.», 1961, № 8.



Джейраны в Ширванской степи. Фото Ю. М. Горелова.

В 1961 г. в Ширванской степи был создан заказник; организованы также Карчайский и Шамхорский заказники в Кировабадском районе; в 1969 г. создан Апшеронский заказник-питомник, куда завезли 16 джейранов с о-ва Булла, а часть Ширванского заказника преобразована в заповедник. Сыграли свою роль и ряд постановлений об усилении ответственности за браконьерство, широкая пропаганда охраны джейрана. В 1973 г., когда я вновь побывал в Азербайджане, люди уже рассказывали о появлении джейранов там, где их не встречали много лет. В Ширванском заповеднике и заказнике, например, их насчитывалось в тот год 800—900 голов, всего же в Азербайджане обитало около 1700 джейранов. Но только в 1978 г., впервые за 40 лет, удалось наблюдать этих животных мирно пасущимися у самого шоссе — джейраны утратили, наконец, страх перед человеком. Численность их достигла 3,5—4 тыс.

Успех в восстановлении джейрана несомненен, особен-

но радует резкая смена отношения человека к этому животному — случаи браконьерства, действительно, редки. В настоящее время самая большая популяция населяет Ширванскую степь (около 3 тыс. голов). Эта популяция наиболее перспективна; здесь идет успешное воспроизводство — в июне 1978 г. молодежь составляла около 80% от поголовья самок. Однако, хотя пастбища здесь в хорошем состоянии, зимнее положение джейранов вызывает тревогу в этот период основная часть поголовья держится не в заповеднике, а в прилежащем с юга Бяндованском заказнике, где джейран испытывает острую конкуренцию с овцами, выпас которых как раз разрешен в заказнике в зимнее время. Заметный урон джейранам наносят собаки; немалое значение имеет и фактор беспокойства, особенно для беременных самок. Очевидна необходимость изменить режим заказника как последнего крупного убежища джейрана в республике.

Очевидно также, что плотность популяции джейранов в Апшеронском заказнике близка к пределу, поэтому планы доведения здесь поголовья до 1000 с переводом животных на искусственную

подкормку люцерной² экологически и экономически лишены смысла. Джейранов с Шаховой косы следует расселять в подходящие заказники, например в Кабристане или в Аджинурской степи.

Профессор А. Г. Баниников
Москва



Охрана природы

Психологические аспекты охраны природы

В 1978 г. в Научном центре биологических исследований АН СССР в г. Пущине состоялся первый в нашей стране симпозиум «Охрана природы — психологические аспекты». Он был организован рабочей группой по образованию и подготовке кадров Советского комитета по программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера» и Молодежным советом по охране природы Московского государственного университета.

На симпозиуме, в соответствии с рекомендациями Межправительственной конференции по вопросам образования в области охраны окружающей среды (Тбилиси, 1977), обсуждались такие, например, проблемы: «Природа и личность», «Задачи и методы природоохранительного образования», «Охрана природы и массовые коммуникации», «Природоохранительная деятельность и ее психологическая специфика».

Превращаясь в новую форму деятельности, охрана природы становится социально значимой как по конкретным результатам экологического порядка, так и по воспитательному воздействию на сознание и поведение человека. Отсюда вытекает совокупность проблем в области природоохранительного образования и соответствующих форм

пропаганды. Было отмечено, что психологические аспекты теории охраны природы разработаны явно недостаточно, поэтому необходимы интенсивные исследования как в области теории пропаганды, так и в области практики пропаганды (создание конкретных психологических рекомендаций). Существенно важен в решении этих задач личностный подход: обращение к творческим потенциалам личности, изучение установок — отношения индивида к задачам охраны природы и к конкретным путям их решения, вовлечение его в природоохранительную деятельность, дальнейшее повышение престижа охраны природы как общественно значимой деятельности в глазах представителей различных слоев населения.

Особенно необходимо исследовать эффективность воздействия средств массовой информации и пропаганды. Нуждаются в изучении формы и методы природоохранительного образования, и в первую очередь — связанные с неформальной деятельностью молодежи (школьные лесничества, дружины по охране природы и подобные им детские экологические станции).

Рассматривался на симпозиуме, в частности, вопрос о контроле над степенью отрицательного воздействия на человека техногенных факторов. Для количественной характеристики такого воздействия может быть применено понятие степени риска (его количественное выражение получают из анализа статистики специфических заболеваний или смертности людей, подверженных действию техногенных факторов, по сравнению с остальным населением). Учет степени риска позволяет, с одной стороны, доказательно преодолевать неоправданные опасения по отношению к новой технике и технологии, а с другой — устанавливать научно обоснованные нормы и требования, предъявляемые к безопасности технических устройств и технологий.

В ходе дискуссий участники симпозиума — психологи и специалисты по охране

природы — наметили дальнейшую программу исследований, назвав в числе основных направлений, например, такие: специфика образования людей разных возрастных групп, в том числе старших; ценностные стереотипы отношения к природе; диагностика уровня риска в природоохранительной деятельности и склонности личности к риску; особенности восприятия непосредственной, отсроченной и скрытой опасности и реакции на них; анализ форм самооправдания нарушителей; эмоциональные компоненты отношения человека к природе; анализ проблемы информированности; адаптация к формам информационного воздействия; каналы воздействия на общественное мнение и ряд других.

Психологические исследования рассматривались участниками симпозиума как один из компонентов междисциплинарных исследований всей системы охраны природы, вне которой они в значительной мере утрачивают свою значимость. Поставленным целям и задачам удовлетворяет лишь организация комплексных исследовательских работ (включая эксперимент, апробацию разрабатываемых научных рекомендаций) на базе специально выбранного полигона. В качестве такого полигона участниками симпозиума предложено использовать Научный центр биологических исследований в Пущине.

А. А. Брудный,
доктор философских наук
Фрунзе

Д. Н. Кавтарадзе,
кандидат биологических наук
Москва

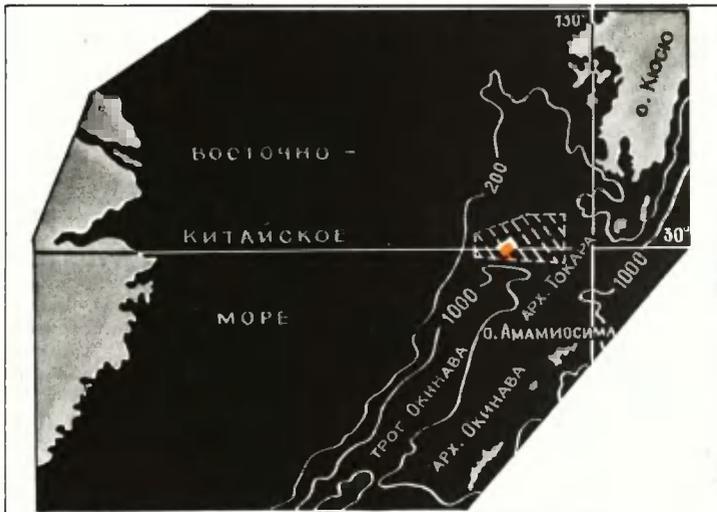
Геология

Метаморфические породы трога Окинава

Отдел геологии Тихоокеанского океанологического института ДВНЦ АН СССР проводит исследования в окраинных морях Тихого океана с целью выяснения их происхождения и геологического развития. В 1977—1978 гг., в

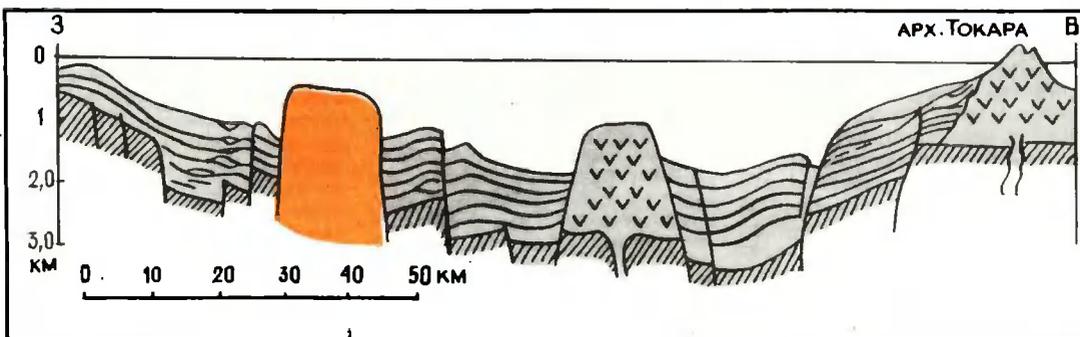
² Котляров Б. А. Разведение джейранов в Апшеронском заказнике. — В сб.: Редкие виды млекопитающих и их охрана, 1977.

Район геолого-геофизических работ научно-исследовательских судов ДВНЦ АН СССР «Первенец» в 1977—1978 гг. и «Вулканолог» в 1978 г. [показан штриховкой]; цветом обозначена безымянная подводная возвышенность с обнаруженными здесь метаморфическими породами.



Схематический геологический разрез трюга Окинава.

- слой кайнозойских осадков
- кайнозойские вулканические породы
- метаморфические породы
- докайнозойский консолидированный фундамент



28-м и 30-м рейсах научно-исследовательского судна ДВНЦ «Первенец», мы изучали глубоководную часть Восточно-Китайского моря, именуемую трюгом¹ Окинава (в западной части трюга глубина достигает 900—950 м). В этом районе нами обнаружена безымянная подводная возвышенность (30°01' с. ш., 128°28' в. д.), вытянутая в северо-восточном направлении на 30 км при ширине основания 5—8 км. Ее высота над дном трюга 600—750 м; склоны крутые, свыше 35°, местами обрывистые. В центральной части возвышенности бровка склонов расположена на глубине 250—300 м, опускаясь до глубины 600—700 м в ее северо-восточном и юго-западном окончаниях. На ряде участков

вдоль подножия склонов находятся незаполненные осадками впадины глубиной до 100—150 м, которые указывают на погружение возвышенности, продолжающееся, очевидно, и в настоящее время.

По данным непрерывного сейсмического профилирования, выполненного в 1978 г. в ходе 5-го рейса научно-исследовательского судна ДВНЦ «Вулканолог», трюг Окинава заполнен слоистой слабо деформированной осадочной толщей (до 1 км и более). На границах осадочных отложений со скальными породами фундамента в ряде случаев отмечаются сбросы. Такая морфология характерна для всего изученного района.

Наиболее существенно, что в этом районе впервые обнаружены метаморфические породы. Они слагают среднюю часть безымянной возвышен-

ности на протяжении 18 км. В юго-западной и северо-восточной частях метаморфические образования перекрыты вулканогенно-осадочными и осадочными породами неогенового возраста. Эти данные были получены путем драгирования, проводившегося на 18 станциях, расположенных друг от друга на расстоянии 0,5—4 км. По составу и степени метаморфизма рассматриваемые породы подразделяются на два комплекса. Нижний комплекс (глубина 850—400 м) представлен биотитовыми, амфибол-биотитовыми гнейсами, плагиогнейсами, плагиогнейсогранитами и амфиболитами. Верхний комплекс (глубина 400—300 м) представлен биотитовыми и кварцит-мусковитовыми сланцами с прослоями мраморов.

Породы нижнего комплекса по соотношению щелоч-

¹ От нем. Трюг; буква — корыто.

ных элементов относятся к так называемой формации натриевого ряда, характерной для процесса образования геосинклинальных зон с сильным проявлением вулканизма. Существенную роль в строении этого комплекса играли вулканы основного состава, метаморфизованные в условиях амфиболитовой фации регионального метаморфизма. Сланцы верхнего комплекса являются продуктом менее сильного регионального метаморфизма (так называемой зеленосланцевой фации); это первичные обломочно-осадочные отложения (глинистые и песчано-глинистые осадки), химический состав которых указывает, что они образовались на поздней стадии геосинклинального развития.

В пределах островной дуги Рюкю преобладают вулканические породы и гранитоиды относительно молодого возраста (25 млн лет и менее). Аналогичные породы слагают и обследованные подводные возвышенности в тропе Окинава. Наиболее древние отложения на о-вах Рюкю имеют позднепалеозойский возраст (220—250 млн лет). Обнаруженные на безымянной возвышенности метаморфические породы позволяют предположить, что фундамент Китайской платформы простирается до о-вов Рюкю. Однако здесь остаются некоторые неясности: возраст пород нижнего и верхнего комплексов, определенный калий-аргоновым методом, указывает на их формирование в позднем палеозое; в то же время они чрезвычайно схожи с протерозойскими породами Тайгонского массива и Сино-Корейского щита. Это требует дополнительных определений возраста пород тропы Окинава другими методами, с тем чтобы окончательно решить вопрос о времени их формирования.

Е. П. Леликов,
кандидат геолого-
минералогических наук
И. И. Берсенева,
доктор геолого-
минералогических наук

Владивосток

Геология

Горючие ископаемые Тихоокеанского сегмента Земли

В конце 1978 г. вышла в свет «Карта нефтегазоносности и угленосности Тихоокеанского подвижного пояса и Тихого океана»¹. На ней обобщены новейшие в мировой геологии сведения о залежах горючих полезных ископаемых и перспективах их поиска в тихоокеанской области. Интерес к этой области исключительно велик, так как в общем балансе добычи горючих ископаемых она приобретает все большее значение: только разведанные здесь запасы нефти и конденсата превышают 40 млрд т, угля — 377 млрд т. Исследования Мирового океана, в том числе Тихого океана с его обрамлением, достигли в нашей стране большого размаха. Об этом, в частности, говорят изданные ранее «Тектоническая карта Тихоокеанского сегмента Земли»², подготовленная Геологическим институтом АН СССР и Институтом океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР, «Геологическая карта Тихоокеанского подвижного пояса и Тихого океана»³ (Мингео СССР и АН СССР), а также представленная на XXV сессии Международного геологического конгресса в Австралии «Карта нефтегазоносных бассейнов Тихоокеанского тектонического пояса», составленная Ю. М. Пушаровским, Б. А. Соколовым и ав-

тором этого сообщения, и другие материалы.

Тихий океан и обрамляющий его тектонический пояс — самые крупные геологические структуры на планете, поэтому охватить такой суперрегион единым взглядом весьма сложно. В новой работе, безусловно, ценным является единый генетический подход авторов к закономерностям распространения угля, нефти и углеводородных газов, которые в широком смысле связаны единством происхождения. За методическую основу при рассмотрении нефтегазо- и угленосности авторы приняли представление об осадочных бассейнах (участках земной коры, испытавших прогибание), в которых накопились огромные толщи осадочных пород.

На карте показаны осадочные бассейны разных типов, встречающиеся на периферии океана (заметим, однако, что не всегда отнесение авторами бассейнов к тому или иному типу оказывается бесспорным, например в новозеландском районе). Особый интерес представляют бассейны, расположенные в переходной зоне от континента к океану: здесь блоки земной коры, по строению характерные как для континентов, так и для океанов, «переплетены» между собой, а роль вулканических процессов повышена. В этих условиях в наиболее близкую к нам кайнозойскую эру сформировались бассейны, осадочные породы в которых отличаются очень большой мощностью и часто специфическим составом, отражающим влияние вулканизма. Такие бассейны лежат в краевых морях (Беринговом, Охотском, Японском, Восточно-Китайском и т. д.). Именно с этими бассейнами связано большинство залежей горючих ископаемых. Поэтому вряд ли можно признать обоснованными выводы авторов, будто наиболее перспективны бассейны, образовавшиеся на океанических окраинах в мезозое.

¹ Нефтегазоносность и угленосность Тихоокеанского подвижного пояса и Тихого океана. Масштаб 1:1000000. М., 1978; Объяснительная записка к карте. Науч. ред. Н. А. Еременко, Л. И. Красный. М., 1978.

² Тектоническая карта Тихоокеанского сегмента Земли. Ред. Ю. М. Пушаровский, Г. Б. Удинцев. М., 1970.

³ Геологическая карта Тихоокеанского подвижного пояса и Тихого океана. Ред. Л. И. Красный. М., 1970.

⁴ Abstracts of the XXV Intern. Geol. Congr. Canberra, 1976.

При анализе нефтегазоносности авторы подчеркивают ряд важных обстоятельств, среди которых особо следует отметить два. Распределение плотности запасов углеводородов (т. е. количества углеводородов на 1 км²) показывает, что наибольшие их величины характерны для бассейнов с максимальной мощностью (можно добавить — и максимальной скоростью прогибания). Однако в случае глубоководных морских бассейнов основное значение имеет не общая мощность осадков, а толщина слоя в достаточной степени уплотненных осадков. С другой стороны, очень важен учет их состава, так как иногда именно сам состав осадков обеспечивает уникальные по объему запасы, как, например, в калифорнийских бассейнах: 7—8 млн т/км².

Проведя сравнительный анализ бассейнов в различных тектонических условиях, авторы заключают, что ресурсы углеводородов в Тихоокеанском поясе, в том числе у нас на востоке, не только не освоены, но еще далеко не выявлены.

Систематизация авторами данных по угленосности показала, что с приближением к Тихому океану угленосные, толщи имеют все более молодой возраст. Концентрация близких по возрасту угленосных провинций позволяет выделить крупные ареалы их распространения — мегапровинции; они представляют собой планетарные образования, генетически связанные с климатическими и ботаническими геоэонами прошедших геологических эпох, во время которых существовали наилучшие условия для образования углей. Если распространение разновозрастных угольных провинций главным образом зависит от особенностей палеогеографической обстановки, то степень «метаморфизма» (иначе говоря — марки углей) определяется динамикой литосферы. Именно динамика литосферы — этот ведущий фактор — определяет как условия накопления, так и условия преобразования исходного материала, дающего начало горючим ископаемым.

Проведенное научное исследование в целом имеет не только теоретическое, но и большое практическое значение, так как ориентирует на выбор основных направлений геолого-поисковых работ.

Ю. К. Бурлин,
доктор геолого-минералогических наук
Москва

Минералогия

Псевдоморфозы кальцита

В районе р. Умотки, притока Нижней Тунгуски (Сибирская платформа), среди вулканогенно-осадочных пород раннего триаса, сильно измененных минерализованными горячими водными растворами, геологи Иркутского геологического управления обнаружили фарфоровидные образования, генетическая природа и минеральный состав которых оставались неопознанными. Выполненное автором исследование показало, что это псев-

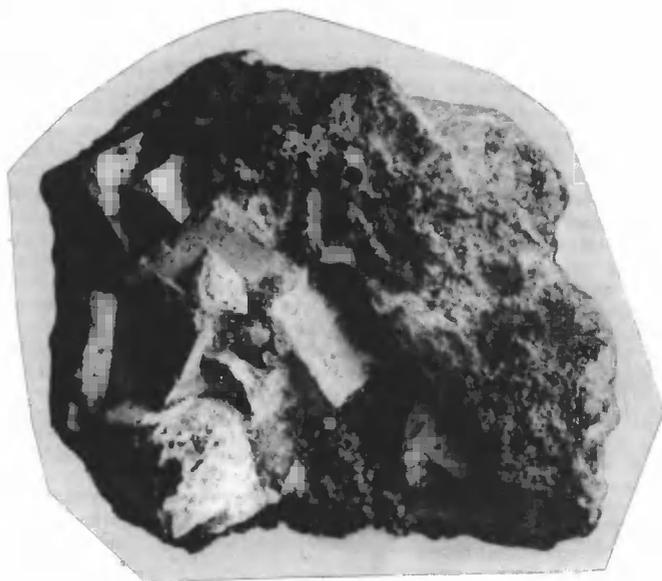
доморфозы¹ кальцита (CaCO₃), нигде ранее не описанные. Они имеют необычную, совершенно несвойственную этому минералу форму правильных кубиков с высотой ребра 1—2 см.

Удивительная способность псевдоморфоз наследовать тончайшие детали структуры замещаемых ими минералов позволяет исследователям восстанавливать природу «вымерших минералов», читать летопись образования минералов в процессе формирования месторождений самых полезных ископаемых.

При микроскопическом изучении найденных псевдоморфоз установлено, что они имеют тонкозернистое и одновременно неравномерное зернистое строение с ориентированной веретенообразных индивидов перпендикулярно граням куба. Внутри основной массы кое-где наблюдаются стяжения бесцветного изотропного вещества, которое после растворения кубиков в соляной кислоте остается в виде белоснежного хлопьевидного осадка. Иммерсионным методом

¹ Псевдоморфоза — ложный кристалл, имеющий форму одного вещества, а химический состав — другого. См., например: Портнов А. М. Микроструктура псевдоморфоз кварца. — «Природа», 1977, № 1, с. 122.

Кусок породы с псевдоморфозами кальцита кубической формы [высота ребра кубика 1—2 см].



(путем погружения в жидкости с уже известными показателями преломления) установлено, что этот осадок изотропен, показатель преломления около 1,455. Химический анализ, выполненный О. И. Округиной, дал следующий состав (в вес. %): SiO_2 — 10,09; Fe_2O_3 — 0,21; FeO — 0,37; CaO — 48,19; MgO — 0,63; Na_2O — 0,04; K_2O — 0,01; H_2O — 0,20; потери при прокаливании — 39,77; сумма — 99,51. TiO_2 , Al_2O_3 , MnO , P_2O_5 — не обнаружены. Сделанная А. Н. Сажоныхим рентгенограмма образца содержит отражения, принадлежащие только кальциту; на рентгенограмме нерастворимого остатка в области углов 20 — 25° отмечается интенсивное гало. Появление гало может быть объяснено присутствием в составе псевдоморфоз, наряду с кальцитом, тонко рассеянного аморфного кремнезема (опала).

Первичным минералом при образовании псевдоморфоз кальцита скорее всего был галит, или каменная соль (NaCl). Путем заполнения пустот, возникших при растворении этого минерала, и образовались псевдоморфозы кальцита. Это предположение основано на широком распространении каменной соли в ряде месторождений Ангарской железорудной провинции (Нерюндинском, Коршуновском и др.), расположенных в южной части Сибирской платформы. Здесь скопления крупных кристаллов галита заполняют трещины и пустоты в магнетитовых рудах, скарнах (породах, состоящих из граната, пироксена и других известково-железистых силикатов) и прочих околорудных породах. Источником Na и Cl для образования галита служили древние (кембрийские) соленосные отложения, залегающие в основании осадочного чехла Сибирской платформы².

В последние годы на глубоких горизонтах железорудных месторождений выявлены

руды, в которых галит — единственный нерудный минерал, занимающий до 50% их общего объема. Не исключено, что происхождение таких необычных по минеральному составу руд связано уже с замещением пластов каменной соли. Галит-магнетитовые руды — уникальное явление в природе. Кроме Сибирской платформы, по крайней мере в скарновых месторождениях, они ни в каком другом районе мира не известны.

Находка псевдоморфоз кальцита по галиту в бассейне Нижней Тунгуски служит указанием на широкое распространение галита не только в магнетитовых месторождениях Ангарской железорудной провинции, но и в скарново-рудных зонах других районов Сибирской платформы. Присутствие псевдоморфоз кальцита по галиту служит также важным показателем той физико-химической обстановки образования минералов (исключительно высокая концентрация хлористого натрия в гидротермальных растворах), которая предшествовала кристаллизации кальцита и других наиболее поздних минералов.

В. А. Вахрушев,
доктор геолого-минералогических наук
Гомель

Океанология

Термальные воды в районе рифта Галапагос

В районе рифта Галапагос, образующего границу между плитами Кокос на севере и Наска на юге¹, обнаружены значительные выходы термальных вод в океан через скважины естественного происхождения в молодой океанической коре. Группа американских специалистов (Орегонский университет, Вудсхолский океанографический институт, Скриппсовский институт океанографии) в 1976 г. начала широкие работы по исследова-

нию этих геотермальных источников с помощью научно-исследовательского судна «Кнор» и подводного обитаемого аппарата «Алвин».

Был подробно изучен участок дна площадью 10 квадратных миль: брались геологические, химические и биологические пробы, были сделаны многочисленные подводные фотографии. Установлено, что температура воды из геотермальных скважин на 15° выше температуры придонных вод. В биологических сборах, проведенных в районе выхода геотермальных вод, обнаружены крабы, моллюски типа морских блюдечек, двустворчатые моллюски, погонофоры и др.

Обобщение громадного фактического материала позволило исследователям сделать некоторые предварительные выводы.

Вода гидротермальных скважин содержит сероводород, что приводит к крайне низким концентрациям кадмия, меди, железа, никеля, цинка, поскольку они могут выпадать в осадок как устойчивые сульфиды. В то же время, в этих водах велико содержание марганца.

Линейное соотношение между содержанием кремния и температурой воды в пробах заставляет предположить, что выходы из скважин являются смесью донных вод и гидротермального потока, окончательно формирующегося при взаимодействии с породой при температуре около 300°C .

По мнению исследователей, конвективный расход тепла, осуществляемый путем гидротермальной циркуляции с наибольшей интенсивностью вдоль осей океанических хребтов, является определяющим в процессе охлаждения Земли. Так, средний тепловой поток в исследуемом районе океана (по данным 400 станций) оказался равным $7 \text{ кал/см}^2\cdot\text{с}$. Это примерно одна треть от величин, рассчитанной по конвективной модели. Можно считать, что две трети тепла, поступающего в океан по срединно-океаническим хребтам, передается за счет гидротермальных процессов.

² Вахрушев В. А., Воробьев Е. И. Каменная соль в кимберлитах и рудах. — «Природа», 1976, № 3.

¹ «Природа», 1978, № 8, с. 143.

Подробная подводная фотосъемка с помощью специальной камеры помогла построить геологическую карту, в которой четко выделяются пять различных типов базальтов; разделение на типы проведено по их геоморфологии, геологическому возрасту. На карте показаны разломы, области извержения, сбросовые структуры.

Предварительному изучению были подвергнуты биологические сообщества районных скважин. По фотографиям составлены карты распределения донных животных. Систематики уже изучили коллекции; выделены новые виды, роды, семейства. Микробиологическое население уникально по своему составу; высокие концентрации сероокисляющих бактерий и лабораторные измерения их продуктивности показали, что эти организмы могут поддерживать большие популяции животных, обитающих у скважин. Это ведет к основному биологическому выводу — сообщества получают энергию от геотермального тепла и, таким образом, не зависят от фотосинтеза.

«International Decade of ocean exploration», 1978, v. 7, p. 57—58 (США).

Океанология

Углеродородные газы в океане

Точно определить количественный состав индивидуальных компонентов углеводородных газов в Мировом океане достаточно трудно, поскольку они распределены в водной толще и донных осадках сложным образом, отличаются активными генетическими и реакционноспособными связями, к тому же находятся в различных состояниях — растворенном, сорбированном, свободном (пузырьковом) и твердом (кристаллогидратном). Методика газометрических исследований, которую применили А. А. Геодекян, В. Я. Троцюк, В. И. Авилов и А. М. Больша-

ков (Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР), позволяет преодолевать эти трудности.

Исследования проводились в Норвежско-Гренландском бассейне в 1976 г. во время 23-го рейса научно-исследовательского судна «Академик Курчатев». Экспедиция работала в двух районах: в южной части рифтового хребта Колбэнсей, расположенного севернее Исландии, и в зоне сочленения подводного плато Воринг и Лофотенской котловины. С помощью специально сконструированных герметичных батометров удается получать достоверные пробы с любых интервалов водной толщи, включая придонный слой, осуществлять без контакта с воздухом их дегазацию в вакууме и хроматографический анализ в судовой лаборатории. Были взяты 53 водные пробы и 31 проба грунта. На основании их анализа и сопоставления полученных результатов с имеющимися данными о содержании углеводородных газов в других акваториях, авторы пришли к следующим выводам.

В районе подводного хребта Колбэнсей содержание углеводородных газов низкое. В водной толще регистрируется только метан (при чувствительности хроматографа 10^{-6} мл/л). В донных осадках преобладают ненасыщенные соединения углеводородных газов, связанные с органическим углеродом. Периодические изменения в содержании газа указывают на прямую связь с составом осадков и содержанием C_{org} . В осадках, содержащих $C_{org} > 2,0\%$, концентрации углеводородных газов зарегистрированы на относительно высоком уровне — $50—60 \cdot 10^{-4}$ мл/кг. Все это свидетельствует о биохимической природе распространенных здесь углеводородных газов.

В зоне сочленения плато Воринг с Лофотенской котловиной содержание углеводородных газов в водной толще и в осадках повышено. Часто в водных пробах наряду с метаном присутствуют этан,

этилен, а также пропан (на уровне 10^{-6} мл/л). В осадках появляется бутан и следы пентана. Там, где толщина осадочного слоя не менее 1,5—2,0 км, содержание индивидуальных компонентов углеводородных газов закономерно нарастает сверху вниз. Можно предположить, что в общем объеме углеводородных газов присутствуют в заметных количествах компоненты, мигрировавшие из недр осадочного бассейна, где они образуются в процессе термокаталитического разрушения органического вещества.

Достаточно мощные слои океанических осадков, таким образом, могут быть вместилищем практически ценных скоплений углеводородов.

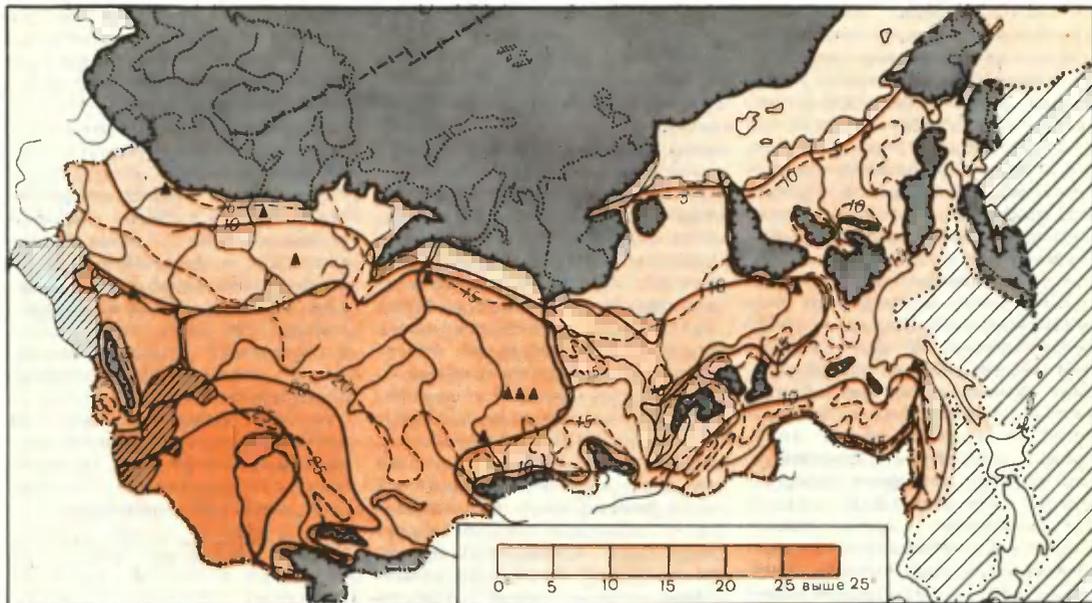
«Доклады АН СССР», 1979, т. 245, № 1, с. 223—226.

Палеогеография

Климат на территории СССР в период последнего оледенения

Т. А. Бурашникова, М. В. Муратова и И. А. Суетова (Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова) предложили определять количественные характеристики климата (средние температуры июля и января и среднегодовое количество осадков) путем математической обработки палинологических¹ данных. Этот метод основывается прежде всего на том факте, что климат существенно влияет на качественный и количественный состав растительных сообществ. Методика

¹ Оболочки пыльцы и спор, изучением которых занимается палинология, отличаются чрезвычайной стойкостью к разного рода агентам и поэтому хорошо сохраняются в ископаемом состоянии; по этим микроостаткам палеогеографы восстанавливают характер растительного покрова и климат отдаленных эпох.



Распределение средних температур июля на территории СССР.

-  изотермы 18—20 тыс. лет назад
-  современные изотермы
-  пункты отбора проб
-  ледниковые покровы и горно-ледниковые комплексы
-  океан
-  внутренние водоемы
-  береговые линии в эпоху последнего оледенения

палеоклиматических расчетов заключается в определении наиболее вероятной температуры, при которой может существовать данное растительное сообщество (восстановленное по ископаемым микроостаткам) с заданным относительным содержанием пыльцы каждого рода древесных растений в палинологическом спектре.

Авторы рассчитали средние температуры июля, января и среднегодовое коли-

чество осадков в эпоху максимума последнего оледенения на территории СССР. В основу положены данные палинологического анализа, опубликованные в литературе; в качестве дополнительных показателей использованы также некоторые данные американских исследователей², работающих по проекту КЛИМАП.

Построенная авторами относительно подробная карта позволяет по-новому судить о распределении палеотемператур в четырех крупных областях — Европейской части территории СССР, Западной Сибири, Восточной Сибири и на Дальнем Востоке.

Палеотемпературы июля в Восточной Европе 18—20 тыс. лет назад были ниже современных примерно на 5—7°C. Основная часть этой территории заключалась между изотермами +10 и +15°C. Наиболее низкая температура была в районах, непосредственно граничивших с ледниковыми покровами. Палеотемпературы января здесь были значительно ниже современных — на 12—15°C, а среднегодовое количество осадков — меньше на 100—150 мм.

Для Западной Сибири вырисовывается совершенно иная картина: июль и январь здесь были холоднее всего на 1—3°C. Количество осадков практически находилось на нынешнем уровне.

В Восточной Сибири июльские температуры были ниже в среднем на 5—6°C, а январские — на 4—5°C; авторы отмечают уменьшение среднегодового количества осадков на 100 мм.

На Дальнем Востоке, так же как и в Восточной Европе, во время максимального похолодания климат резко отличался от современного: температура июля была ниже на 6—7°C, января — на 10°C; влажность также была ниже современной на 150—200 мм.

Таким образом, анализ современных и палеоклиматических условий на территории СССР в эпоху максимума последнего оледенения прежде всего выявляет существенную температурную изменчивость, причем наибольшие климатические колебания отмечаются в периферийных областях Евразийского материка, располагавшихся ближе к границе океан — суша.

² Gates W. L. — «Science», 1976, v. 191.

«Доклады АН СССР», 1979, т. 244, № 3, с. 723—727.



Исчезающий кузнечик

В. Н. Танасичук,

кандидат биологических наук
Зоологический институт АН СССР
Ленинград

Конец лета, предгорья Северного Кавказа. Среди сухих, спутанных стеблей степных трав скользит какое-то коричневато-зеленое существо — узкое и длинное. Оно так проворно, что с первого взгляда его можно принять за ящерицу, и только когда оно останавливается и замирает, стараясь слиться с травой, можно увидеть, что это кузнечик с тонкими, чуткими усиками, длинными и зазубренными задними ногами и кривым, как сабля, яйцекладом. Но кузнечик этот необычен, его не закроешь ладонью — он великан среди кузнечиков; длина его больше десяти сантиметров. И поймать его не просто — настолько он быстр и увертлив, даром, что не имеет крыльев, а когда опасности не избежать, то он застывает, пристав на средних и задних ногах и высоко подняв передние. Это поза защиты и угрозы, и не всякий враг осмелится напасть на этого кузнечика. Его крупные, острые челюсти подобны щипцам; человек, неосторожно взявший его в руки, будет укушен — сильно, до крови — и с трудом сможет оторвать от пальца вцепившееся мертвой хваткой насекомое.

Это — степная дыбка (*Saga pedo*), одно из самых крупных прямокрылых насекомых нашей фауны и одно из самых редких. Этот кузнечик — реликт степной фауны, широко распространенный некогда в Европе и на значительной части Азии.

Первым из ученых обратил на дыбку внимание и описал ее замечательный путешественник и натуралист Петр Симон Паллас. Он считал, что

это насекомое распространено от Уральских гор и Зауралья до Яика (Урала), Волги, Дона и Крыма. Последующие исследователи дополнили его сведения; оказалось, что степная дыбка встречается от Испании, Южной Франции и Северной Италии до Западной Сибири. Кроме степной дыбки к роду *Saga* относится еще двадцать видов, из них у нас в Закавказье встречается один — *Saga erhippigea*, нередко еще более крупный, чем степная дыбка.

Степная дыбка замечательна не только своими размерами, но и тем, что среди тысяч этих кузнечиков, встречаемых энтомологами во многих местах Европы и Азии, не нашлось ни одного самца. Правда, порой появлялись сообщения о том, что самец степной дыбки все-таки найден, но после тщательного систематического анализа всегда оказывалось, что это был самец другого вида.

Таким образом, можно считать, что степные дыбки размножаются партеногенетически, откладывая неоплодотворенные яйца. Считается, что это свойство выработалось в связи с тем, что эти кузнечики живут изолированными и сильно разреженными популяциями — встреча самца и самки в них маловероятна.

Как и подобает амазонкам, степные дыбки добывают пищу охотой. И они сами, и их личинки не питаются растительной пищей, а ловят и едят насекомых. При этом охотятся они ночью, прыгая на добычу, а прыгать, благодаря длинным и сильным задним ногам, они умеют в совершенстве. Их добычей чаще всего оказываются другие прямокрылые — кобылки и кузнечики. При случае дыбка непрочь закусить и богомол, с которым легко справляется.

В итоге из всего этого, что мы знаем о степной дыбке,

создается впечатление, что это сильное, активное, хорошо приспособленное к жизненным невзгодам насекомое. Но тем не менее на протяжении нескольких последних десятилетий этот кузнечик быстро исчезает почти по всему своему ареалу.

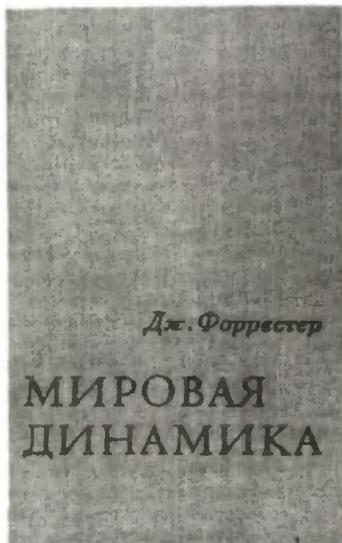
Причины этого в общих чертах известны. Главная — в том, что дыбка — обитательница степей. Степные же биоценозы в течение двадцатого века неуклонно исчезают, заменяясь агроценозами, в которых для дыбки уже не остается места. Другая причина в том, что те, обычно небольшие, участки степной растительности, которые оставались после распахивания, неоднократно подвергались воздействию ядохимикатов. Ядохимикаты оказывались и в теле жертв дыбки — прямокрылых. А известно, что хищники, питающиеся содержащей инсектициды добычей, в свою очередь сами существенно страдают от химикатов.

Конечно, люди пытаются предотвратить окончательное исчезновение степной дыбки. Во всех европейских странах, где встречается дыбка и где существуют списки охраняемых насекомых, дыбка находится под охраной. Она включена в недавно опубликованную «Красную Книгу» Украинской ССР. И когда в «Красную Книгу» Советского Союза будут включены и насекомые, дыбка окажется в числе первых кандидатов.

Меры охраны ее, в общем, несложны. Это прежде всего заповедание сохранившихся участков степей и запрет на химические обработки этих территорий. Вместе со всем комплексом степных насекомых, складывавшимся на протяжении миллионов лет, можно и должно сохранить и степную дыбку — интересное и красивое насекомое, реликт когда-то обширных евроазиатских степей.

«За следующим горизонтом человечества...»

М. В. Терентьев,
доктор физико-математических наук
Москва



Дж. Форрестер. МИРОВАЯ ДИНАМИКА. Пер. с англ. А. Н. Ворощука, С. А. Пегова. Под ред. Д. М. Гвишиани, Н. Н. Моисеева. С предисловием Д. М. Гвишиани и послесловием Н. Н. Моисеева. М., «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1978, 168 с.

Книга Дж. Форрестера впервые была издана в 1971 г. в США. Ее автор, профессор Школы управления в Массачусетском технологическом институте, известен интересными изобретениями, сделанными до войны и в первые послевоенные годы в области техники серво-механизмов, хранения числовой информации и практики управления. Позднее он занялся теорией сложных систем и сформулиро-

вал в книге «Принципы систем» (1968)¹ основы того, что сейчас называют системным анализом. Он применил эти принципы в книгах «Индустриальная динамика» (1961)², «Динамика развития города» (1970)³ и, наконец, в «Мировой динамике», книге с необычной судьбой. В ней описывается попытка построить с помощью ЭВМ модель мировой экономической системы и, основываясь на этой модели, сформулировать долгосрочные прогнозы. Методы, которые применил Дж. Форрестер, и результаты, которые он получил, вызвали интерес и возбуждение, быстро распространившиеся за пределы узкого круга специалистов. В большой степени этому способствовала популярная книга «Пределы роста»⁴, написанная по следам «Мировой динамики» учениками Дж. Форрестера и содержащая анализ результатов в очень близкой к созданной им модели.

Дж. Форрестер по-новому подошел к анализу проблем, возникших с расширением возможностей человека воздействовать на среду и появлением новых форм зависимости людей от сил внешней природы. Эти проблемы волнуют, конечно, не только специалистов в области системного анализа — и в этом причина ши-

рокой известности, которую приобрела «Мировая динамика». После нее вышло много книг и статей, посвященных комментариям и критике мировых моделей. В разных странах объединенные группы математиков и экономистов занимаются с тех пор машинным моделированием глобальных процессов. Таким образом, возникла новая область научных исследований. Поэтому сейчас нельзя не приветствовать появления русского перевода книги Дж. Форрестера и было бы неблагодарностью не оценить усилий редакции и переводчиков, осуществивших это издание. Простим им при этом некоторое излишество комментариев к тексту книги.

В американской литературе описывается интересная история создания «Мировой динамики». В 1968 г. по инициативе главы крупной итальянской фирмы Ауралио Печчен была образована группа, в которую вошли люди, обеспокоенные современными тенденциями развития мировой экономики и имеющие возможность как-то влиять на механизмы принятия решений в области экономической политики. Эти люди принадлежат к числу представителей «интеллектуальной технологии» — направлению, которое объединяет системный анализ, моделирование, теорию управления и другие методы исследования сложных процессов, основанные на применении компьютеров. За группой закрепилось название Римский клуб. Ее задачей была координация работ по прогнозированию будущего развития мировой экономической системы и выработка соответствующих рекомендаций. В поисках методологии для оценки будущих тенденций развития индустриального общества организаторы Римского клуба обратились к Джону Форрестеру. Встреча состоялась в течение нескольких дней в

¹ Forrester J. Principles of Systems. Cambridge, 1968.

² Русск. пер.: Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия (индустриальная динамика). М., 1971.

³ Русск. пер.: Форрестер Дж. Динамика развития города. М., 1974.

⁴ Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J., Behrens W. W. III. The Limits to Growth. A Report for the Club of the Rome's Project on the Predicament of Mankind. N. Y., 1972.

Берне в 1970 г., и уже в самолете, по возвращении домой в США, Дж. Форрестер приступил к составлению уравнений для его модели мировой динамики.

Книга «Мировая динамика» появилась через год. В ней содержалось исследование взаимодействий между системами, которые Дж. Форрестер считал разумным выделить при описании человеческого общества. (В дальнейшем мы расскажем о них подробнее.) Исходные данные для уравнений в своей модели Дж. Форрестер брал фактически «из головы», руководствуясь интуитивными критериями правдоподобия и условием, чтобы модель правильно описывала период с 1900 по 1970 г.

Казалось, что требуется более детальная разработка модели, которая учитывала бы аккуратней статистические данные и исторический опыт. Дж. Форрестер рекомендовал для проведения такого исследования своего коллегу Денниса Мидоуза. Клуб принял это предложение. Итогом явилась книга «Пределы роста», вышедшая в 1972 г. (Ее авторами были Доннела и Деннис Мидоузы, Йорген Рандерс и Уильям Беренс.) Кроме этой книги был выпущен «Технический отчет» с описанием системы уравнений, способов проверки и прочими деталями.

Сдержанный и трезвый стиль, в котором выдержана «Мировая динамика», не мог, конечно, произвести впечатление на массового читателя, да Дж. Форрестер и не преследовал такой цели. Но авторы «Пределы роста» видели свою миссию в другом. Их книга — призыв к общественным деятелям и экономистам, настоящая проповедь опасностей безудержного роста. Ее научное оформление — таблицы, графики, блок-схемы и прочее — все это талантливо направлено к той же миссионерской цели. Неудивительно, что книга «Пределы роста» сделалась знаменитой, а «Мировая динамика» ушла в тень, потому что популярность определяет пресса и реакция широкой публики.

На самом же деле все существенное в «Пределах роста»

идет от Дж. Форрестера; Мидоуз и другие не внесли в его модель ничего принципиально нового, а осуществленные ими отдельные уточнения вероятнее всего нужно рассматривать как превышение точности. (Если модель является грубой уже в исходных предположениях, то не имеет смысла подчищать детали.) С «Пределами роста» был связан некоторый ажиотаж, но прошли годы, страсти улеглись, и время расставляет все по местам.

Расскажем теперь подробнее о содержании и структуре книги Дж. Форрестера. Что же сделано в «Мировой динамике»?

Дж. Форрестером рассматриваются географически усредненные переманные, описывающие развитие мировой экономической системы. Вводится два типа переменных — уровни (их можно было бы назвать также подсистемами) и темпы. «Уровни — это накопители в модели. Темпы — потоки, вызывающие изменения уровней» (с. 30).

Основных уровней — пять: население, капиталовложение (фонды), природные ресурсы, часть фондов, вкладываемая в сельское хозяйство, уровень загрязнений. В окончательных результатах фигурирует также понятие «качество жизни». Автор определяет его в виде четырех множителей, учитывающих (следует сказать, весьма произвольно) уровень питания, загрязнения, материальный уровень и плотность населения. Качество жизни, так же как все прочие характеристики (за исключением населения), всегда определяется относительно уровня 1970 г., который принят за единицу.

Темпы осуществляют обратные связи в системе. Их больше, чем уровней. Существуют темпы рождаемости и смертности, темпы фондообразования и износа фондов, темп потребления природных ресурсов, темпы образования и разложения загрязнений и т. д. Знание темпов в каждый предыдущий момент позволяет с помощью численного интегрирования с шагом во времени в один год найти уровень, если задано начальное значение,

отвечающее 1970 г. Например, уровень населения в 2000 г. устанавливается по уровню 1970 г., если заданы темпы рождаемости и смертности в каждый момент между 1970 и 2000 г.

Численные значения темпов в данный момент в свою очередь определяются одним или несколькими системными уровнями — это и есть проявление обратных связей в системе. Темпы обычно задаются в относительных единицах, т. е. в виде множителей, которые определяют отклонение от «нормальных» значений, отвечающих 1970 г. Зависимость темпов от уровней представляна (часто весьма произвольно) в виде таблицы или графика. Например, для описания зависимости темпа смертности от плотности населения приводится график — плавная кривая, возрастающая от значения 0,8 до значения 3, когда плотность населения увеличивается от нуля до 5 (напомним, что плотность населения и темп смертности считаются равными единице в 1970 г.). Часто неясен источник подобных предположений, а их надежность должна, конечно, вызывать сомнения.

Но автором предусмотрена возможность изменять темпы, оставаясь в рамках заданной общей логики взаимодействия подсистем. Один из основных вопросов, которые его интересуют, состоит как раз в выяснении, какие изменения параметров являются критическими, т. е. оказывают наибольшее влияние на систему. Выбор той или иной исходной зависимости темпов, а также формулировка основных предположений о том, как части системы взаимодействуют между собой, — все это искусство, основанное на опыте и интуиции автора. Поэтому заранее очень трудно судить, насколько хорошо модель будет работать. Сам автор констатирует: «Модель описывает мировую систему, которая демонстрирует ряд альтернативных возможностей поведения. Какое поведение окажется наиболее вероятным описанием будущего, зависит от политики, которую человек

еще имеет возможность «выбрать» (с. 22).

Дж. Форрестер добивается блестящей ясности и простоты в описании механизма модели и основных результатов. Книга читается легко и свободно, как повесть, несмотря на то, что действительности представляет собой специальное исследование. Это достигается прежде всего продуманной организацией материала по главам.

В популярном введении автор объясняет понятие экспоненциального роста. Закон изменения, при котором на каждом заданном интервале времени наблюдается постоянный процент прироста, исчисляемый от уже достигнутого уровня, в математике называется экспоненциальным. Это закон взрыва и цепной реакции.

Экспоненциально изменяется население, если каждый год наблюдается, скажем, 2% прироста. При этом население удваивается каждые 35 лет. Процент прироста от миллиардов поражает воображение. Дж. Форрестер показывает, что мировая экономическая система также находится в состоянии экспоненциального роста и подходит к естественным, физическим границам. В этих условиях рост должен быстро прекратиться. Машинные модели помогают ориентироваться в новой, быстро изменяющейся ситуации. Свою задачу автор формулирует так: «В этой книге исследуется структура взаимно уравновешивающихся сил в мировом масштабе, когда рост оказывает чрезмерную нагрузку на среду» (с. 22). Сразу же, во введении, он в первом приближении обсуждает свои результаты.

Далее, в главах 2 и 3, идет постепенное восхождение от простого к сложному в описании структуры модели: основные петли обратных связей, их взаимодействие, множители темпов и пр. Здесь от читателя потребуются усилия, но вознаграждение, которое он получит, стоит того. На глазах сложная проблема начинает распадаться на простые элементы, возникает полная

ясность относительно предположений, на которых основаны исходные интуитивные представления, а выпадающие в осадок уравнения, которыми заканчивается каждый раздел, уже не кажутся чудом. Иной читатель будет разочарован этим процессом «раздвояния» и тривиализации, но именно здесь подлинная ценность всей работы и ее центр.

Главы 4 и 5 — это «игра» с моделью. Здесь выясняется, каковы возможные режимы поведения системы, какие факторы существенны, а какие нет. Специальный акцент на том, что очевидные решения не всегда удовлетворительны. Эта тема очень нравится автору, и он возвращается к ней вновь и вновь. Речь идет о том, что в сложной системе очевидная коррекция, влияющая на видимую причину затруднений, часто ухудшает ситуацию. «По-видимому, все системы имеют чувствительные точки, воздействием на которые можно улучшить их поведение. Однако ...эти точки в большинстве случаев находятся не там, где их можно ожидать» (с. 130).

Глава 6 содержит рецепт стабилизации мировой системы. «Эта глава показывает, что глобальное равновесие в принципе возможно. Будет ли оно достигнуто — вопрос другой. Предлагаемые решения приняты нелегко. Видимо, требуется более значительное воздействие окружающих условий на человечество, чтобы эти вопросы рассматривались с достаточным вниманием и серьезностью. Но к тому моменту останется еще меньше времени для действия» (с. 136).

Главу 7 (эпилог) можно было бы назвать гимном машинному моделированию, если бы присущая Дж. Форрестеру сдержанность не заставила его эту тему несколько «приземлить». И тем не менее одна из последних фраз книги как бы вырывается из-под контроля: «Мы находимся на пороге новой эры человеческих держаний. В прошлом были эпохи географических открытий. В другие периоды внимание было обращено на создание ве-

ликой литературы. Совсем недавно за горизонтом неведомого лежали наука и техника. Сейчас наука и техника стали частью обыденной жизни. Наука не есть больше неведомое нечто... Я считаю, что за следующим горизонтом человечества лежит более глубокое понимание наших социальных систем. Средства ясны...» (с. 139).

Что же предсказывает «Мировая динамика»? В стандартном варианте рост в модели тормозится из-за истощения природных ресурсов. Население достигает максимума (около 6 млрд) к 2020 г. и начинает быстро убывать, возвращаясь в конце XXI в. к уровню 1970 г.; качество жизни имело максимум где-то в районе 1950 г., а к 2020 г. ухудшится примерно в 1,5 раза; материальный уровень проходит через максимум в 1990 г., а в дальнейшем падает до уровня чуть ниже 1970 г., уровень питания практически не изменяется. В итоге первые десятилетия XXI в. оборачиваются настоящим кризисом, когда внутренние напряжения в системе начинают проявляться в сокращении населения. Основным источником этих напряжений в стандартном варианте модели, где предполагается, что основные тенденции развития, характерные для начала 70-х годов, сохраняются и в будущем, — является истощение природных ресурсов и связанный с этим быстрый рост стоимости их разработки.

Попытка уменьшить в 1970 г. скорость потребления природных ресурсов на 75% затягивает рост и приводит к тяжелым последствиям из-за накопления загрязнений. Дело в том, что искусственное сокращение потребления ресурсов при неизменных других условиях в дальнейшем компенсируется из-за взаимодействия в системе, а затягивание роста приводит к тому, что загрязнения успевают достичь критического уровня, когда процессы разложения уже перестают работать. При этом численность населения, качество жизни и другие существенные уровни системы

претерпевают катастрофическое падение в несколько раз на интервале 10—20 лет к середине XXI века. Аналогичный результат получается и при увеличении природных ресурсов.

В нереалистическом (с точки зрения автора) случае, когда снимаются всякие ограничения со стороны ресурсов и загрязнения, развитие подавляется перенаселением и сокращением годной к обработке земли. При этом качество жизни к началу XXI в. оказывается даже ниже, чем в вариантах, о которых говорилось в начале.

Особенностью описанных режимов является быстрое (в исторических масштабах времени — просто внезапное) приближение к естественным пределам роста. Все это характерно для систем, развивающихся по экспоненциальному закону. Видно также, что попытки воздействовать с помощью «грубой силы» на видимую причину затруднений действительно приводят в модели к относительному ухудшению ситуации в ближайшем будущем. Предлагаемый Дж. Форрестером оптимальный режим, при котором все характеристики мировой системы до конца XXI в. остаются примерно на уровне 1970 г., мог возникнуть в том случае, если бы одновременно были выполнены следующие условия: темп использования природных ресурсов в 1970 г. уменьшен на 75%, образование загрязнений уменьшено на 50%, фондообразование сокращено на 40%, производство питания — на 20%, темп рождаемости снижен на 20%. Но и в этом варианте природные ресурсы медленно истощаются и в далекой перспективе вызовут кризис в системе, если не будет решена проблема отходов и применения заменителей.

Как можно относиться к этим выводам? Следует ли принимать их всерьез? Отдадим себе отчет в том, что предлагаемая машинная «модель мира» весьма примитивна. Тем не менее автор книги считает, что она позволяет делать

предсказания, относящиеся не к выдуманному миру модели, а к реальной действительности. Дж. Феррестер пишет: «Непосредственный интерес представляют факторы, ограничивающие развитие и рост системы от настоящего момента до максимума и имеющийся выбор альтернативных решений. В этом смысле модель, видимо, дает разумные ответы, даже если ее выводы противоречат сегодняшним представлениям» (с. 128). Но читателю нелегко разделить эту точку зрения. Модель недостаточно убедительна, чтобы можно было сразу поверить в ее предсказательную силу. Существует более чем достаточно поводов для сомнений. Перечислим хотя бы некоторые из них.

Заметим, что качественные выводы Дж. Форрестера можно получить и без изолированного учета обратных связей. Если мы сопоставим темпы современного роста экономики и данные по запасам природных ресурсов, которые используются в модели, то получим, что дефицит по важнейшим видам сырья проявится через 50—70 лет. Если таким же способом сопоставить темпы прироста населения и пищевые ресурсы, то окажется, что продовольственный кризис возникнет тоже примерно через 50—70 лет. Именно такой интервал отделяет нас от кризиса, предсказываемого с помощью компьютера. Сложнее с оценкой роли загрязнений, но у автора нет достаточной информации о роли этого фактора, и его влияние учтено с огромным произволом. То, что предсказания модели не противоречат простым оценкам, вовсе не является недостатком. В конечном счете автор получил то, что заложил в свой компьютер. Поэтому возникает существенный вопрос: насколько надежны исходные данные, которые использует Дж. Форрестер? Но как раз здесь существуют очень большие неопределенности.

В рецензии нельзя подробно описать многочисленные попытки существенно уточнить основные результаты

Дж. Форрестера. В работах, вышедших вслед за «Мировой динамикой», такие возможности многократно обсуждались. Укажем только в качестве одного из примеров, что включение в модель факторов, учитывающих технологический прогресс, позволяет отодвинуть предсказываемый кризис в будущее, далеко за пределы применимости модели. Дело в том, что сама оценка запасов природных ресурсов или уровня опасных загрязнений зависит от развития технологии. Например, в начале XX в. нефть Тюмени или Северного моря была бы нерентабельной, а сейчас она превращается в важный и доступный источник сырья и энергии. Подобные изменения в оценках пределов возможного обязательно будут происходить и в будущем.

Уровень технологии проявляется в модели в следующем важном пункте. Дж. Форрестер считает, что стоимость экономической разработки ресурсов должна возрастать, оставаясь все время в прямой пропорции со степенью истощения. В частности, когда резервы составят 20% от уровня 1970 г., то на их извлечение потребуется 90% общего мирового капитала. Индустриальное производство в модели быстро сворачивается, когда доля затрат на разработку ресурсов приближается к единице. Но развитие технологии может в принципе изменить картину и уменьшить стоимость разработки ресурсов. Если одновременно удастся выработать эффективные способы переработки загрязнений, то это радикальным образом изменит все качественные выводы модели.

Дж. Форрестер прекрасно понимает многие недостатки своей «Мировой динамики». Он говорит: «Многие важные переменные опущены. Агрегирование переменных проведено на таком высоком уровне, что отличительные особенности между развитыми и развивающимися странами несущественны. Большинство концепций в мировой модели отражает положения и мотивы

вазии недавнего прошлого и настоящего. Поэтому в книге не учитываются возможные изменения в человеческих стремлениях, которые могут возникнуть вследствие широкого понимания затруднений, встающих перед человечеством...» (с. 11). Добавим к этому перечню, что в книге не учитывается развитие технологии, не учитываются также социальные факторы и неоднородность социальной структуры. В модель заложены принципы только капиталистической экономики. Поэтому конкретные предсказания Дж. Форрестера, возможно, являются фантазией.

И все-таки эти рассуждения (подчеркнем, что они повторяются во многих статьях и книгах) недостаточны для того, чтобы «похоронить» модель. По-видимому, «Мировая динамика» Дж. Форрестера содержит что-то очень общее и существенное, так как продолжает жить, вызывает интерес и стимулировать работу других людей. В чем же ее решающие достоинства?

Перед нами модель, основанная на ясных принципах, и нет большого порока в том, что отбор этих принципов и предположений отражает беспокойство автора, которое понятно многим — ведь нынешние тенденции развития мировой системы действительно очень тревожны. Модель служит предостережением. Обсуждавшиеся выше источники сомнений в ее корректности должны быть аккуратно проанализированы. Попытка такого анализа могла бы стать содержанием другой, более сложной модели. Пока это не сделано, трудно судить, в какую сторону изменятся результаты. Если мы можем смягчить выводы Дж. Форрестера, принимая во внимание одни обстоятельства, то, учитывая другие (например, крайнюю неоднородность в развитии разных континентов), мы увидим, что ситуация может быть даже хуже, чем в обсуждаемой модели. Довольно обычно рассматривать технологический прогресс как панацею от всех зол, но что мы знаем о нем на самом деле?

Развитие технологии требует времени, которое раньше не было ограничивающим фактором, но теперь его может не хватить.

Мы просто еще мало знаем о мире, в котором живем. В связи с этим оценка (даже с применением компьютера) далеких глобальных перспектив сейчас является действием, в котором обязательно присутствует ненаучный элемент. Здесь существенно исходная позиция автора, та система ценностей, которую он хотел бы сохранить. Именно поэтому так непримиримы в подходе к этой оценке представители разных школ, а за научной критикой математических моделей всегда скрывается нечто большее. К сожалению, и читатель, обращаясь к изучению работ по моделированию глобальных процессов, часто поступает, как дама в американском анекдоте, которая просит букингины подыскать ей книгу с объективным изложением истории Гражданской войны в Соединенных Штатах, написанную с точки зрения северянина.

Но всегда ли нам суждено оставаться в этом заколдованном круге, откуда так трудно выбраться без потерь? «Я считаю, — пишет Дж. Форрестер, — что за следующим горизонтом человечества лежит более глубокое понимание наших социальных систем». Несмотря на очевидные недостатки его «Мировой динамики», Дж. Форрестер — человек, который имеет основание это утверждать. Своей деятельностью он совершил переворот в отношении многих людей к возможностям анализа глобальных проблем мировой экономики. Нужна была большая научная смелость, чтобы, используя простейшие методы, в качестве объекта исследования брать весь земной шар, и хотя до убедительных успехов на этом пути чрезвычайно далеко, именно Дж. Форрестер сделал здесь первый шаг. Он как бы снял психологический барьер. Еще находясь в нашем заколдованном круге, он делает попытку прорвать его и опереться на что-то прочное.

Нужно подчеркнуть еще по крайней мере три обстоятельства, важные для оценки истинного значения «Мировой динамики». Первое обстоятельство имеет психологический подтекст и напоминает ситуацию, часто случающуюся в науке. Все говорят, что экспоненциальный закон роста — это исключительно важный фактор, но не идут дальше общих слов и простейших оценок. Но вот, в нужный момент, появляется человек и говорит то же самое, только более аргументированно, и это заявление становится важным этапом в истории науки.

Второе связано с основным предположением, вытекающим из модели. Выброшено множество факторов, но зато по возможности тщательно прослежено воздействие экспоненциального роста; вблизи насыщения, вблизи естественного предела фактор экспоненциального роста экономики и населения является чрезвычайно мощным, и очень вероятно, что именно его нужно учесть в первую очередь. На тех интервалах времени, где он существен, могут не успеть сыграть роль ни технический прогресс, ни социальные механизмы. С этим, прежде всего, связано ощущение автора, что его модель отражает реальность. Очень трудно оспаривать эту точку зрения, исходя только из общих соображений. Здесь нужно считать. И мы приходим к третьему обстоятельству, о котором уже не раз говорилось, приходим к самому главному аргументу в защиту «Мировой динамики».

В модели Дж. Форрестера все чрезвычайно конструктивно, даже недостатки. Модель просто и доступно сформулирована. Если есть сомнения в чем-то, его можно проверить, если есть желание что-то улучшить, это можно осуществить. Она дает основу, пусть очень грубую, но основу для счета, для применения научных методов там, где до сих пор все решают страсти.

Из всего сказанного ясно, что нет однозначного ответа на прямой вопрос, пра-

вильна модель Дж. Форрестера или неправильна. Но нет также сомнений в том, что она полезна и отражает какие-то важные грани действительности.

Мы никогда не сможем более или менее точно предсказывать далекое будущее. И не только потому, что это очень трудно. Этому препятствует своего рода принцип дополнителности: любое аргументированное и убедительно сформулированное предсказание изменяет поведение людей. Они вырабатывают цели, которых раньше не было, и на-

чинают жить в условиях, отличающихся от тех, где была сформулирована первоначальная мысль. По этой или другим причинам, но... «точная и окончательная модель мира никогда не может быть построена» (с. 11). Однако разумные приближения в принципе возможны, и область их применимости будет расширяться. В предисловии к «Мировой динамике» Дж. Форрестер писал: «Я надеюсь, что эта книга будет содействовать возникновению ощущения необходимости безотлагательного решения существующих

проблем и укажет на эффективное направление работы для тех, кто решится исследовать альтернативы будущего». С момента написания книги прошло 10 лет, и, к сожалению, ощущение «необходимости безотлагательного решения существующих проблем» еще далеко не стало всеобщим. Но благодаря Дж. Форрестеру действительно расширился круг людей, изменивших свое отношение к происходящим событиям и осознавших свою меру ответственности.

НОВЫЕ КНИГИ

Физика

И. Ф. Жежерун. СТРОИТЕЛЬСТВО И ПУСК ПЕРВОГО В СОВЕТСКОМ СОЮЗЕ АТОМНОГО РЕАКТОРА. М., Атомиздат, 1978, 142 с., ц. 1 р. 40 к.

Эту скромно изданную книгу, вышедшую тиражом чуть больше 2 тыс. экз., с волнением перелистает каждый физик или человек, интересующийся историей советской науки и техники. Написанная одним из участников создания знаменитого ныне Ф-1, первого советского уранового реактора, эта книга в значительной мере представляет собой краткий обзор около ста рукописей, которые в свое время не могли быть опубликованы и теперь хранятся в архиве и библиотеке Института атомной энергии им. И. В. Курчатова. Среди авторов этих работ — известные советские физики И. В. Курчатова, И. Я. Померанчук, Я. Б. Зельдович, Ю. Б. Харитон, И. М. Франк, А. Б. Мигдел, В. П. Дзеляпов, Е. Л. Фейнберг и др.

Впервые приведенные в книге детали теоретических и экспериментальных исследований, проводившихся в Лаборатории № 2 АН СССР, как тогда назывался Институт атомной энергии, убедительно показывают беспочвенность слухов

об использовании советскими физиками американских «атомных секретов».

Со страниц книги встает прежде всего нестандартный облик «души» всего проекта, И. В. Курчатова, который всегда находил удобный случай гласно отметить и подчеркнуть заслуги и достижения того или иного сотрудника. И. Ф. Жежерун следует этому принципу и скрупулезно перечисляет фамилии исследователей и связанные с ними факты, что делает книгу особенно убедительной и вызывает уважение читателя.

Физика

М. Гарднер. ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ МИЛЛИОНОВ. Пер. с англ. В. И. Манько, К. В. Караджеева, Ф. Е. Чукреева. Под ред. А. И. Базя. Изд. 3-е, М., Атомиздат, 1979, 160 с., ц. 80 к.

Столетие Эйнштейна Атомиздат отметил выходом давно не переиздававшейся книги известного американского популяризатора науки Мартина Гарднера. Она вполне отвечает своему названию и по живости языка, блестящим иллюстрациям А. Равиелли (кстати, его имя издатели почему-то решили опустить), простоте изложения может служить образцом современной науч-

ной книги для массового читателя. Как известно, процессы, происходящие при скоростях, близких к скорости света, относятся к таким явлениям природы, которые даже профессионал способен лишь понять, но не может представить себе образно. Тем большее уважение вызывает автор, решившийся изложить их на уровне, по-видимому, доступном старшим школьникам. В изложении М. Гарднера история возникновения специальной и общей теории относительности (в том числе исторические анекдоты) удачно сочетается с новыми экспериментальными данными и последними космологическими моделями.

Биохимия

М. Барье. ВВЕДЕНИЕ В ХИМИЧЕСКУЮ ЭКОЛОГИЮ. Пер. с франц. Э. П. Серебрякова. Под ред. Ю. А. Овчинникова. М., «Мир», 1978, 229 с., ц. 1 р. 20 к.

Как говорит в предисловии автор, один из ведущих специалистов Института химии природных соединений при французском Национальном центре научных исследований, «химическая экология — это наука о химических взаимоотношениях между живыми организмами или между живой и неживой природой...» Перво-

начально книга представляла собой курс лекций, которые М. Барбье читал в Париже и Рио-де-Жанейро, а затем была дополнена и доработана. В отдельных главах рассмотрены такие вопросы, как химическое оружие в борьбе за сохранение вида, экологическое значение стеридов для беспозвоночных, феромоны (включая раздел об использовании аттрактантов для борьбы с насекомыми), равновесие в природе и его нарушения, в том числе антропогенные.

Книга хорошо иллюстрирована, снабжена обширным списком литературы, предметным указателем, указателем латинских названий и представляет интерес для широкого круга специалистов — химиков, биохимиков, биологов.

Этнография

Леонти Мровели. ЖИЗНЬ КАРТЛИЙСКИХ ЦАРЕЙ. Извлечение сведений об абхазах, народах Северного Кавказа и Дагестана. Отв. ред. Г. С. Мамулия. М., «Наука», 1979, 102 с., ц. 60 к.

Это первый неполный перевод на русский язык хроники, приписываемой грузинскому историку XI в. Л. Мровели, с которой начинаются все известные до сих пор списки свода средневековых грузинских хроник. Ценность этой хроники, помимо того, что в ней описываются быт и нравы, характер и порядок военных действий всех кавказских народов — армян, картлийцев, ранов, мокованов, эров, мегрелов, леков и «кавказианов», — происшедших, по преданию, от Иафета, сына библейского Ноя, заключается в том, что в ней использованы сведения из не дошедших до нас письменных источников, в принципе подтверждающих данные археологии, этнографии, фольклорных и языковых материалов. Мровели составил генеалогию и определил важнейшие этнополитические и географические регионы народов Кавказа по образцу известных аналогичных схем Средневековья, позволяющих делать широкие общекультурные выводы.

Книга снабжена обширными примечаниями и вводной статьей, написанной Г. В. Цулая, где сообщаются новейшие историко-этнографические данные о кавказских народах, их территориях и границах, пути их этногенеза; расшифровываются многие этнонимы. Книга представляет интерес для широкого круга читателей.



Охрана природы

В. И. Чопик. РЕДКИЕ И ИСЧЕЗАЮЩИЕ РАСТЕНИЯ УКРАИНЫ. Справочник. Киев, «Наукова думка», 1978, 212 с., ц. 1 р. 30 к.

Литература о нуждающихся в охране видах растений пополнилась еще одним, и притом весьма содержательным, изданием. Профессор Киевского университета В. И. Чопик посвятил много лет изучению распространения и состояния редких растений Украины, и в особенности Карпат. В написанной им теперь книге приведены данные о распространении (с точечными карточками ареалов), о степени редкости и о необходимых мерах охраны всех редких видов, включенных в подготавливаемую к печати «Красную Книгу УССР». Почти для всех видов даны рисунки или цветные фотографии. Хотя книга и не свободна от отдельных пропусков и погрешностей, она, несомненно, представляет собой очень ценную и своевременную публикацию.



География

Ф. Н. Мильков. РУКОТВОРНЫЕ ЛАНДШАФТЫ. Рассказ об антропогенных комплексах. М., «Мысль», 1978, 86 с., ц. 15 к.

Отыскать на земле угол, так или иначе не затронутый человеческой деятельностью, в наши дни нелегко. Человек стал могучим фактором изменения лика Земли. Отсюда — практическая и познавательная значимость антропогенного ландшафтоведения,

сравнительно молодой физико-географической дисциплины. Книга Ф. Н. Милькова подводит некоторые научные результаты этого направления. Рассматривая антропогенный ландшафт как равноправный с естественным, автор различает, во-первых, прямые антропогенные (или целесообразные) ландшафты, т. е. возникающие в результате целенаправленной человеческой деятельности и подерживаемые в состоянии, близком к оптимальному (например, поля, сады, водохранилища), и, во-вторых, сопутствующие антропогенные ландшафты, возникающие в результате процессов, подчас нежелательных для человека или даже вредных для него.

География

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ. Сборник очерков. Ред. С. Ныммик. Таллин, «Валгус», 1978, 152 с., ц. 1 р. 90 к.

В последние десять — пятнадцать лет советская география проходила через этап интенсивного ознакомления с различного рода математико-статистическими методами, этап, во многом обогативший и обнадеживший представителей этой науки, но кое в чем и разочаровавший их. В 1970-х годах все более отчетливой становится тенденция к теоретизации географической науки. Книга, написанная коллективом экономико-географов из Тартуского государственного университета, отражает самые новейшие в географии тенденции. В сборнике пять статей. Первые три из них (авторы У. Мересте, Т. Райтвийр и Х. Яласто) посвящены науковедческим проблемам становления и развития географии. Авторы статей касаются новых для этой области аспектов и рассматривают теоретическую географию в качестве «ядра» единой системы географических наук. Две последние включенные в сборник статьи, написанные У. Праги, посвящены математическому моделированию сложных систем и применению математических моделей в географических исследованиях.

Судьба архива Германа Бургаве

С. А. Погодин,
доктор химических наук
Москва

Н. М. Раскин,
доктор исторических наук
Ленинград

У каждого из архивов ученых своя история, подчас очень сложная. Такая судьба была и у архива Германа Бургаве (1668—1738) — знаменитого голландского врача и химика.

Личный архив Бургаве хранится в настоящее время в фундаментальной библиотеке Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова в Ленинграде. Изучение хранящихся в нем рукописей позволяет утверждать, что это собрание является одним из самых обширных научных архивов конца XVII и первой половины XVIII в. из числа сохранившихся. Как и когда эти бумаги голландского ученого оказались в нашей стране?

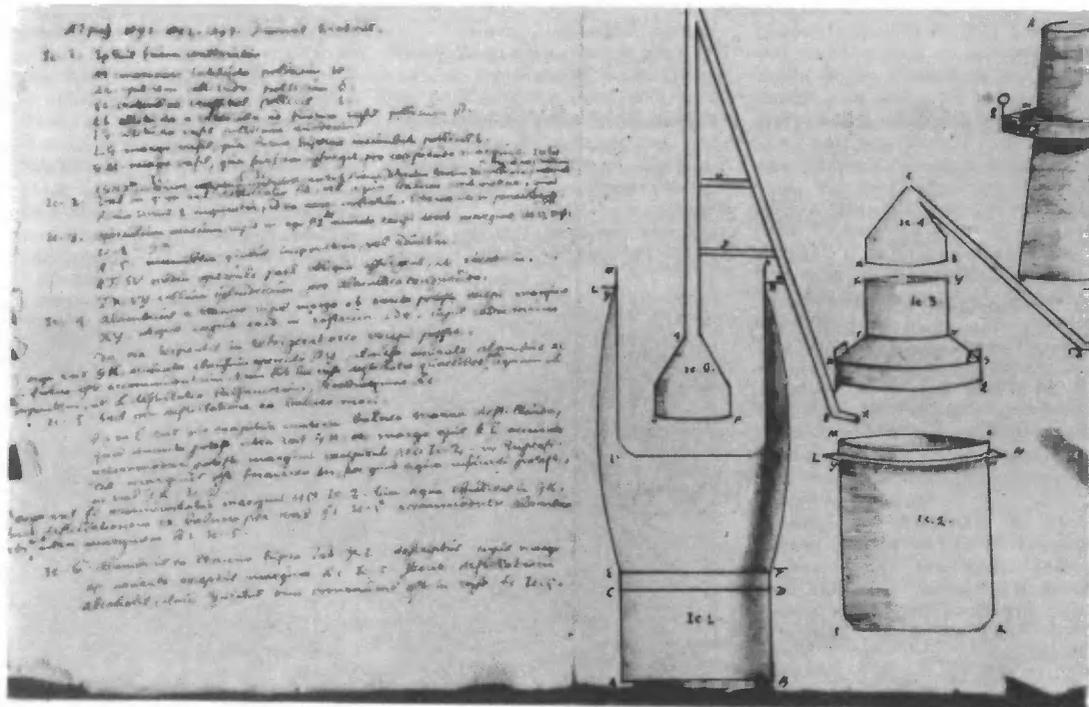
Бургаве родился 31 декабря 1668 г. в деревне Форхаут (теперь предместье Лейдена). Его отец, местный пастор, умер в 1683 г., и будущему ученому пришлось самому зарабатывать на жизнь. Одновременно Бургаве учился. Первоначально он готовился к духовному званию на богословском факультете Лейденского университета, но затем изменил свои намерения и решил стать врачом. В 1693 г. он получил степень доктора медицины. Обратившись к врачебной практике, Бургаве очень скоро приобрел мировую известность как врач-терапевт. Массы больных из различных стран стекались в Лейден. Иногда пациенты Бургаве составляли значительную часть



Герман Бургаве. Со старинной гравюры.

населения этого города. Его медицинские сочинения раскупались нарасхват. Не останавливаясь на достижениях Бургаве в области медицины, отметим только, что он ввел термометр в медицинскую практику.

В 1701 г. Лейденский университет поручил Бургаве чтение лекций по медицине, а в 1709 г. ему было присвоено звание профессора медицины и ботаники. Занятия медицинской Бургаве (как и многие врачи тех дней) сочетал с занятиями химией. Эта наука заинтересовала Бургаве рано. Он усердно изучал ее и вел занятия по этой дисциплине частным образом. С 1718 по



Страницы рукописи из архива Г. Бургава.

И. К. Керштенсом (1713—1802), велось по учебнику Бургава.

1728 г. Бургава читал курс химии в университете Лейдена. Его лекции по химии пользовались большой популярностью. Они были очень интересными по содержанию и форме и сопровождалась большим числом опытов. В 1724 г. вышли в свет два тома «Наставлений и опытов по химии», изданных под именем Бургава. Это была подделка, содержащая большое число грубейших ошибок. Сам Бургава опубликовал в 1732 г. ставший позже классическим труд «Основания химии». Это произведение переводилось на английский, французский и немецкий языки. Оно было настольной книгой М. В. Ломоносова. Много десятилетий спустя после выхода в свет по книге Бургава учились химии в разных странах. Так, преподавание химии в Московском университете, начатое в 1760 г. профессором

Как теперь установлено, организаторы Петербургской Академии наук находились в частых контактах с Бургаве. С ним встречался во время своего путешествия в 1721 г. по европейским странам И. Д. Шумахер, установивший корреспондентские связи с виднейшими учеными. Ему посылался для изучения экстракт из Проекта учреждения Академии наук в Петербурге. Бургаве принимал участие в подписании академико-химика для Академии. Его взгляды в области медицинских наук стали быстро распространяться в России благодаря тому, что первый академик-анатом и хирург И. Г. Дювернуа (1691—1759) читал лекции по сочинениям Бургава. Первый президент Петербургской Академии наук Л. Л. Блюментрост (1692—1755) был учеником Бургава. Как явствует из документов Архива Академии наук СССР, сам Бургава должен был стать почетным иностранным членом Петербургской Академии

наук, но это назначение по неизвестным причинам не состоялось¹.

После смерти Бургава в 1738 г. связи его семьи с Россией продолжались. В 1747 г. в Кёльне вышла книга М. Мати, который был учеником Бургава и стал позднее главным библиотекарем основанного в 1753 г. Британского музея. Среди многих данных о жизни и творчестве Бургава, которые содержатся в этой книге, есть сведения и о судьбе его рукописного наследия. «Я не могу не сообщить здесь, — писал М. Мати, — что, по крайней мере, часть рукописей Бургава только что увезена в Россию его племянником г. Г. Каау. Очевидно, этой великой империи суждено обогатиться нашими сокровищами»².

¹ Копелевич Ю. X. Основание Петербургской Академии наук. Л., 1977, с. 68, 71, 98, 110, 184.

² Maty M. Essai sur le caractère du grand médecin ou éloge critique de M-r Herman Boerhaave. Collogne, 1747, p. 96.

Герман Каау-Бургаве (1705—1753) был назначен придворным врачом при русском дворе в 1740 г. и позже получил чин тайного советника, звание первого лейб-медика и должность директора Медицинской канцелярии. В 1750 г. он был избран почетным членом Петербургской Академии наук. Его отцом был Якоб Каау — врач в Гааге, а мать — Маргарита Бургаве — была родной сестрой Германа Бургаве. Еще при своей жизни Бургаве назначил своего племянника наследником и дал ему свою фамилию.

Каау-Бургаве изучал медицинскую науку в Лейденском университете. Здесь же после защиты диссертации, он был удостоен степени доктора медицины и приглашен в Россию. Таким образом, выясняется один из путей, которым, по крайней мере, часть рукописей Бургаве попала в нашу страну.³

Существует и другая версия, как рукописное наследие Бургаве было доставлено в Россию. В 1919 г. немецкий историк науки и химик П. Диргарт обратил внимание на краткую заметку петербургского академика-химика Александра-Николая Шерера (1771—1824), помещенную в издававшимся им журнале в 1819 г.⁴ Из этой заметки следовало, что лейб-медик К. Ф. Крузе (1727—1799), сопровождавший наследника престола, будуще-

го императора Павла I в его путешествиях по Европе, приобрел некоторые рукописи Бургаве. Шерер сообщал, что число рукописей невелико и они являются главным образом рукописями уже опубликованных работ. Среди них много заметок, набросков, рецептов. В химическом отношении наибольший интерес, по мнению Шерера, представляла рукопись главного химического труда Бургаве «Основания химии». Шерер указывал также, что из корреспонденции Бургаве наиболее интересны письма немецкого физика Д. Г. Фаренгейта (1686—1736) — изобретателя термометрической шкалы, носящей его имя.

Крузе получил степень доктора медицины в 1749 г. в Лейдене. Много лет он был старшим врачом гвардии, пользовался доверием двора и был приглашен для участия в консилиуме к умирающей императрице Елизавете Петровне. При дворе Екатерины II Крузе занимал место второго лейб-медика. С 1756 г. он был почетным членом Петербургской Академии наук и в качестве такового представлял для опубликования в «Новых Комментариях» — научном журнале Академии наук — заметки Бургаве «О ртути». Сам он был не только врачом, но и химиком-любителем; в его частной лаборатории производились очень интересные и важные опыты. Бумаги Бургаве перешли к нему в виде части наследства его жены — единственной дочери Каау-Бургаве, который, как мы помним со слов М. Мати, привез их в Россию. Не исключено, что какую-то часть бумаг Бургаве он мог заполучить во время своего путешествия по Европе в 1780 г.

Из заметки Шерера мы узнаем и о дальнейшем судьбе архива Бургаве. В ней сообщалось, что унаследовавший эти рукописи зять Крузе — полковник Альбрехт — должен был вернуть казне долг своего покойного тестя (73 тыс. руб.). Павел I согласился принять бумаги Бургаве в оплату этого долга. Рукописи поступили в Медицинскую коллегию, а затем были пере-

даны в незадолго до этого основанную (в 1799 г.) Медико-хирургическую академию (ныне Военно-медицинскую академию им. С. М. Кирова), в библиотеке которой они и хранятся.

Прошли долгие десятилетия забвения, прежде чем к научному наследию Бургаве обратились историки науки. Большую работу проделал советский химик и историк химии Б. Н. Меншуткин (1874—1938). Он составил первый каталог, благодаря которому историки науки получили возможность познакомиться с описанием хранящихся в архиве материалов.

В архиве Бургаве среди многочисленных рукописей медицинского содержания находится и некоторое число рукописей, посвященных химии; их в фонде относительно немного. Остановимся на некоторых из них.

Среди химических рукописей Бургаве обращает на себя внимание обширная группа документов, которые послужили подготовительными материалами к вышедшему в 1732 г. знаменитому курсу «Основания химии». В записке под заголовком «Chemica» приведена исчерпывающая библиография трудов выдающихся ученых XVI—XVIII вв., написанная рукой Бургаве или его племянника Каау-Бургаве. Нет сомнения в том, что из этой записки черпались библиографические и другие данные, которые вошли в краткий очерк по истории химии. В переплетенной рукописи, написанной самим Бургаве и озаглавленной «Praelectiones Chemicæ» («Лекции по химии») содержатся записи лекций по химии, прочитанных в 1718—1728 гг. Это, по-видимому, конспекты и планы тех лекций, которые легли в основу его курса «Основания химии». Свидетельством этого являются конспекты следующих лекций: «О воздухе» (прочитанной в декабре 1720 г.), «О воздухе» (прочитанной 17 апреля 1722 г.), «О воде» (прочитанной в ноябре 1723 г.), «О земле» (прочитанной в январе 1725 г.), темы которых соответствуют названиям главных

³ Известно, что в России оказались и 65 томов обширного гербария Г. Бургаве, которые были куплены русскими заводчиками и меценатами Демидовыми у младшего брата Г. Каау-Бургаве А. Каау-Бургаве, по примеру брата переехавшего в 1746 г. в Петербург и ставшего профессором анатомии и физиологии и членом Петербургской Академии наук (см.: Скарлицов А. К. Гербарий. Пособие по методике и технике. М., 1977, с. 15).

⁴ Allgemeine nordische Annalen der Chemie. Bd. II, H. III. 1819, XXXIV. Vermischte Notizen 8. Voerhaaves Handschriften.

разделов 2-й части I тома eqq курса. Во 2-й части рукописи Бургаве «Collegii ad Chemica Ordo» («Собрание работ по химии») находится список химической посуды на голландском языке. Можно думать, что по этому списку составлялся последний раздел I тома «Оснований химии» («О химических приборах и сосудах»).

II том руководства Бургаве содержит подробное описание способов получения более 200 препаратов растительного, животного или минерального происхождения. Материалом для составления этой книги мог служить «Index eorum, quae Chemicam spectant Alphabeticus» («Алфавитный указатель предметов, относящихся к химии»), написанный рукой Бургаве и датированный сентябрем 1705 г. Он включен в уже известную нам рукопись «Chemica». Подготовительным материалом ко II тому курса Бургаве «Основания химии», несомненно, служили данные, содержащиеся в рукописи Бургаве «Experimenta Chemica» («Химические опыты»). Об этом, между прочим, сви-

детельствует надпись на обороте титульного листа «Pertinet hic processus ad processum 213 in Elementorum chemicorum Tom 2-do». («Этот процесс относится к процессу 213 в томе 2-м «Оснований химии».)

Все это собрание подготовительных материалов венчают рукописи самого курса, хранящиеся в фонде Бургаве. Первая из них «Boerhaave Notata Chymiae» («Заметки Бургаве по химии») датирована составителем каталога 1723 г. Рукопись содержит 288 листов и является первым томом «Оснований химии».

Второй том этой книги представлен в собрании двумя рукописями. Первая имеет заголовок: «Institutionum Chemicarum Tomus alter complectens partem tertiam, quae ipsas artis operationes exhibet». («Том второй наставлений по химии, содержащий третью часть, где изложены сами операции искусства».) Она написана на 119 листах плохой желтоватой бумаги. Вторая рукопись, написанная рукой Бургаве, озаглавлена также. Она содержит 199 листов.

Таковы некоторые из химических рукописей Бургаве. Однако было бы ошибочно полагать, что все содержание этих рукописей ограничивается вспомогательными материалами курса и рукописями самого курса. Бургаве вел и другие работы по химии, связанные с изучением действия различных химических соединений на организм больного, приготовлением этих химических лекарств и многим другим. Так, например, рукопись, снабженная надписью на переплете «Medicum Parac. et Helmont», датированная составителем каталога 1736 г., содержит выдержки из исторического лексикона, выписки из писем различных лиц, прописи получения различных препаратов, выписки из работ Парацельса, ван Гельмонта, Бойля, записи химических опытов, которые проводил Бургаве в 1693 г. и многое другое.

Нет сомнения, что изучение этих рукописей принесет много новых данных для понимания особенностей науки конца XVII — начала XVIII в.

Художник П. Г. АБЕЛИН
Художественные редакторы:
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР
Корректоры:
Т. М. АФОНИНА, Т. Д. МИРЛИС

Адрес редакции:
117049 Москва, В-49
Мароновский пер., д. 26.
Тел. 237-50-30, 237-22-97.

Сдано в набор 27.07.79.
Подписано к печати 21.09.79.
Т-16331.
Формат бумаги 70×100 1/16.
Офсет
Усл.-печ. л. 10,4 Уч.-изд. л. 14,3
Бум. л. 4
Тираж 85 000 экз. Зак. 1880

Чеховский полиграфический комбинат
Сюзьполиграфпрома
Государственного комитета СССР
по делам издательства,
полиграфии и книжной торговли,
г. Чехов, Московской области.

IV. Figurae apparatus ad pag. 209. 204.

2. 1.

ABCD. Cylindrus caesus de lamina ferri laminellae, utrumque apertum
 ad. Interius quoque apertum, quo potest in alium experimentum perire.

EF. Cylindrus caesus de lamina ferri laminellae, utrumque apertum
 ad. Interius quoque apertum, quo potest in alium experimentum perire.

ABCDEF. Cylindrus caesus de lamina ferri laminellae, utrumque apertum
 ad. Interius quoque apertum, quo potest in alium experimentum perire.

ABC. Cylindrus caesus de lamina ferri laminellae, utrumque apertum
 ad. Interius quoque apertum, quo potest in alium experimentum perire.

ABC. Cylindrus caesus de lamina ferri laminellae, utrumque apertum
 ad. Interius quoque apertum, quo potest in alium experimentum perire.

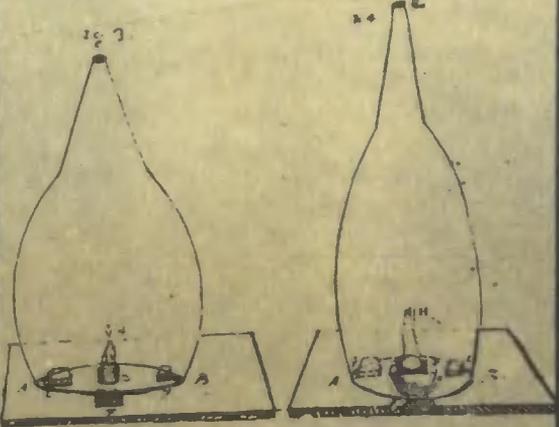
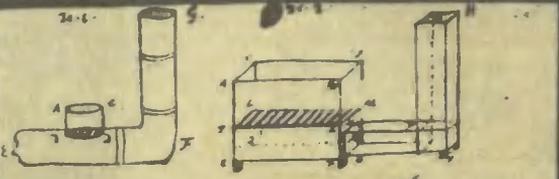
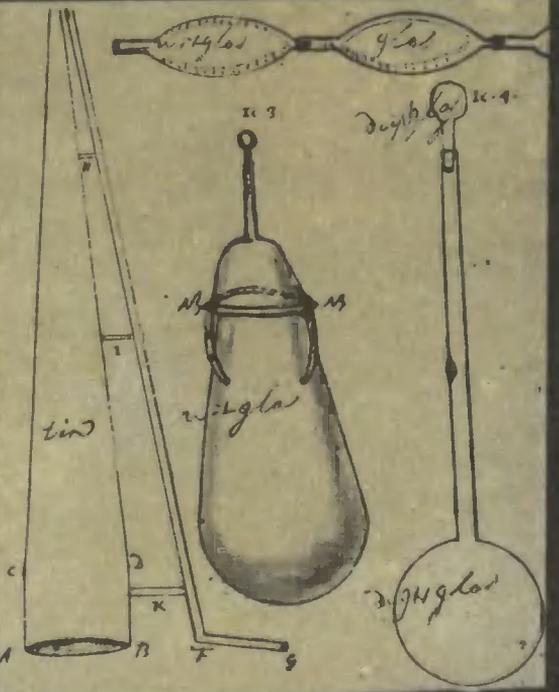


Fig. 1. Cylindrus caesus de lamina ferri laminellae, utrumque apertum
 ad. Interius quoque apertum, quo potest in alium experimentum perire.

Fig. 2. Cylindrus caesus de lamina ferri laminellae, utrumque apertum
 ad. Interius quoque apertum, quo potest in alium experimentum perire.

Fig. 3. Cylindrus caesus de lamina ferri laminellae, utrumque apertum
 ad. Interius quoque apertum, quo potest in alium experimentum perire.

Fig. 4. Cylindrus caesus de lamina ferri laminellae, utrumque apertum
 ad. Interius quoque apertum, quo potest in alium experimentum perire.



Гора 50 моп.
Индонезия 10707

