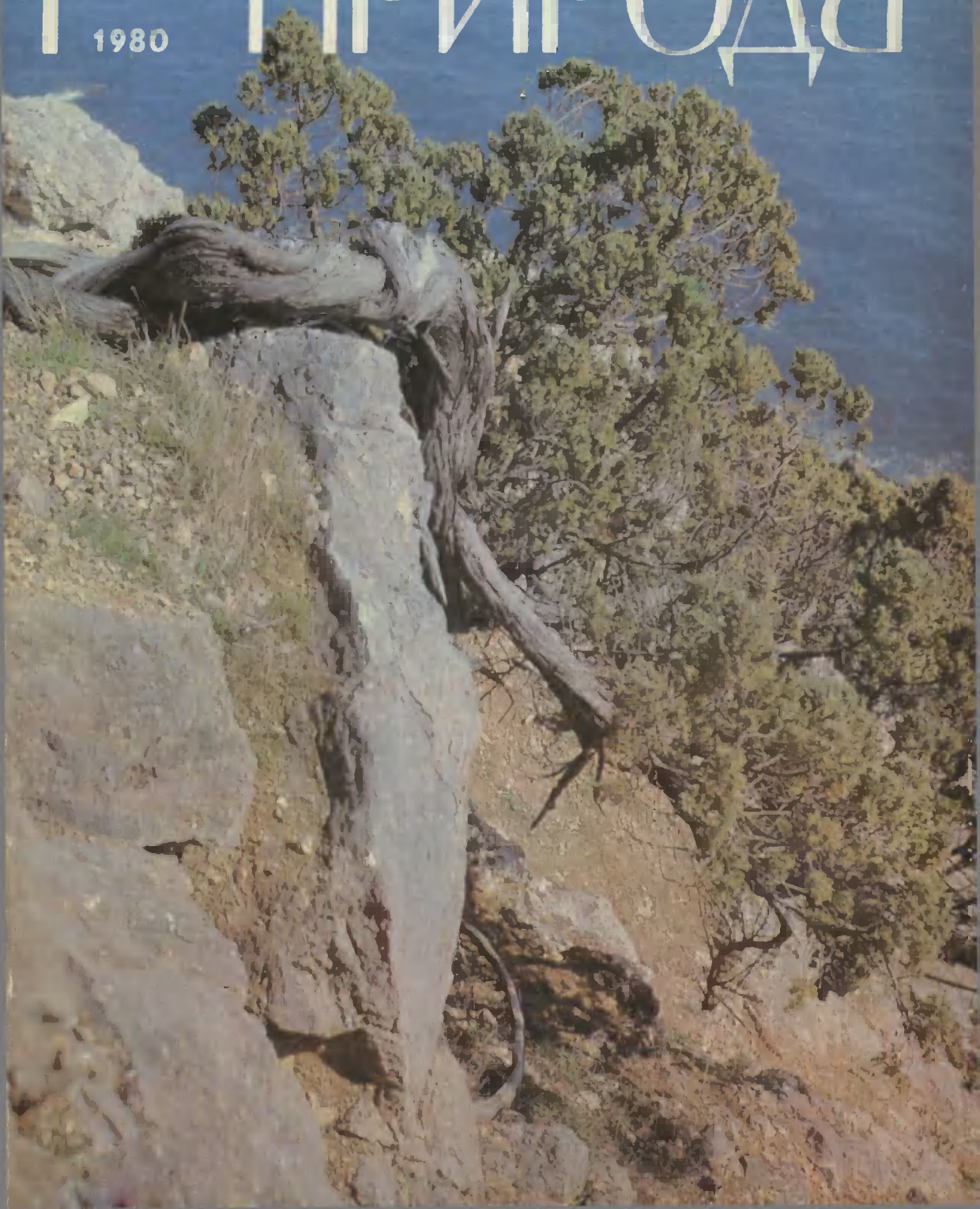


ISSN 0032-874X

1

1980

ПРИРОДА



ПРИРОДА

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
Ю. В. БРОМЛЕЙ

Доктор биологических наук
А. Л. БЫЗОВ

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

Заместитель главного редактора
В. А. ГОНЧАРОВ

Член-корреспондент АН СССР
Б. Н. ДЕЛОНЕ

Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА

Академик
Б. М. КЕДРОВ

Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ

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. Можжевелник у моря, на известняковых скалах. См. в номере: Рубцов Н. И. «Географические связи флоры Крыма и гипотеза Понтиды.»

Фото В. Ю. Нарквявичюте.

На четвертой странице обложки. Типичные обитатели подводных скал. См. в номере: Кусякин О. Г. «Население литорали дальневосточных морей СССР».

Фото А. С. Голубева.

© Издательство «Наука»,
«Природа», 1980 г.

В НОМЕРЕ

Мамырин Б. А., Толстихин И. Н. Солнечный гелий в недрах Земли	2
Ронов А. Б. Строение и история развития осадочной оболочки Земли	14
Базилевская Е. С. Источники марганца в океане	25
Хабахпашев А. Г. Многоканальные детекторы рентгеновского излучения	30
Кусакин О. Г. Население литорали дальневосточных морей СССР	38
Рубцов Н. И. Географические связи флоры Крыма и гипотеза Понтиды	50
Плетнева С. А. «Исчезнувшие народы». Хазары	59
Федоров К. Н. Долгая память океана	71
Арушанян Э. Б. Фенаминовая стереотипия поведения как модель психопатологии у животных	78

ЛАУРЕАТЫ
НОБЕЛЕВСКОЙ
ПРЕМИИ
1979 ГОДА

Кобзарев И. Ю. По физике — С. Вайнберг, Ш. Глэшоу, А. Салам	84
Брегадзе В. И., Нифантьев Э. Е. По химии — Г. Браун и Г. Виттиг	87
Власов П. В., Свиридов Н. К. По медицине — Г. Н. Хаунсфилд и А. М. Кормак	91

НОВОСТИ НАУКИ

94

КНИГИ, ЖУРНАЛЫ

Смирнов И. Н. Ученый, человек, учитель (112). **Цверева Г. К.** Пионер радиохимии (113). **Идлис Г. М.** От «набегов внешних врагов» до «мирного созидания ученых нашей планеты» (115).

НОВЫЕ КНИГИ

117

В КОНЦЕ НОМЕРА

Данилов Ю. А. Гороскоп Иоганна Кеплера	120
Иоганн Кеплер. «Человеку этому на роду написано...»	121

Солнечный гелий в недрах Земли

Б. А. Мамырин, И. Н. Толстихин



Борис Александрович Мамырин, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий сектором масс-спектрометрии Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе АН СССР. Основные научные интересы связаны с вопросами масс-спектрометрии, изотопии инертных газов, фундаментальных констант физики.



Игорь Несторович Толстихин, доктор химических наук, старший научный сотрудник лаборатории геохронологии и геохимии изотопов Геологического института Кольского филиала АН СССР. Основные научные интересы связаны с геохимией и космохимией инертных газов.

Существует ли солнечный гелий в недрах Земли? Такой неожиданный вопрос возник перед группой ленинградских исследователей, когда они наблюдали необычный масс-спектр гелия, выделенного из газов горячих источников Курильских островов: отношение содержания легкого изотопа ^3He к тяжелому ^4He оказалось в 1000 раз (!) больше, чем в гелии других природных газов. Тщательная проверка аппаратуры и повторные опыты подтвердили обнаруженный феномен. Естественно, сразу же возникли вопросы о природе огромного избытка ^3He в гелии исследованных газов¹. Однако, прежде чем перейти к анализу обнаруженного явления, коротко рассмотрим удивительную историю открытий, связанных с одним из самых

легких и подвижных элементов — гелием, и одновременно введем несколько важных определений.

Гелий — единственный элемент, впервые обнаруженный не на Земле: он был открыт на Солнце и назван в его честь. Это замечательное открытие было сделано независимо и одновременно Ж. Жансеном и Н. Локьером в 1868 г. при спектроскопических наблюдениях солнечного затмения. На Земле гелий был обнаружен У. Рамзаем значительно позднее — в 1895 г. — в радиоактивном минерале клевеите.

¹ Мамырин Б. А., Толстихин И. Н., Ануфриев Г. С., Каменский И. Л. Аномальный изотопный состав гелия в вулканических газах. — «Доклады АН СССР», 1969, т. 284, № 5.

В первой трети нашего века геохимики считали, что на Земле существует «астрофизический» и радиогенный гелий: такой дуализм был прямым следствием истории открытий гелия, которая отнюдь не закончилась в те времена. В 1939 г. Л. Альварес и Р. Корног обнаружили второй стабильный изотоп гелия — ^3He при анализе на 60-дюймовом циклотроне гелия атмосферы и одного образца природного газа. Они оценили соотношение между содержанием легкого и тяжелого изотопов как 10^{-7} . В 1948 г. были опубликованы две работы, положившие начало изотопной геохимии гелия. Л. Олдрич и А. Нир привели данные об изотопном отношении $^3\text{He}/^4\text{He}^2$ в нескольких образцах природных газов ($\sim 10^{-7}$) и литиевых минералов ($\sim 10^{-6}$ и даже выше)³. Одновременно В. Г. Хлопин и Э. К. Герлинг определили в гелии уранового минерала весьма низкое отношение $^3\text{He}/^4\text{He} \lesssim 3 \cdot 10^{-10}$, в 100 раз ниже, чем в гелии подземных газов, и в 10 000 раз ниже, чем в гелии атмосферы.

П. Моррисон и Д. Пайн, тщательно изучив проблему происхождения изотопов земного гелия, пришли к убедительному выводу, что гелий природных газов образовался не в радиоактивных минералах как таковых, не в атмосфере, не в протопланетном веществе, а в обычных горных породах: ^4He возникает непосредственно при α -распаде радиоактивных элементов, ^3He — в ядерных реакциях, инициируемых в породах продуктами радиоактивного распада⁴.

Таким образом, мы можем сформулировать первое определение: радиогенным называется гелий, образовавшийся в результате радиоактивного распада и инициируемых продуктами распада ядерных реакций; в обычных горных породах, почти независимо от их типа (граниты, осадочные породы и т. п.), радиогенный гелий характеризуется примерно постоянным отношением $^3\text{He}/^4\text{He} = 2 \cdot 10^{-8}$ (см. табл. 1).

² Обозначение $^3\text{He}/^4\text{He}$ выражает отношение содержания в газе соответствующих изотопов.

³ Избыток ^3He в литиевых минералах объясняется тем, что в природных условиях этот изотоп возникает преимущественно по реакции: $^6\text{Li} + \text{p} \rightarrow \alpha + ^3\text{He}$; $^7\text{Li} + \text{p} \rightarrow ^3\text{He}$, т. е. при прочих равных условиях его содержание пропорционально содержанию лития в минерале.

⁴ Радиоактивные минералы содержат ~ 1 —10% радиоактивных элементов (уран и торий); в обычных горных породах в отличие от радиоактивных минералов уран и торий рассеяны в микроколичествах ($\sim 0,001\%$).

Таблица 1

Изотопный состав спалогенного, первичного и радиогенного гелия

Тип гелия	$^3\text{He}/^4\text{He}$ r
спалогенный	$\sim 10^{-1}$
первичный (солнечный)	$\sim 3 \cdot 10^{-4}$
радиогенный	$\sim 2 \cdot 10^{-8}$

Закономерности распределения однотипного по изотопному составу радиогенного гелия можно было изучать путем простых измерений содержания ^4He , не привлекая сложные, практически невыполнимые в то время изотопные анализы. Возникшая в результате этих первых изотопных работ концепция исключительно радиогенного происхождения гелия Земли хорошо соответствовала экспериментальным данным и во второй трети нашего века стала общепринятой.

В 1952 г. была опубликована работа Ф. Панета, П. Расбека и К. Майна, впервые исследовавших гелий из железных метеоритов и обнаруживших в нем чрезвычайно высокое отношение $^3\text{He}/^4\text{He} \approx 10^{-1}$. Авторы правильно интерпретировали свое открытие, показав, что колоссальный избыток ^3He (относительно ^4He) появляется в результате ядерных реакций взаимодействия жесткого космического излучения с веществом метеорита.

После работы Панета и соавторов стало ясно, что диапазон изотопных вариаций гелия в природе огромен: он составляет приблизительно 10^{10} . На основании работ этих авторов и их многочисленных последователей возник метод определения радиационного возраста метеоритов. Теперь мы можем сделать второе определение: спалогенным называется гелий, образовавшийся в результате взаимодействия жесткого галактического излучения с веществом.

Немного позднее, в 1955 г., советские исследователи Э. К. Герлинг и Л. К. Левский измерили содержание изотопов гелия в метеорите Старое Песьяное. Было установлено, что отношение $^3\text{He}/^4\text{He} \approx 3 \cdot 10^{-4}$ в гелии этого метеорита является промежуточным между таковым в радиогенном и спалогенном гелии. Однако объяснить измеренное отношение смешением радиогенного и спалогенного типов гелия было нельзя. Аномально высокие содержания гелия $\sim 10^{-2}$ см³/г на-

много превосходили те, которые могли бы возникнуть в результате радиоактивного распада и ядерных реакций в веществе метеорита.

Герлинг и Левский предположили, что они обнаружили в метеорите Старое Песчаное новый тип гелия: первичный, или солнечный, гелий, внедрившийся в вещество метеоритов (космической пыли) при их облучении потоками частиц, идущими из Солнца. Дальнейшие многочисленные исследования благородных газов в метеоритах, в лунном грунте, в экспериментах с улавливанием солнечного ветра фольгами (выполненных на поверхности Луны американскими космонавтами) и многослойными мишенями (выполненных на советских космических кораблях) полностью подтвердили эти первые предположения.

Теперь пора ввести третье определение: первичным называется гелий, оба изотопа которого возникли в результате синтеза элементов при термоядерных реакциях в звездах. Для первичного гелия Солнечной системы характерно изотопное отношение ${}^3\text{He}/{}^4\text{He} \approx 3 \cdot 10^{-4}$.

Однако, как показали дальнейшие события, цепь удивительных открытий, связанных с гелием, не прервалась.

В 50-х годах исследователи обратили внимание на дефицит гелия в горных породах и минералах. Его содержание почти всегда было намного ниже ожидавшегося согласно возрасту и концентрации радиоактивных элементов. Классические работы по изучению миграции гелия, выполненные Герлингом и его учениками, убедительно показали, что гелий легко покидает кристаллические структуры минералов и переходит в состав природных газов Земли. Распространенность гелия в природных флюидах (газах, растворах, расплавах, пронизывающих земную кору) — потенциальных источниках атмосферы, — его соотношения с радиогенным изотопом аргона, масштабы образования гелия в Земле, согласованные с концентрациями радиоактивных элементов и тепловыми потоками, — все эти данные убедительно свидетельствовали о том, что в атмосфере Земли должно было накопиться примерно в 1000 раз больше гелия, чем наблюдается в действительности.

Возникло предположение, что легкий инертный гелий не удерживается гравитационным полем Земли и, покидая, уходит в космическое пространство. В 1957 г. проблема «убегания» гелия (диссипации) из земной атмосферы была отчетливо сформулирована французским физиком

М. Николе и американскими исследователями Д. Бэйтсом и Т. Паттерсоном. Они показали, что температуры в верхней атмосфере и соответственно кинетические энергии атомов достаточны для преодоления обоими изотопами гелия земного притяжения и их диссипации из атмосферы. Одновременно выяснилось, что объяснить изотопный баланс гелия в атмосфере, учитывая известные в то время источники его изотопов, невозможно.

МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНСНЫЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТР

Для более глубокого познания природы земного гелия необходимо было увеличить объем исследований в области изотопной геохимии гелия, и прежде всего резко увеличить количество экспериментальных данных. Наиболее подходящим прибором для выполнения изотопных анализов гелия, безусловно, является масс-спектрометр. Казалось бы, задача измерения распространенности столь сильно отличающихся по массам изотопов, как ${}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He}$, не относится к категории трудных и может быть решена на любом масс-спектрометрическом приборе, предназначенном для изотопного анализа газов.

На самом же деле изотопный анализ природного гелия является одной из сложнейших масс-спектрометрических задач, так как требует измерения изотопных отношений ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ в широчайших пределах: $10^{-1} - 10^{-10}$.

Для регистрации пика ${}^3\text{He}$, имеющего интенсивность часто в миллиарды раз меньшую, чем интенсивность пика ${}^4\text{He}$, необходимо иметь рекордно большую чувствительность масс-спектрометра. Однако при увеличении чувствительности резко возрастают фоновые пики HD и H_2 , имеющие то же массовое число, что и ${}^3\text{He}$. Даже при использовании специальных мер по уменьшению этих пиков их интенсивность может быть в десятки тысяч раз больше пика ${}^3\text{He}$ и без отделения их измерить пик ${}^3\text{He}$ невозможно. Поэтому для измерения содержания изотопов в природном гелии необходим прибор не только с высокой чувствительностью, но и с высокой разрешающей способностью.

Однако и этого оказывается недостаточно. По сравнению с обычными приборами, выпускаемыми промышленностью, при измерении пика ${}^3\text{He}$ требуется примерно в 10^5 раз сильнее подавить фон рассеянных ионов от мощной линии ${}^4\text{He}$ и применить отдельные, специальные меры

для подавления фона рассеянных ионов от расположенных рядом мультиплетных линий HD и H_3 .

В целом задача изотопного анализа природного гелия приводит к противоречивым, крайне жестким требованиям, которые должны выполняться в одном приборе. Их суть сводится к следующему.

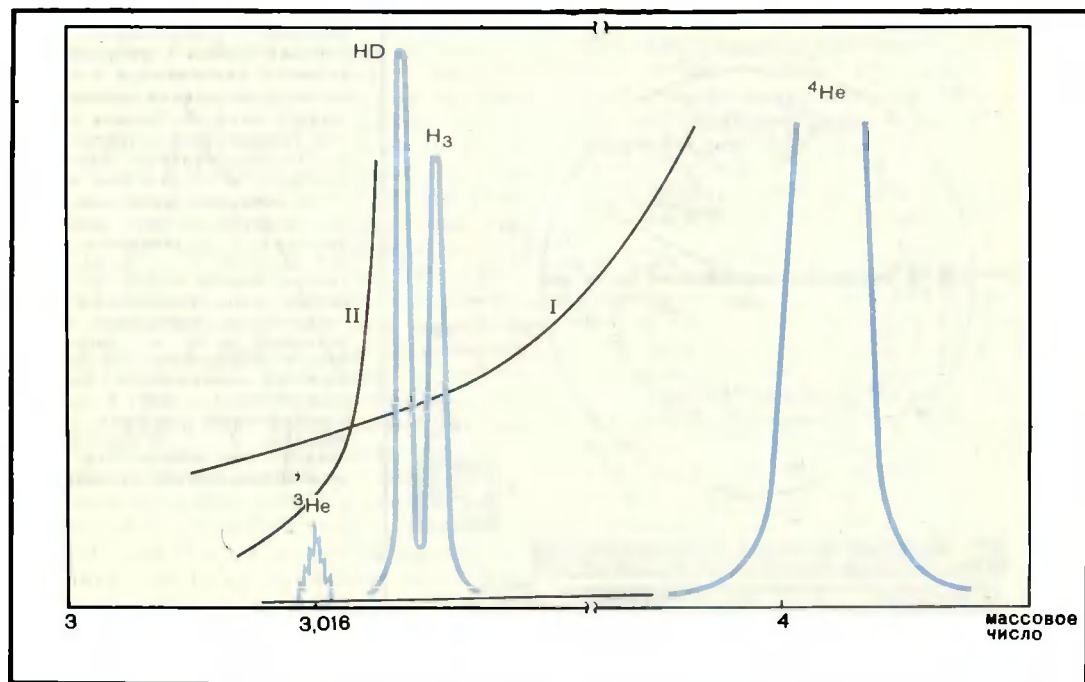
Необходима рекордно высокая чувствительность, при которой измеримый выходной сигнал должен создаваться пробой, имеющей всего $10^5 - 10^6$ атомов 3He .

шего 10^{-11} по отношению к току в максимуме пика 4He .

Необходимо снизить фон рассеянных ионов линий HD и H_3 при настройке прибора на 3He до 10^{-5} от величины тока (HD — H_3).

Время анализа одной пробы должно быть малым (не более 10—15 мин), так как для установления природных статистических закономерностей требуются сотни и тысячи анализов.

Специальное рассмотрение показало, что выполнить эти требования в рам-



Линии масс-спектра, которые необходимо разрешать при измерении отношения $^3He/^4He$. I — «хвост» линии 4He , обусловленный рассеянием ионов при столкновениях с молекулами остаточного газа; II — «хвост» линий HD и H_3 .

Нужна разрешающая способность ~ 2000 по основанию пика, достаточная для полного отделения мультиплетных линий HD и H_3 от много меньшего по интенсивности пика 3He .

Требуется снизить фон рассеянных ионов от пика 4He при настройке прибора на измерение пика 3He до уровня, мень-

ших классической схемы статического магнитного масс-спектрометра практически невозможно, и отсутствие необходимых приборов стало главной причиной, затормозившей развитие работ по изотопии природного гелия на много лет, по сравнению с исследованиями изотопии других природных инертных газов.

Основным препятствием в решении «гелиевой задачи» при помощи статических масс-спектрометров является их малая дисперсия — малый сдвиг луча ионов относительно выходной щели при изменении массы ионов. Легко показать, что дисперсия в статических приборах прямо пропорциональна радиусу траектории ионов в магнитном поле, т. е. размерам магнита. При разумных размерах магнитов дис-

персия статических приборов равна единицам миллиметров на 1% изменения массы ионов. При малой дисперсии для достижения большой разрешающей способности приходится использовать узкие щели, что снижает чувствительность приборов. Малая дисперсия приводит также к значительным уровням рассеянных ионов от близко расположенных сильных линий спектра при измерении слабых.

«Заколдованный круг» связи дисперсии с размерами прибора невозможно разорвать в рамках схем статических масс-

пределах регулироваться путем изменения амплитуды и частоты высокочастотного напряжения, управляющего движением ионов. Эта важная особенность схемы МРМС становится ясной при рассмотрении принципа действия одного из вариантов прибора, специально разработанного для анализа изотопов гелия.

Ионы образуются в источнике обычного типа и выходят из щели S_1 . Разделяясь, как в обычном 180-градусном статическом магнитном масс-спектрометре, ионы ${}^4\text{He}$ попадают на коллектор, а ионы с массо-

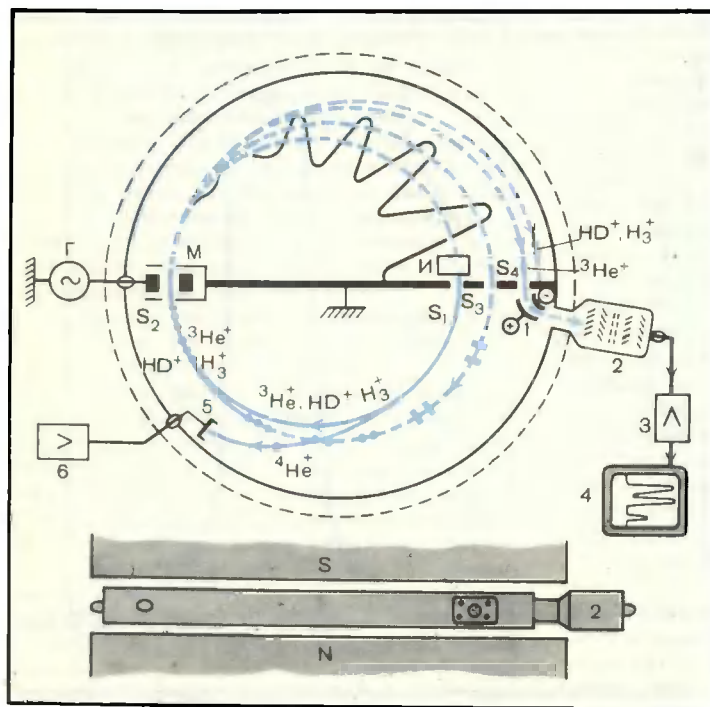


Схема анализатора магнитного резонансного масс-спектрометра. Плоская камера с деталями анализатора расположена в зазоре магнита; на рисунке граница магнитного поля обозначена пунктиром (направление магнитного поля перпендикулярно плоскости рисунка). И — источник ионов; S_1 — выходная щель источника; S_2 — щель модулятора; Г — генератор высокой частоты; S_3 — щель, вырезающая пакеты ионов; S_4 — выходная щель анализатора; 1 — конденсатор, выводящий анализируемые ионы из магнитного поля и направляющий их на вход вторично-электронного умножителя (ВЭУ); 2 — ВЭУ; 3 — электрометрический усилитель; 4 — самописец; 5 — коллектор для приема тока ионов ${}^4\text{He}$; 6 — электрометрический усилитель.

спектрометров. Поэтому исследователи искали иные способы разделения ионов, при которых дисперсия и размеры прибора не были бы столь жестко связаны. Одно из наиболее удачных решений найдено в ленинградском Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе АН СССР при создании схемы магнитного резонансного масс-спектрометра (МРМС).

В этом приборе разделение ионов определяется не различием радиусов их траекторий в магнитном поле (как в статических приборах), а зависимостью времени пролета ионов по замкнутой круговой орбите в магнитном поле от их массы. При этом дисперсия может в широких

выим числом $M = 3({}^3\text{He}^+, \text{HD}^+, \text{H}_3^+)$ в щель модулятора, между электродами которого приложено высокочастотное напряжение. Благодаря действию переменного поля в модуляторе энергия ионов (а следовательно и радиус их траектории) изменяется примерно по синусоидальной зависимости от времени. При периоде изменения напряжения на модуляторе много меньшем, чем период пролета ионов по замкнутой круговой орбите в магнитном поле, мгновенная картина положения ионов в приборе выглядит как волнообразная линия. Щель S_2 вырезает за каждый период напряжения модулятора два ионных пакета, которые опять попадают в модулятор.

Пакет ионов при втором подходе к модулятору разделится на три пакета в соответствии с различием масс ионов ${}^3\text{He}^+$, HD^+ и H_3^+ , поскольку циклотронный период вращения ионов T_c (время пролета ионов от модулятора через S_2 до модулятора) связан с массой однозарядных ионов соотношением:

$$T_c = 651M/H,$$

где T_c выражается в мкс, M — масса ионов в атомных единицах массы, H — напряженность магнитного поля в эрстедах.

Второе изменение радиуса траектории ионов (при прохождении модулятора после щели S_2) будет зависеть от соотношения T_c ионов (их массы) и периода напряжения высокочастотного генератора модулятора, т. е. от фазы высокочастотного напряжения при поступлении ионов второй раз в модулятор. «Резкость» этой зависимости будет определяться параметрами высокочастотного напряжения. Очевидно, чем больше амплитуда и частота высокочастотного напряжения, тем резче будет зависеть смещение луча ионов относительно выходной щели S_3 при изменении их массы, т. е. больше будет дисперсия.

Возможность получения в МРМС большой дисперсии при небольших радиусах траекторий ионов позволила получить большие разрешающие способности при широких щелях, а следовательно получить одновременно и большую чувствительность. Прохождение ионов ${}^3\text{He}$ в МРМС через большое число щелей способствует резкому снижению фона рассеянных ионов от сильной линии ${}^4\text{He}$.

Положительным свойством МРМС, разработанного для изучения изотопии природного гелия, является возможность работы в двухлучевом режиме, при котором пики ${}^4\text{He}^+$ и ${}^3\text{He}^+$ фиксируются одновременно без каких-либо перестроек прибора. Это в значительной степени обеспечило высокую точность измерений (погрешность $\sim 2\%$ при изотопных отношениях ${}^3\text{He}/{}^4\text{He} \approx 10^{-6}$).

Возможность работы при так называемом статическом режиме откачки обеспечила достижение высокой абсолютной чувствительности МРМС. В этом режиме малая порция анализируемого газа поступает в анализатор, и он отключается от всех средств откачки. При этом один и тот же атом газа может много раз ионизироваться в источнике, участвовать в образовании выходного ионного тока, превращаться в нейтральный атом и опять поступать в источник. Такое многократное

«использование» атомов пробы, а также специальный компенсационный режим работы прибора, позволили достигнуть рекордной абсолютной чувствительности у МРМС по ${}^3\text{He}$, равной примерно 10^5 атомов в пробе.

В целом схема МРМС дала возможность выполнить все сформулированные выше пять требований, которым должен отвечать масс-спектрометр для изучения изотопии природного гелия, отношения изотопов которого лежат в широчайшем диапазоне⁵.

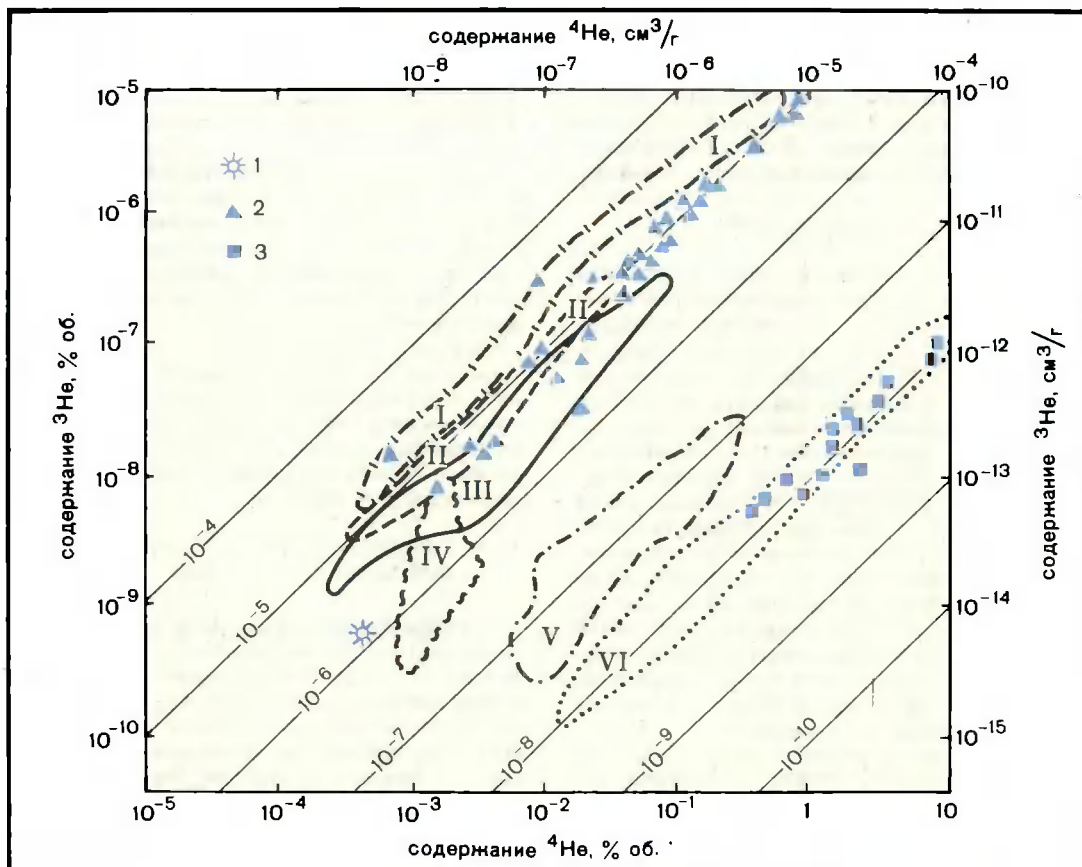
Один из вариантов МРМС, рассчитанный на решение широкого круга трудных масс-спектрометрических задач (и в том числе анализа изотопного состава природного гелия) выпущен СКБ аналитического приборостроения АН СССР под индексом МИ 9302.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ ГЕЛИЯ

Разработка схемы МРМС, позволившей достигнуть изотопной чувствительности до 10^{-10} , дала возможность выполнить в течение последнего десятилетия несколько тысяч изотопных анализов гелия из самых разнообразных природных объектов: горных пород, минералов, газовой-жидких включений в минералах, природных газов, вод, газовых и нефтяных месторождений. Интерпретация этих данных привела к установлению новых фундаментальных закономерностей в распределении изотопов земного гелия и обеспечила значительный прогресс наших знаний об истории и природе летучих компонентов Земли. По существу, возникло новое самостоятельное направление изотопной геохимии — изотопная геохимия гелия.

Наиболее общие закономерности в распределении изотопов гелия в разных

⁵ Подробное описание схемы МРМС, принципа его действия и аналитических характеристик см.: Мамырин Б. А., Шустров Б. Н., Ануфриев Г. С., Болтенков Б. С., Загулин В. А., Каменский И. Л., Толстихин И. Н., Хабарин Л. В. Магнитный резонансный масс-спектрометр для изучения изотопного состава гелия. — «ПТЭ», 1972, № 6; Мамырин Б. А., Шустров Б. Н., Ануфриев Г. С., Болтенков Б. С., Загулин В. А., Каменский И. Л., Толстихин И. Н., Хабарин Л. В. Измерение изотопов гелия на магнитном резонансном масс-спектрометре. — «ЖТФ», 1972, т. 42, в. 12.



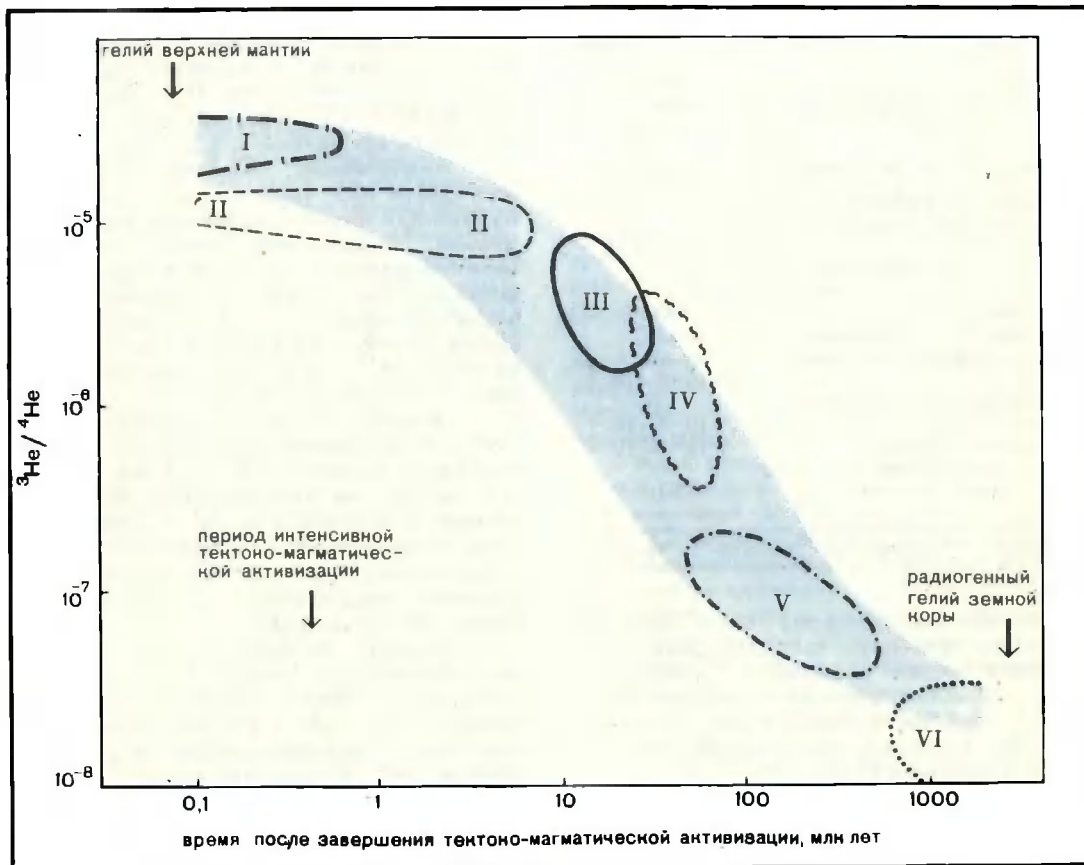
Распространенность изотопов гелия в разнообразных природных объектах. Левая и нижняя оси координат относятся к природным флюидам, для которых многочисленные экспериментальные данные объединены по региональному признаку в виде зон: I — термальные источники Исландии, Гавайев и рифта Красного моря; II — термальные источники Курило-камчатской вулканической зоны, Японии, Марианских о-вов, Лассенского национального парка; III — термальные и холодные источники Большого и Малого Кавказа и Байкальской континентальной рифтовой зоны; IV — газо-нефтяные месторождения, холодные и термальные источники о-ва Сахалин; V — природные газы платформенных регионов с молодым кристаллическим основанием (СССР); VI — то же, с древним кристаллическим основанием, в том числе Русская и Восточно-Сибирская платформы, штаты Техас, Канзас и Мичиган в США. Наклонные прямые — линии равных соотношений $^3\text{He}/^4\text{He}$; числа на прямых — величины соотношений $^3\text{He}/^4\text{He}$.

Для сравнения на рисунке приведены данные о содержании изотопов гелия в атмосфере Земли и в горных породах (верхняя и правая оси координат). 1 — гелий атмосферы Земли.

2 — молодые изверженные породы основного состава — океанические базальты, вещество которых по многим признакам генетически связано с мантией Земли; 3 — древние метаморфические породы гранитного состава, образовавшиеся в земной коре.

На рисунке отчетливо видны главные закономерности распределения изотопов земного гелия: — очень широкий диапазон соотношений $^3\text{He}/^4\text{He}$ при почти полном постоянстве соотношений в пределах регионов, характеризующихся одинаковым строением недр. В частности, видно:

- в регионах, по геологическим представлениям наиболее тесно связанных с мантией Земли, наблюдаются весьма высокие, одинаковые соотношения $^3\text{He}/^4\text{He}$, несмотря на широкие различия концентраций изотопов гелия;
- закономерное уменьшение соотношений $^3\text{He}/^4\text{He}$ по мере снижения уровня тектоно-магматической активности региона и увеличения времени с момента ее прекращения;
- глобальный характер указанной выше закономерности;
- хорошее соответствие результатов, полученных для пород и природных флюидов.



Примерный темп снижения величины отношений $^3\text{He}/^4\text{He}$ [показано цветом]. После завершения активной тектоно-магматической деятельности в породах [и газах] региона начинает накапливаться радиогенный гелий и постепенно начальные отношения $^3\text{He}/^4\text{He} \approx 10^{-5}$ снижаются до чисто радиогенных значений $^3\text{He}/^4\text{He} = [2 \pm 1] \cdot 10^{-8}$. Зоны I—VI объединяют экспериментальные данные, полученные для природных флюидов разных регионов земной коры (обозначения те же, что на предыдущем рисунке).

геосферах могут быть получены на основании изучения разнообразных природных флюидов. В процессе миграции флюида по толщам горных пород происходит осреднение изотопных соотношений $^3\text{He}/^4\text{He}$ и исследуемая проба становится намного более представительной (в региональном смысле), чем один образец горной породы.

Главная закономерность распределения изотопов гелия может быть сфор-

мулирована следующим образом: изотопный состав гелия в подземных флюидах определяется строением и геологической историей региона и постоянен в пределах единой структуры. 10 лет назад такое утверждение казалось бы фантазией, тем не менее сегодня — это объективная реальность.

Действительно, изотопный состав гелия газов и вод наиболее стабильных регионов земной коры, в пределах которых активная тектоно-магматическая деятельность окончилась в далеком прошлом, регионов с древним, консолидированным кристаллическим основанием⁶,

⁶ Земная кора состоит из чехла осадочных пород, лежащих на кристаллических основаниях (граниты, базальты).

Таблица 2

Изотопный состав гелия в различных регионах Земли

Регион	$^3\text{He}/^4\text{He}$
океанические рифтовые зоны и специфические структуры типа Гавайев	$\approx (2-4) \cdot 10^{-5}$
Циркум-Тихоокеаническое вулканическое кольцо; океанические базальты	$\approx 10^{-5}$
современные внутриконтинентальные рифтовые и складчатые зоны	$\approx 10^{-5}-10^{-6}$
геосинклинальная структура типа о-ва Сахалин	$\approx 10^{-6}-10^{-7}$
молодая платформа	$\approx 10^{-6}-10^{-7}$
древняя платформа; древние породы гранитного состава	$\approx 2 \cdot 10^{-8}$

Примечание. В атмосфере Земли отношение $^3\text{He}/^4\text{He}$ составляет $(1,39 \pm 0,01) \cdot 10^{-6}$; в околоземном космическом пространстве — $3 \cdot 10^{-6}$.

тождествен радиогенному гелию (табл. 2). Хорошим примером являются результаты изучения Русской платформы⁷: в пределах этого огромного региона изотопные отношения $^3\text{He}/^4\text{He}$ в газах, водах и горных породах оказались практически постоянными и равными $(2 \pm 1) \cdot 10^{-8}$.

Напротив, в регионах, характеризующихся современной интенсивной магматической деятельностью, вулканизмом, активной неосейсмичностью и высоким тепловым потоком, наличием многочисленных глубинных разломов, т. е. там, где появление глубинных эманаций (флюидов) на поверхности Земли представляется наиболее вероятным с геологических позиций, мы неизменно наблюдаем гелий с высокими отношениями $^3\text{He}/^4\text{He}$ ($\sim 10^{-5}$), в тысячи раз превосходящими отношение для радиогенного гелия.

Отлично подтверждают сказанное результаты, полученные при изучении изотопного состава гелия флюидов Исландии. Оказалось⁸, что на всей территории острова (опробовано около 70 термальных

источников), являющегося уникальным наземным продолжением Срединно-Атлантического рифта, практически не наблюдается соотношений $^3\text{He}/^4\text{He}$ ниже, чем 10^{-5} ; в некоторых гидротермах это отношение достигает величины $3,5 \cdot 10^{-5}$.

Аналогичные высокие отношения $^3\text{He}/^4\text{He} \approx 10^{-5}$ типичны для гидротерм Курило-Камчатской вулканической зоны, Японии, Марианских о-вов, некоторых термопроявлений Северной Америки, т. е. флюидов Тихоокеанского вулканического пояса⁹. Интересно, что гелий, попадающий в воды Тихого океана вместе с подводными эманациями, также характеризуется высоким отношением $^3\text{He}/^4\text{He} = 1,7 \cdot 10^{-5}$ ¹⁰.

Регионы, по своему строению занимающие промежуточное положение, т. е. еще не столь пассивные, как древние платформы, но и не столь активные, как современные рифтовые или геосинклинальные зоны, характеризуются и промежуточными отношениями $^3\text{He}/^4\text{He}$. Примером может служить Предкавказье (так называемая Скифская платформа).

Наконец, регионы, сильно дифференцированные в своем строении, включающие и участки сравнительно стабильных структур, и современные активные зоны, характеризуются весьма различным по изотопному составу гелием. Таким регионом является остров Сахалин.

Горные породы — источники гелия природных флюидов — также подтверждают приведенную выше закономерность распределения изотопов земного гелия. Так, например, базальты, слагающие дно океана и по петрологическим, геохимическим, изотопным данным являющиеся породами мантийного происхождения, содержат гелий с изотопным отношением $^3\text{He}/^4\text{He} \approx 1 \cdot 10^{-5}$, т. е. совершенно таким же, как и в термах Тихоокеанского вулканического пояса¹¹.

⁷ Поляк Б. Г., Толстихин И. Н., Якуцени В. П. Изотопы гелия в природных флюидах и тепловой поток — геохимический и геофизический аспекты тектогенеза. — «Геотектоника», 1979, № 5.

⁸ Кононов В. И., Мамырин Б. А., Поляк В. Г., Хабарин Л. В. Изотопы гелия в термальных источниках Исландии. — «Доклады АН СССР», 1974, т. 217.

⁹ Каменский И. Л., Лобков В. А., Прасолов Э. М., Бескровный Н. С., Кудрявцева Е. И., Ануфриев Г. С., Павлов В. Б. Компоненты верхней мантии Земли в газах Камчатки. — «Геохимия», 1976, № 5.

¹⁰ Craig H., Clarke W. B., Bag M. A. Excess ^3He in deep water on the east Pacific rise. — «Earth Planet. Sci. Lett.», 1975, v. 26, № 2.

¹¹ Крылов А. Я., Мамырин Б. А., Хабарин Л. В., Мазина Т. И., Силин Я. А. Изотопы гелия в коренных породах дна океана. — «Геохимия», 1974, № 8.

Высокими отношениями $^3\text{He}/^4\text{He}$ характеризуются многие молодые изверженные породы, ультраосновные включения в базальтах и др. Величина $^3\text{He}/^4\text{He} \approx 10^{-5}$ получена японскими исследователями для южноафриканских алмазов.

Внедряясь в верхние горизонты земной коры или изливаясь на поверхность земли, глубинные расплавы теряют обычно большую часть летучих компонентов. С течением времени в этих породах накапливается радиогенный гелий, преимущественно ^4He ; соответственно снижается изотопное отношение $^3\text{He}/^4\text{He}$. Примерно через 1 млрд лет величины $^3\text{He}/^4\text{He}$ в породах (и газах) приближаются к типичным для радиогенного гелия. И действительно, кристаллические породы, слагающие фундаменты древних платформ, содержат гелий с низкими, радиогенными отношениями $^3\text{He}/^4\text{He} \cdot 10^{-8}$, типичными и для природных газов этих регионов.

Таким образом, имеющаяся совокупность данных позволяет считать, что глубинные недра Земли содержат гелий с весьма высоким (по сравнению с радиогенным гелием) отношением $^3\text{He}/^4\text{He}$. Глубинный гелий всегда наблюдается в регионах, где активно проявляется современная тектоно-магматическая деятельность, трассирующая пути ювенильной дегазации Земли¹².

ПРИРОДА ГЛУБИННОГО ГЕЛИЯ

Вернемся теперь к вопросу, сформулированному в начале этой статьи: какова природа глубинного гелия с высоким изотопным отношением $^3\text{He}/^4\text{He}$?

При рассмотрении такого рода проблем возможны два подхода. Первый из них — рассмотреть «все» мыслимые объяснения и выбрать из них наиболее правдоподобное. Здесь слово «все» не зря стоит в кавычках. Его смысл зависит от общего уровня развития науки, от компетенции исследователя и еще от многих причин. Тем не менее при обсуждении природы процессов, которые невозможно ни наблюдать, ни моделировать в лаборатории, приходится использовать и этот, не совсем корректный путь.

Мы не будем подробно обсуждать здесь предположения, рассмотренные в

специальной литературе¹³, а проиллюстрируем характер наших рассуждений несколькими примерами. Так, предположение о глобальном изменении изотопного состава радиогенного гелия в мантии на несколько порядков величины из-за природных процессов разделения изотопов было отвергнуто нами без особых затруднений. Простое сопоставление изотопных композиций гелия и любого другого легкого летучего элемента (H, C, O, Ne и др.) в природных объектах доказывает, что такие процессы в земных условиях отсутствуют.

Предположение о спалогенной природе избыточного ^3He не согласуется с изотопным составом других благородных газов Земли, практически полностью лишенных спалогенного компонента.

Идея японских исследователей И. Такаги и соавторов об образовании изотопных аномалий благородных газов вследствие взаимодействия атмосферных мюонов с веществом твердой Земли не подтверждается данными о глубинном происхождении гелия с высоким отношением $^3\text{He}/^4\text{He}$. Мюонный поток быстро затухает с глубиной, а горные породы и минералы, находившиеся вблизи поверхности Земли в течение миллиардов лет, не содержат избытка ^3He .

Единственным непротиворечивым и плодотворным оказалось представление о сохранности в недрах Земли первичных благородных газов, в том числе и гелия, захваченных нашей планетой вместе с веществом метеоритов в период ее аккумуляции. В современную геологическую эпоху глубинный гелий характеризуется отношением $^3\text{He}/^4\text{He} \approx 10^{-5}$ — на порядок ниже, чем в первичном, солнечном, гелии. Это уменьшение величины $^3\text{He}/^4\text{He}$, вероятно, обусловлено двумя процессами: распадом находившихся в мантии тяжелых радиоактивных элементов и дегазацией (дифференциацией) недр.

Второй подход, используемый при изучении природы многих явлений, заключается в согласовании гипотезы со всей совокупностью наиболее надежных экспериментальных данных и априорных предположений, так или иначе связанных с рассматриваемым явлением. Так, можно предположить, что часть первичных благо-

¹² Ювенильная дегазация — дегазация древнейших веществ Земли, не принимавших участия во внешнем кругообороте.

¹³ Tolstichin I. N., Mamyrin B. A., Khabarin L. V., Erlich E. N. Isotope composition of Helium in neotectonic xenoliths of Kamchatka. — «Earth Planet. Sci. Lett.», 1974, v. 22, No 1.

родных газов, наблюдаемых в атмосфере, сохранилась и в твердой Земле, поскольку трудно представить себе «абсолютно» полную дегазацию планеты. В числе этих газов в недрах сохранился и первичный неон. Здесь следует подчеркнуть, что во всех объектах Солнечной системы¹⁴ первичные гелий и неон содержатся в постоянной пропорции и всегда встречаются вместе. Таким образом, следует считать, что и первичный гелий должен частично сохраниться в твердой Земле (хотя он практически нацело потерян земной атмосферой).

Эти качественные рассуждения были подкреплены детальными модельными расчетами. В рамках единой модели дегазации и дифференциации Земли удалось согласовать эволюцию радиоактивных и радиогенных изотопов и первичных благородных газов в мантии, коре и атмосфере Земли¹⁵. Более того, некоторые следствия, непосредственно вытекавшие из модели, были в дальнейшем подтверждены экспериментально.

Таким образом, в соответствии с современными данными высокие отношения $^3\text{He}/^4\text{He} \approx 3 \cdot 10^{-5}$ в мантии Земли есть следствие сохранности в ней первичного гелия, имплантированного солнечным ветром юного Солнца в вещество газопылевой туманности и впоследствии захороненного вместе с этим веществом при образовании нашей планеты. Изоляция первичных газов в глубинных недрах была столь хорошей, что часть их сохранилась на протяжении $4,5 \cdot 10^9$ лет. Расчеты показывают, что в недрах осталось около 10% первичных газов.

В настоящее время изложенная выше точка зрения является общепринятой. Таким образом вопрос, вынесенный в начало статьи, получил положительный ответ.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ ГЕЛИЯ В ОБОЛОЧКАХ ЗЕМЛИ

Подводя итог, сформулируем теперь главные черты распределения гелия в оболочках Земли.

В глубинных недрах Земли сохранился первичный гелий. Его смещение с ра-

диогенным приводит к появлению повсеместно в мантии гомогенной смеси изотопов ^3He и ^4He с характерным современным отношением $^3\text{He}/^4\text{He} \approx 3 \cdot 10^{-5}$. В прошлые геологические эпохи это отношение было еще более высоким.

В момент внедрения глубинных магм, расплавов в пределы земной коры происходит их почти полная дегазация. Это убедительно подтверждается результатами калий-аргонового датирования молодых изверженных пород. Калий-аргоновые «часы» показывают весьма малое время, что связано с почти полными потерями радиогенного аргона в момент «рождения» породы. Если же был потерян аргон, то значит и потери гелия были весьма большими. Во вновь возникших породах, как правило, обогащенных (по сравнению с породами мантии) радиоактивными элементами и обедненных мантийными летучими компонентами (в том числе изотопом ^3He), накапливается радиогенный гелий. Такие породы (и связанные с ними газы) характеризуются промежуточными отношениями $^3\text{He}/^4\text{He} \approx 10^{-6} - 10^{-7}$.

Наконец, примерно через 1 млрд лет после завершения тектоно-магматической активизации региона, в породах и газах начинает преобладать накопившийся радиогенный гелий с отношением $^3\text{He}/^4\text{He} \approx 10^{-8}$.

Изотопный состав гелия атмосферы формируется в результате дегазации мантии (поставляющей в атмосферу почти весь ^3He и примерно половину ^4He), дегазации коры (поставляющей половину ^4He) и диссипации обоих изотопов из атмосферы в околоземное космическое пространство.

Динамический баланс всех потоков обоих изотопов гелия приводит к изотопному отношению $^3\text{He}/^4\text{He}$ в современной нижней атмосфере, равному $(1,39 \pm \pm 0,01) \cdot 10^{-6}$.

Изотопный состав гелия гидросферы формируется в результате двух главных процессов: растворения атмосферного гелия в водах океана и подтока гелия из пород океанического дна (или сквозь них). В зависимости от природы (изотопного состава) инъецируемого гелия и интенсивности его подтока отношение $^3\text{He}/^4\text{He}$ в гелии океанической воды может заметно отличаться от такового в растворенном атмосферном гелии, достигая, например, величины $1,8 \cdot 10^{-6}$.

В околоземном космическом пространстве преобладает солнечный гелий с отношением $^3\text{He}/^4\text{He} = 3 \cdot 10^{-4}$.

¹⁴ Исключение составляют лишь атмосферы Земли и планет земной группы, в которых соотношение между неоном и гелием нарушается вследствие диссипации последнего.

¹⁵ Толстихин И. Н., Азбель И. Я., Хабарин Л. В. Изотопы легких инертных газов в мантии Земли, коре и атмосфере. — «Геохимия», 1975, № 5.

В заключение остановимся на рассмотрении проблем, при обсуждении которых полезно использовать новые данные, полученные в области изотопной геохимии гелия.

Существование в недрах первичного (солнечного) гелия должно учитываться при построении моделей аккумуляции нашей планеты. Какими бы «быстрыми и горячими» не были эти модели, они должны обеспечить сохранность в недрах Земли самых летучих элементов, к которым, несомненно, относится гелий.

Новые сведения, полученные в области изотопии природного гелия, могут быть количественно согласованы с известными данными о распространенности радиоактивных элементов, содержаниями первичных газов в атмосфере только для «нехондритовой» или «ахондритовой» модели Земли. Таким образом, эти данные должны использоваться и при обсуждении вопроса о протовеществе Земли.

Изотопное отношение $^3\text{He}/^4\text{He}$ в мантии является уникальной четкой меткой глубинных флюидов. Впервые появилась возможность ответить на вопросы: кора или мантия Земли является источником исследуемых флюидов, есть ли в них примеси мантийных летучих компонентов. Хотя пока ответ на эти вопросы носит качественный характер, в дальнейшем, возможно, удастся перейти и к количественным оценкам соотношения летучих компонентов мантии, земной коры и атмосферы Земли в наблюдаемых природных флюидах.

Полученная прямая корреляция между отношением $^3\text{He}/^4\text{He}$ в природных газах и величиной теплового потока позволяет надежно отделять конвективный по своей природе компонент от кондуктивного. Предварительные данные свидетельствуют о значительном вкладе конвективного потока в общие теплотери Земли.

Современные модели дегазации Земли привели к существенно более высоким величинам потока ^3He из твердой Земли в атмосферу. Этот результат позволяет по-новому подойти к решению проблем диссипации изотопов гелия в космическое пространство.

Исследования в области изотопной космо-геохимии гелия позволили разработать методы идентификации выпадающего на Землю космического вещества и уточнить величину потока этого вещества из косми-

ческого пространства на поверхность Земли.

Полученные результаты могут и должны использоваться при решении многих вопросов практической геологии. Очевидны важные выводы из представленной картины распределения и движения изотопов гелия в верхних геосферах для своеобразного картирования структуры земной коры (обнаружение современных разломов коры, интрузий (внедрений) молодых глубинных пород и т. д.). Знание средних, региональных отношений $^3\text{He}/^4\text{He}$ дает возможность судить о природе локальных аномалий этой величины и использовать их для поисков некоторых месторождений полезных ископаемых. Появилась возможность решения ряда гидрологических проблем, например уточнение карт океанических течений с помощью естественного трассера — избыточного ^3He , который метит воды, проходящие над подвижными глубинными разломами. Не исключено, что полезная информация будет получена с помощью изотопии гелия и в таких важнейших проблемах, как прогнозирование землетрясений и извержений вулканов.

Строение и история развития осадочной оболочки Земли

А. Б. Ронов



Александр Борисович Ронов, член-корреспондент АН СССР, заведующий лабораторией Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР. Автор многочисленных работ по геохимии литологии, палеогеографии, эволюции химического состава осадочной оболочки Земли, океана и атмосферы.

В концентрической структуре нашей планеты осадочная оболочка (стратисфера) образует самый внешний твердый покров¹. Она залегает непосредственно на кристаллической земной коре, а сверху контактирует с атмосферой или с водами морей и океанов. Такое положение осадочной оболочки определяет сравнительно низкие значения температуры и давления на ее поверхности и постепенное их нарастание с глубиной.

Известно несколько попыток оценить общий объем, массу, соотношения и состав пород, слагающих осадочную оболочку, среди которых в первую очередь следует упомянуть работы Ф. Кларка (1924), В. Гольдшмидта (1933), Ф. Кюнена (1941), А. Полдверварта (1955), Р. Гаррелса и Ф. Маккензи (1971). Точность этих оценок невелика, так как эти ученые исходили либо из общих теоретических соображений, либо опирались на ограниченные фактические данные. С количественных же по-

зиций история формирования вещества осадочной оболочки, по существу, никем не рассматривалась. Потребовалось более четверти века упорного труда, чтобы в первом приближении построить количественную модель строения и истории развития осадочной оболочки. В основу этой модели положены эмпирические факты геологии и геохимии, количественно обработанные исходя из подсчета объемов, масс, химических составов пород и их распространенности в осадочной оболочке. Были установлены также закономерности периодических изменений всех перечисленных величин в течение тектонических циклов и необратимых их преобразований в ходе геологического времени. Это стало возможным лишь после того, как был разработан так называемый объемный метод (метод измерения объемов и масс осадочных пород различного возраста)² и оценены достоверность и ограничения его приложения к изучению фанерозойских и верхнепротерозойских литологических формаций мира. Кроме того, необходимо

¹ Термин «осадочная оболочка» условен в том смысле, что на континентах помимо преобладающих слоистых осадочных пород в строении оболочки участвуют вулканические породы, представленные траппами на платформах, базальтами, андезитами, дацитами и реголитами — в геосинклиналях.

² Ронов А. Б. История осадконакопления и колебательных движений Европейской части СССР (по данным объемного метода). — «Труды Геофизического института АН СССР», 1949, № 3 (130).

было изучить пропорции и состав важнейших типов осадочных и вулканических пород на платформах и в геосинклиналях материков на разных стадиях их развития. Исходные данные существенно пополнились благодаря глубокому бурению дна океанов.

Новые количественные геологические и геохимические данные позволили построить схемы современного строения осадочной оболочки Земли, изменений петрографического и химического состава областей эрозии древних континентов, эволюции состава пород областей накопления осадков, тенденций изменения во времени мобильности коры и обусловленных этими необратимыми изменениями эволюционных преобразований состава газов атмосферы и вод океана. Реконструкция этих процессов далекого прошлого нашей планеты путем обобщения огромного фактического материала, накопленного геологией, на новой количественной основе представляет одну из актуальнейших проблем наук о Земле. Ее рассмотрению как раз и посвящена настоящая статья.

СОВРЕМЕННОЕ СТРОЕНИЕ ОСАДОЧНОЙ ОБОЛОЧКИ

Осадочная оболочка не образует сплошного слоя на поверхности Земли. Из 149 млн км² площади материков и островов осадочный чехол покрывает лишь 119 млн км², т. е. 80% площади суши. На поверхности остальной ее части выходят докембрийские кристаллические породы. На материках осадочная оболочка залегает на «гранитном» слое земной коры и сложена породами преимущественно фанерозойского и верхнепротерозойского возраста, хотя известны и более древние средние и нижнепротерозойские, не очень сильно метаморфизованные осадки протоплатформ, но их распространение на поверхности материков сравнительно невелико. Осадочные породы океанов лежат на базальтах второго слоя океанической коры³. Самые древние осадки, вскрытые глубоководным бурением с корабля «Гломар Челленджер», относятся к верхней юре; среди пробуренных пород присутствуют

отложения мела, палеогена, неогена и четвертичной системы. Их возраст и мощность постепенно убывают к срединным океаническим хребтам, где осадочный слой сходит на нет.

По моему мнению, до сих пор остается загадкой, существуют ли океанические осадки древнее юрских? Сторонники тектоники плит утверждают, что такие осадки накапливались в геологическом прошлом, но впоследствии были уничтожены (ассимилированы) в зонах субдукции при погружении океанической литосферы под континенты. Не лишено, однако, вероятно, что в глубоких котловинах и на поднятиях ложа океанов, особенно Тихого, в основании осадочного (первого сейсмического) слоя, а также внутри второго слоя, состоящего в основном из базальтов, могли сохраниться древние океанические осадки раннемезозойского и палеозойского возраста. Вопрос остается открытым и будет снят лишь после полного разбуривания толщ первого и второго сейсмических слоев в разных структурных зонах Мирового океана.

Мощность осадочной оболочки меняется на площади в широких пределах: от 0 до 20—30 и более километров с максимумами в геосинклинальных областях, краевых платформенных впадинах типа Прикаспийской и в глубоких прогибах шельфа. В среднем же для всей Земли мощность осадочной оболочки равна всего лишь 2,2 км, причем средняя мощность в ряду глобальных структур последовательно уменьшается от континентов (5 км) к шельфу и материковому склону (2,5 км) и затем к океаническому ложу (0,4 км). На континентах она убывает от геосинклиналей (12,4 км) к платформам (2,4 км)⁴. Общий объем пород осадочной оболочки, по данным наших измерений, оценивается в 1100 млн км³, что составляет около 11% объема земной коры. Таковы масштабы рассматриваемого нами объекта.

В распределении общего объема пород оболочки между крупнейшими глобальными структурами Земли видна резко выраженная диспропорция, отражающая, по-видимому, асимметрию и глубинную неоднородность строения планеты. Основ-

³ Подробнее о слоях океанической земной коры см.: Рудник Г. Б., Кашинцев Г. Л. Земная кора под океаном.— «Природа», 1979, № 4.

⁴ См. статьи Ронова А. Б., Хаина В. Е., Балуховского А. Н. и Селвинского К. Б. по литологическим формациям мира, опубликованные с 1954 по 1979 г. в журнале «Советская геология».

ная масса пород оболочки (около 70%) сосредоточена на материках, занимающих лишь 29% земной поверхности. Континентальный блок вместе с шельфом и материковыми склонами контролирует 83% объема пород оболочки, охватывая при этом лишь 42% площади планеты. На ложе океанов, занимающее 58% общей площади Земли, приходится лишь 17% общего объема стратисферы.

Неравномерность распределения объемов и масс оболочки прослеживается и в пределах каждой из глобальных структур. Так, например, на континентах ярко выражены две системы неоднородностей. Первая связана с делением материков на два блока — Лавразию и Гондвану, которые отличались друг от друга в неогее, т. е. в фанерозое и позднем протерозое, режимом эпейрогенических движений. На материках Лавразии (Европа, Азия и Северная Америка), занимающих около половины суммарной площади континентов, залегают 3/4 общего объема пород континентальной части оболочки, тогда как на материках Гондваны (Африка, Южная Америка, Австралия и Антарктида) — всего лишь 1/4. К этому следует добавить, что 2/3 общей площади континентальных щитов сосредоточено на материках Гондваны. Характерно также, что именно здесь лишь половина общего объема пород тяготеет к геосинклиналям, тогда как в Лавразии геосинклинальные отложения составляют 3/4 общего их объема. Весьма показательны отличия и в пропорциях пород между этими блоками. Терригенные (обломочные) формации Гондваны слагают более 3/4 общего объема отложений неогее, а Лавразии — лишь немногим более половины. При этом доля континентальных осадков и наземных вулканитов на Гондване вдвое выше, чем в Лавразии, где значительно шире представлены карбонатные породы, эвапориты (соли, гипсы, ангидриты) и продукты подводного вулканизма. Все перечисленные факты свидетельствуют о преобладании в неогее погружений земной коры в Лавразии и ее поднятий на Гондване.

Каждому в отдельности взятому материку присущи свои специфические особенности распределения формаций. Так, например, для Евразии характерно максимальное распространение в неогее карбонатных формаций (25% от общего объема отложений), для Северной Америки — соленосных (1,2%) и подводно-вулканогенных (20%) формаций; для Южной Америки — ледниковых (3%) и наземно-вул-

каногенных (7%) формаций; для Африки — континентальных обломочных (30%), а для Австралии — морских обломочных формаций (55%).

Вторая система неоднородностей в распределении объемов осадочной оболочки континентов связана с существованием тектонической зональности и разными скоростями седиментации на платформах и в геосинклиналях. Почти 3/4 общего объема оболочки сосредоточено в геосинклинальных областях и лишь 1/4 — на платформах (рис. 1). Различия между стабильными и активными зонами коры континентов сказываются в пропорциях слагающих их пород. В геосинклиналях гораздо шире представлены вулканические и кремнистые породы, а на платформах — песчаные, глинистые и карбонатные типы осадочных пород. Однако, если исключить из рассмотрения эффузивы, как породы генетически не связанные с осадочной оболочкой, то крупные расхождения в распространности важнейших типов осадочных пород сходят практически на нет, если не считать более высокого содержания эвапоритов на платформах и кремнистых пород в геосинклиналях. Я не говорю о качественных различиях, которые сказываются на существовании специфических разновидностей пород, присущих платформенным и геосинклинальным областям, а также о существенных отличиях в минералогических ассоциациях пород и их химических составах.

Значительные неоднородности в распределении объемов и в распространности формаций наблюдаются по вертикальному разрезу осадочной оболочки континентов. Они проявляются прежде всего в том, что отсутствует пропорциональность между объемами пород крупнейших стратиграфических комплексов неогее и их абсолютной длительностью. Так, например, почти половина общего объема пород стратисферы континентов заключена в палеозойских толщах, которые накопились лишь за 335 млн лет, т. е. 21% общей длительности неогее (1,6 млрд лет). В противоположность этому отложения верхнего протерозоя составляют лишь 16% объема пород оболочки, а длительность этого стратиграфического подразделения значительно превышает половину неогее. Выявленные неоднородности в распределении осадочных пород связаны с различиями в скоростях седиментации на разных этапах неогее. Наряду с этим в вертикальном разрезе осадочных пород континентов существенно меняются про-

порции формаций. Эти изменения особенно контрастны, если сравнивать верхнепротерозойский и фанерозойский срезы оболочки. В верхнем протерозое господствуют терригенные породы (80%) при ограниченном развитии карбонатных (11%) и вулканических (8%) пород и ничтожном распространении эвапоритов (0,3%). В фанерозойских же толщах роль терригенных пород более скромная (59%), тогда как карбонаты и вулканиды имеют вдвое большую распространенность (23% и 16% соответственно), а количество эвапоритов в три раза выше, чем в протерозое.

личие их состава от среднего состава пород «гранитной» оболочки, которые служили одним из главных источников вещества осадков, по крайней мере, последние 1,5 млрд лет. Это отличие прежде всего проявляется в резко повышенном содержании в осадочной оболочке и непосредственно связанной с ней гидросфере воды, углекислоты, органического углерода, а также серы, хлора, фтора, бора и других «избыточных летучих», что рассматривается всеми геохимиками как указание на их

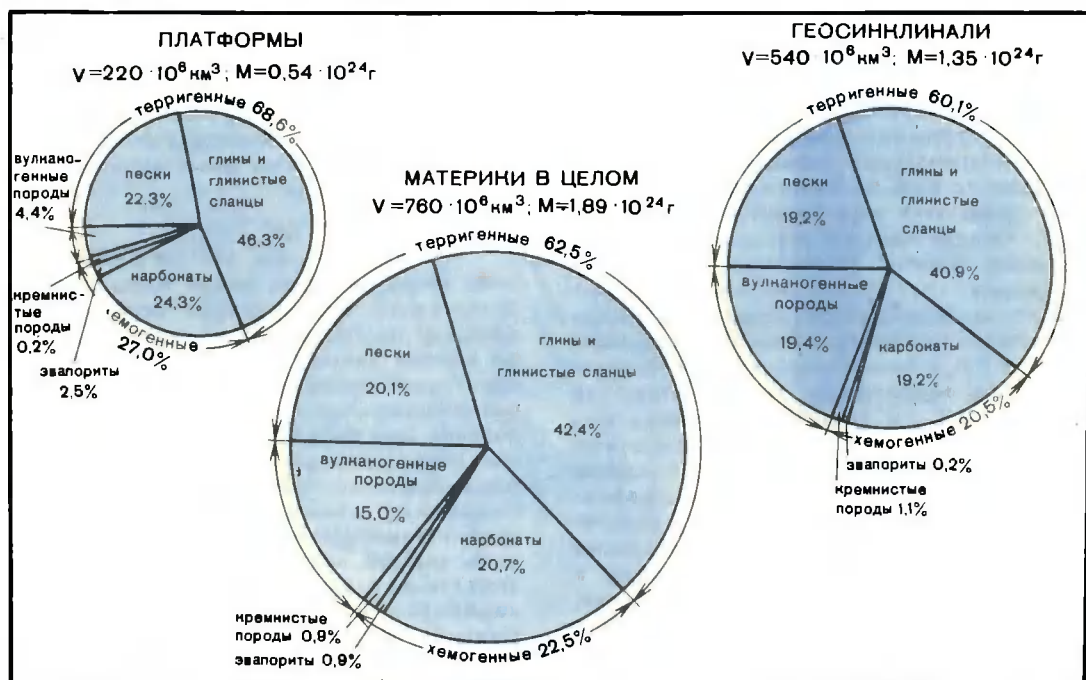


Рис. 1. Диаграмма распространенности основных типов пород в осадочном чехле платформ, геосинклиналей и материков в целом, иллюстрирующая различия в масштабах накопления разных типов осадков между мобильными [геосинклинали] и стабильными [платформы] зонами земной коры. В геосинклиналях за 1,6 млрд лет накопился почти вдвое больший объем отложений, чем на платформах.

Перечисленные особенности свидетельствуют о нарастании в ходе геологического времени процессов дифференциации вещества оболочки.

Важнейшей особенностью осадочных пород является отчетливо выраженное от-

непосредственное выделение из мантии в процессе ее дегазации.

Другая важная особенность состава осадочных пород — высокое по сравнению с «гранитным» слоем содержание в них кальция, что до сих пор остается самой загадочной чертой геохимии поверхностных оболочек. Весьма характерно для осадочных пород сдвинутое в пользу калия отношение натрия к калию, не компенсируемое избытком натрия в океане, что приводит к некоторому дефициту натрия в стратосфере и гидросфере (вместе взятых) относительно «гранитной» оболочки. Кроме того, осадочным породам свойственна повышенная величина отношения окисного железа к закисному, которая определяется окислительными условиями на земной по-

верхности, также как и повышенное содержание в осадочных породах сульфатной серы.

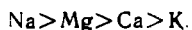
Все приведенные особенности наиболее ярко выражены в платформенных осадках, являющихся продуктами интенсивного выветривания и далеко зашедшей поверхностной дифференциации. В отличие от них геосинклинальные осадки, обогащенные основным вулканогенным материалом, в силу особенностей условий эрозии и седиментации, подверглись значительно меньшим изменениям (особенно пески) и по своему составу ближе к исходным материнским породам, главным образом основным эффузивам глубинного происхождения. Если же принять во внимание тот факт, что с увеличением геологического возраста осадочных толщ увеличивается вклад геосинклинальных и, в частности, эвгеосинклинальных пород в общий баланс осадков, то роль основного материала должна проявиться еще более отчетливо⁵.

Осадки первого сейсмического слоя океанов заметно отличаются по своему среднему составу от пород осадочной оболочки континентов более высокими содержаниями карбонатных составляющих (CaO и CO_2), пониженными концентрациями таких терригенных компонентов, как Al_2O_3 и TiO_2 , и сдвинутым в пользу натрия отношением $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$. Для океанических осадков характерно преобладание среди глинистых минералов монтмориллонитовых ассоциаций, тогда как в осадочных толщах континентов преобладают гидрослюдистые ассоциации, особенно в глубоко залегающих древних горизонтах. На материках монтмориллонитовые ассоциации имеют широкое развитие лишь в верхних этажах разреза.

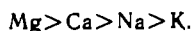
ЭВОЛЮЦИЯ ОСАДОЧНОЙ ОБОЛОЧКИ, АТМОСФЕРЫ И ГИДРОСФЕРЫ

От архея до современной эпохи развивался необратимый процесс увеличения площади платформ за счет отмирания геосинклиналей⁶. Естественным следствием

этого процесса было не только уменьшение площади распространения геосинклинального вулканизма и интрузивной деятельности, но и изменение интенсивности процессов выветривания и выноса его продуктов в моря и океаны. Сравнительное изучение осадочной дифференциации в пределах стабильных и мобильных зон коры позволило установить, что на платформах интенсивность разложения пород выше, дифференциация полнее. Величина выноса убывает от наиболее подвижных к наименее подвижным элементам, образуя ряд, отвечающий распространенности этих элементов в водах современного океана:



При выветривании же геосинклинальных пород этот ряд перестраивается вследствие более основного состава материнских пород и неполного их разложения в процессе выветривания:



Можно полагать, что на ранних стадиях развития коры, когда площадь геосинклиналей была гораздо больше, чем площадь платформ, преобладали процессы выноса элементов в океан по геосинклинальной схеме, тогда как на более поздних стадиях — по платформенной⁷. На основании этих выводов, а также наблюдений над современными природными и экспериментальными моделями разложения (гидролиза) гранитов и базальтов намечена приблизительная схема эволюции катионного состава вод Мирового океана⁸. Из этой схемы следует, что воды древнего докембрийского океана отличались от современной морской воды повышенным содержанием Ca , Mg и K и более низким — Na .

Возраст наиболее древних осадочных пород достигает 3,8 млрд лет. Вероятно, существуют и более древние осадки, следы которых могут быть обнаружены в нижних горизонтах «гранитного» и в «базальтовом» слоях коры. Положение границ осадочной оболочки изменялось в течение всей ее истории, так как процессы регионального метаморфизма, ультраме-

⁵ Ронов А. Б., Ярошевский А. А. Новая модель химического строения земной коры. — «Геохимия», 1976, № 12.

⁶ Шатский Н. С. Рифейские структуры Урала. — «Известия АН СССР, сер. геол.», 1946, № 6; Ронов А. Б. Принципы сохранения жизни в ходе геологической эволюции Земли. — «Природа», 1978, № 4.

⁷ Ронов А. Б., Гири Ю. П., Казако Г. А., Илюхин М. Н. Осадочная дифференциация в платформенных и геосинклинальных бассейнах. — «Геохимия», 1966, № 7.

⁸ Ронов А. Б. Общие тенденции эволюции состава земной коры, океана и атмосферы. — «Геохимия», 1964, № 8.

таморфизма и гранитизации осадочных толщ вели к наращиванию «гранитного» слоя на континентах и к подъему нижней границы оболочки. С конца архея область проявления этих процессов сокращалась от цикла к циклу вследствие стабилизации коры и роста площади платформ на месте бывших геосинклиналей. Суммарный вклад осадочного материала в строение земной коры составляет в соответствии с результатами приблизительных подсчетов не менее 35% общей ее массы.

Изменялось и положение верхней границы оболочки вследствие отложения

все более и более молодых серий осадков в областях прогиба коры. Осадочная оболочка нарастала за счет поступления вулканогенного материала с глубин, терригенного — со щитов и внутренних поднятий, хемогенного — из океанов и атмосферы, ресурсы которых непрерывно пополнялись благодаря выносу растворенных продуктов выветривания с материков и «избыточных летучих» из недр Земли.

В современную эпоху Мировой океан совместно с внутренними и краевыми морями покрывает 361 млн км², т. е. около 71% поверхности Земли. Это ми-

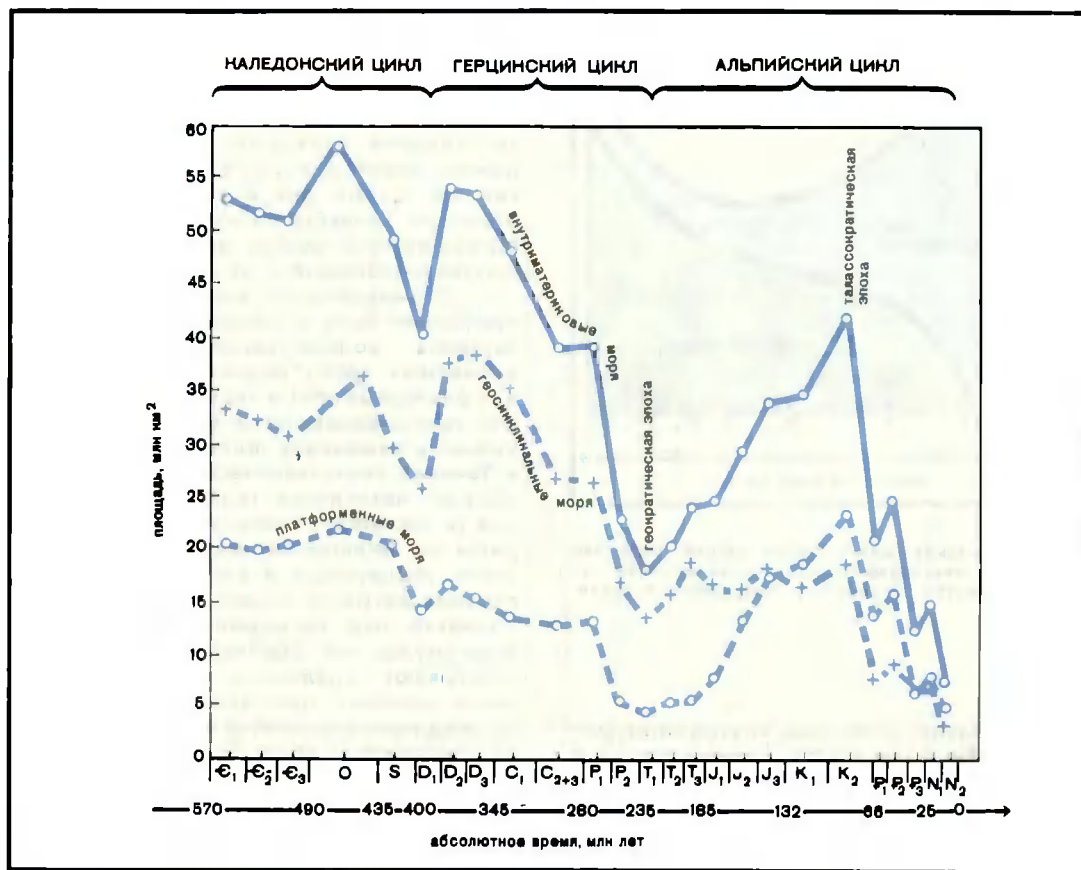


Рис. 2.

Изменения во времени площади, покрытой морем в пределах платформ, геосинклиналей и современных континентов в целом. График количественно отражает периодический ритм трансгрессий и регрессий морей на континенты за фанерозой, т. е. за последние 570 млн лет земной истории. Максимальная площадь внутриматериковых морей приходилась на срединные (атлассократические) стадии тектонических циклов, а минимальная —

на начальные и заключительные (геократические) стадии. В течение каледонского и герцинского циклов площадь, занятая геосинклинальными морями, была в 2—2,5 раза большей, чем площадь морей платформенных, но со средин альпийского цикла намечался перелом в сторону преобладания площади платформенных морей. Если отвлечься от деталей, то прежде всего бросается в глаза общее сокращение площади внутриматериковых морей от кембрия и современной эпохи.

нимальная площадь, так как мы живем в геократическую эпоху, для которой характерна регрессия морей с приподнятых континентов. Геократические эпохи известны и в прошлом, причем все они были приурочены к заключительным стадиям геотектонических циклов. К ним относятся ранний девон — рубеж каледонского и герцинского циклов, поздняя пермь — средний триас — граница герцинского и альпийского циклов, миоцен — четвертичный период — граница альпийского и будущего цикла, не имеющего еще своего

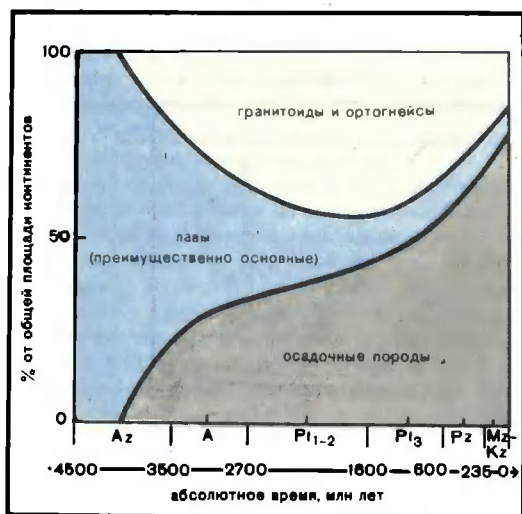


Рис. 3. Схема, показывающая в самом общем виде, как изменялся петрографический состав древней суши континентов от архея до современной эпохи.

наименования. Площади внутриматериковых морей были всегда минимальными в геократические эпохи (рис. 2). В талассократические же эпохи, которые связаны со срединными стадиями циклов, площади внутриматериковых морей значительно возрастали вследствие погружения континентов и развития крупных трансгрессий. Такими талассократическими эпохами были ордовик, средний девон — ранний карбон и поздний мел. При этом имела место сходная периодичность в развитии наиболее крупных трансгрессий и регрессий на платформах и в геосинклиналях. Различия между этими зонами носят чисто количественный характер. В геосинклиналях морские бассейны покрывали в течение боль-

шей части фанерозоя свыше половины их общей площади, а на платформах — менее 25%.

Периодические поднятия и опускания поверхности континентов и связанные с ними трансгрессии и регрессии морей, а также климатические перемены вызывали изменения интенсивности выветривания и масштабов эрозии континентов, объема речного стока, масс и пропорций механических и растворенных продуктов, сносимых с материков в океаны. Это обстоятельство заставляет нас с осторожностью относиться к подсчетам геохимического баланса потоков веществ в геологическом прошлом, основанным на параметрах, наблюдаемых в современную эпоху. В лучшем случае наше время может служить стандартом для геократических периодов фанерозоя. Весьма сомнительно, чтобы сегодняшние параметры являлись полноценной мерой для эпох великих трансгрессий, не говоря уже о тех геологических периодах далекого прошлого, когда петрографический состав древней суши существенно отличался от современного.

Справедливость высказанных сомнений может быть доказана, если проанализировать количественное соотношение важнейших групп формаций континентов для различных эпох и периодов фанерозоя. Это соотношение четко фиксирует периодичность изменения пропорций формаций в течение геотектонических циклов. Максимумы накопления терригенных формаций (в частности, континентальных) приходится на заключительные стадии каледонского, герцинского и альпийского циклов, отражая регрессии морей и преобладание поднятий над погружениями материков. Максимумы же образования карбонатов охватывают срединные стадии циклов, эпохи крупных трансгрессий, относительно медленных поднятий областей размыва и погружений областей накопления осадков. Периодический характер носят также изменения общих объемов отложений континентов с максимумами в срединные стадии геотектонических циклов и минимумами в начальные и заключительные их стадии. Результаты измерений объемов пород свидетельствуют не только о периодическом развитии процесса прогибания земной коры континентов, но и о согласованности движений геосинклиналей и платформ, а также о гораздо больших масштабах накопления осадков в подвижных зонах земной коры, чем в стабильных.

Одинаковая во времени направленность изменений объемов осадков плат-

форм и геосинклиналей указывает, что в их основе лежат глобальные процессы, приводящие к периодическому оживлению и затуханию тектонической активности, что нашло свое отражение в трансгрессиях и регрессиях Мирового океана, в увеличении и уменьшении объемов отложений и средних скоростей погружения. Существование этого глобального ритма проявляется вопреки разному поведению отдельных крупных блоков литосферы, что указывает на преобладающую роль глобальных тенденций по сравнению с регио-

нальными⁹. На фанерозойском этапе отчетливо просвечивают необратимые и направленные изменения палеогеографических условий седиментации, которые выразились в расширении площади континентальных условий накопления осадков и соответствующем сокращении площади накопления осадков в морских условиях.

Обратимся теперь к рассмотрению эволюции петрографического состава областей эрозии континентов. Главной ее тенденцией явилось последовательное сокращение площади выходящих на поверх-

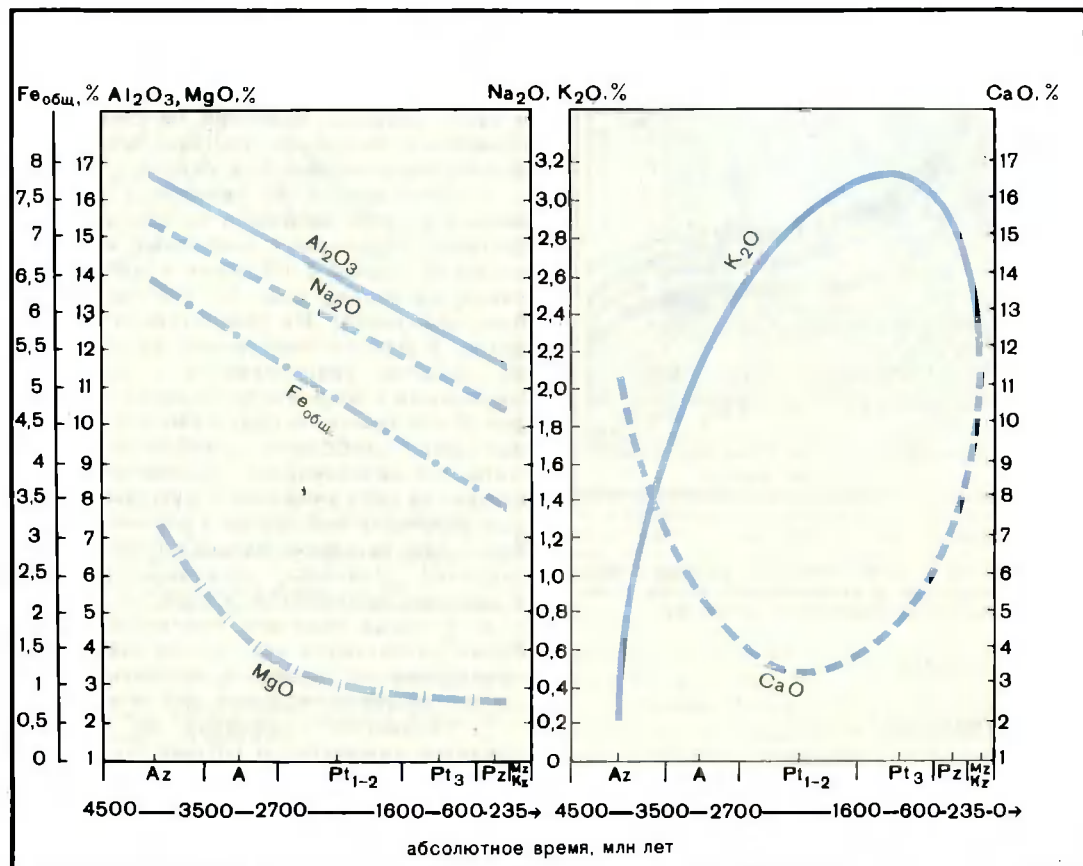


Рис. 4. Схема изменения химического состава областей эрозии материков от архея до современной эпохи.

Кривые слева отображают закономерное снижение содержания Na, Mg, Fe и Al в породах, слагающих древнюю сушу. Кривые справа отражают более сложное изменение содержания K и Ca.

ность основных эффузивов и рост площади осадочных пород (рис. 3). Распределение гранитоидов более сложное. С усилением

⁹ Ронов А. Б., Хаин В. Е., Балуховский А. Н., Сеславинский К. Б. Изменение распространенности, объемов и скоростей накопления осадочных и вулканических отложений в фанерозое (в пределах современных материков). — «Известия АН СССР, сер. геол.», 1976, № 12.

процессов гранитизации и последующей эрозии древних складчатых областей площадь их выходов на поверхность возрастала и достигла максимума в конце среднего протерозоя. Затем происходило постепенное ее сокращение вследствие перекрытия кристаллического фундамента платформенным чехлом позднепротерозойских и более молодых осадков.

Исходя из принятой схемы измене-

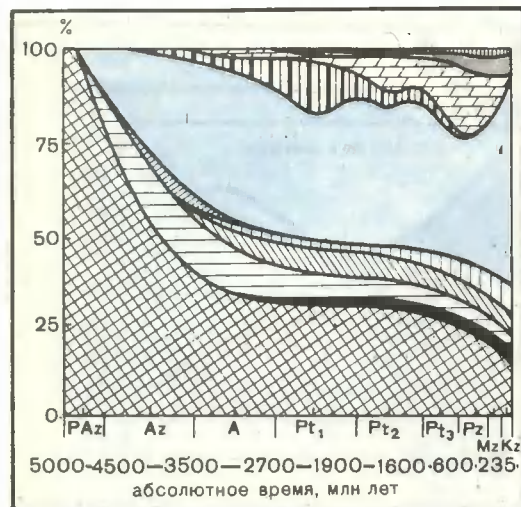


Рис. 5. Схема эволюции литологического состава и пропорций осадочных и вулканических пород в областях накопления осадков на материках.



ний во времени пропорций разрушавшихся пород континентов, а также данных о составах пород разного возраста из СССР, США и ряда других стран мира, рассмотрены геохронологические тенденции изменений среднего химического состава размывавшегося субстрата континентов (рис. 4). При подсчетах использованы обширные материалы, насчитывающие десятки тысяч анализов и характеризующие средний химический состав пород щитов и осадочного покрова платформ и геосинклиналей. Геохимическим следствием преобразования состава древней суши явилось изменение состава терригенных продуктов выветривания и растворов, выносившихся из областей эрозии континентов во внутриматериковые моря и океаны. Это, в свою очередь, повлияло на общее направление эволюции состава осадков и химического состава вод океана.

Остановимся на некоторых существенных деталях эволюции литологического состава и пропорций осадочных и вулканических пород в областях осадконакопления материков (рис. 5). Начнем с карбонатных пород. Их сравнительно мало в архее. В раннем протерозое их количество заметно увеличивается и достигает максимума в позднем протерозое и палеозое. В это время господствующее положение среди карбонатов приобретают доломиты, а в мезокайнозое — известняки. Обращает на себя внимание отсутствие заметных количества эвапоритов в раннем докембрии. Так, сульфаты кальция (гипсы и ангидриты) появились, по-видимому, лишь в среднем протерозое, а соли — в венде, т. е. в конце позднего протерозоя. Наиболее интенсивное накопление эвапоритов приходится на палеозой, в частности на ранний кембрий, поздний девон и пермь.

Тенденции изменения во времени среднего химического состава пород осадочной оболочки (в частности, глинистых), установленные в результате обобщения данных многочисленных анализов пород фундамента и осадочных чехлов Русской, Северо-Американской, Сибирской и некоторых других древних платформ мира, показывают, что распределение калия и натрия в осадках, по существу, аналогично схеме их распределения в породах областей эрозии континентов. Содержание натрия снижается в осадочных породах от архея до мезозоя. Эта тенденция объясняется взаимодействием двух генетически разнородных, но одинаково направленных во времени процессов. Первый из них, обусловленный замыканием докембрий-

ских геосинклиналей и расширением площади платформ, сопровождался последовательным затуханием эффузивного вулканизма и имел своим следствием постепенное сокращение привноса в платформенные области глубинного материала, обогащенного натрием. Развитие второго процесса связано с вовлечением исходного докембрийского геосинклинального материала в повторяющиеся циклы выветри-

ми). По мере перекрытия фундамента и значительной части щитов чехлом палеозойских осадков, принос на платформы терригенного материала, обогащенного калием, начал ослабевать. Переработка осадков в повторных циклах выветривания и седиментации привела в конце палеозоя, мезозое и кайнозое к очищению песков и глин от калия в результате разрушения калиевых полевых шпатов в песчаных по-

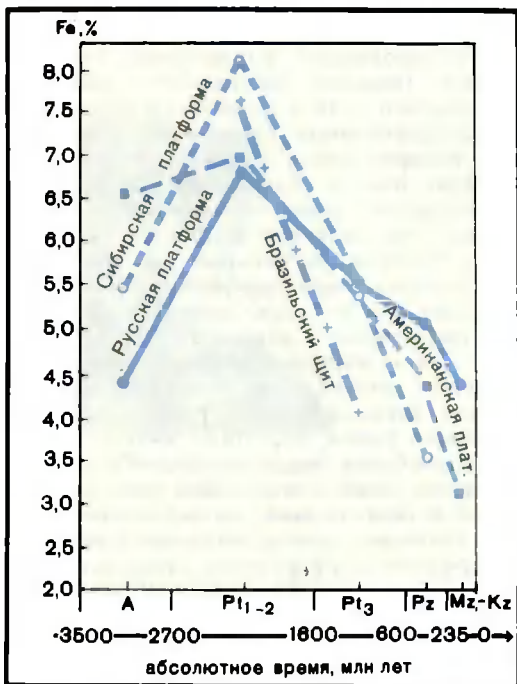


Рис. 6. Изменение во времени среднего содержания железа в глинах и их метаморфических эквивалентах на Русской, Северо-Американской, Сибирской и Бразильской платформах.

вания и седиментации, в результате прохождения через которые терригенный материал постепенно терял подвижный натрий, уносившийся речным стоком с континентов и накапливавшийся в океанах. Содержание калия растет вплоть до раннего палеозоя, а затем резко снижается в более молодых осадках. Эта тенденция является функцией взаимосвязанных процессов гранитизации, последующего размыта гранитизированных пород, накопления аркозовых ассоциаций в платформенных песках и захвата калия глинистым веществом (преимущественно гидрослюда-

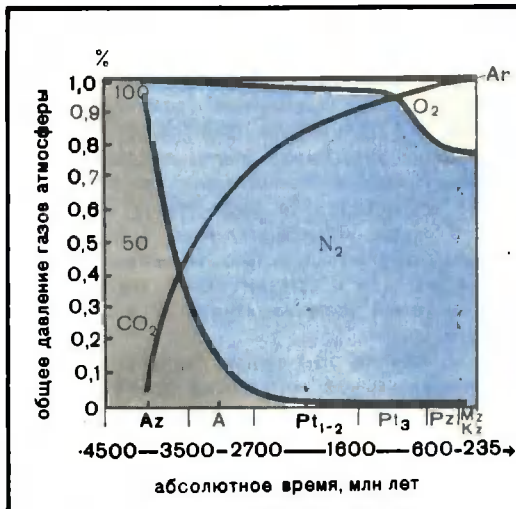


Рис. 7. Схема эволюции газового состава атмосферы Земли, отражающая увеличение содержания кислорода и падения содержания углекислоты от древнейших стадий развития воздушной оболочки до современной эпохи.

родах и замещения гидрослюда монтмориллонитом в глинах.

Приведенные данные убеждают нас в том, что роль древних осадочных пород как источника материала для более молодых осадков возрастала в ходе времени, а значение эффузивов и гранитоидов, наоборот, постепенно снижалось на фанерозойском этапе. Уменьшение вклада основного эффузивного материала в седиментацию выразилось в виде процесса очищения осадочных толщ от железа (рис. 6). Накоплению железистых пород (джеспилитов) в раннем протерозое предшествовал период длительной экзогенной переработки материала архейских эффузивно-осадочных серий, изначально содержавших большое количество железа. Это запечатлелось не только в рудообразовании, но и в повышенном уровне средних содержаний железа в нижнепротерозойских глинистых

толщах Балтийского, Украинского, Алданского, Канадского и Бразильского щитов. В дальнейшем состав глинистых пород обеднялся железом, содержание которого в глинах Русской, Сибирской и Северо-Американской платформ снизилось вдвое за период времени от раннего протерозоя до мезокайнозоя.

Процесс обеднения осадочных толщ железом сопровождался разделением железа и марганца. Это возможно лишь при условии, что железо, окисляющееся легче, чем марганец, с ростом содержания свободного кислорода в атмосфере переходило в малоподвижную трехвалентную форму, и в результате происходило разделение этих элементов. Именно с этим процессом связано возникновение в самом конце фанерозоя (в палеогене) крупнейших в мире месторождений марганца с рудами, почти полностью лишенными примесей железа и сравнительно мелких месторождений железа, очень бедных марганцем.

В начале 50-х годов была установлена закономерная тенденция роста во времени величины Ca/Mg — отношения в карбонатных породах. Эта тенденция присуща не только карбонатам, но всем осадкам континентов вообще. Она является функцией изменения состава областей сноса материков, что доказывается параллельным увеличением Ca/Mg — отношения в материнских породах и в производных осадках.

Среди других необратимых тенденций изменения состава осадочных пород следует отметить общий рост содержаний органического углерода, сульфатной и пиритной серы, а также отношения окисного железа к закисному. С увеличением массы органического вещества, рассеянного в осадках, железо, входящее в состав их минералов, не только не восстанавливалось, но, наоборот, все более и более окислялось. О том же говорит распределение сульфатной и пиритной серы. Исходя из этих фактов, а также учитывая, что основная масса глинистых минералов образуется в корах выветривания на контакте с атмосферой, мы вправе заключить, что в ходе геологического времени на земной поверхности нарастала интенсивность окислительных процессов, а в атмосфере увеличивалось содержание свободного кислорода (рис. 7). В ходе геологического времени последовательно уменьшалось количество углекислоты в атмосфере, постепенно росло содержание азота и медленно (на отдельных этапах скачкообразно) уве-

личивалось количество кислорода, связанного в основной своей массе с появлением и развитием жизни. Эти тенденции эволюции состава газов атмосферы во многом предопределили пути развития анионного состава вод древнего океана. Рост содержания кислорода в атмосфере сказался прежде всего на истории сульфатного иона. Окисление серы до сульфата привело в конце протерозоя — начале палеозоя к значительному росту его концентрации в морской воде и изменило тип равновесий, контролировавших содержание серы в океане. Падение парциального давления углекислого газа в атмосфере сопровождалось синхронным снижением концентрации бикарбонатных и карбонатных ионов в водах океана. Количество же хлора в океанических водах постепенно увеличивалось по мере его выноса из глубоких недр планеты во внешние ее оболочки. Накоплению хлора способствовала и очень большая длительность среднего времени его пребывания в океане¹⁰.

Таким образом, основные тенденции развития состава газов атмосферы и вод океана связаны с эволюцией осадочной оболочки Земли, развитием жизни и дыханием глубоких недр планеты. Осадочная оболочка, океан и атмосфера представляли собой в течение всей геологической истории сложную систему, изменение которой во времени определялось эволюцией поверхностных равновесий и динамикой обмена веществ между отдельными оболочками этой системы, а также системой в целом и глубинными зонами планеты.

¹⁰ Подробнее см.: Ронов А. Б., Мигдисов А. А. и Ярошевский А. А. К геохимической истории внешних оболочек Земли. — В сб.: Очерки современной геохимии и аналитической химии. М., 1972.

Источники марганца в океане

Е. С. Базилевская



Елена Сергеевна Базилевская, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Комиссии по проблемам Мирового океана АН СССР. Занимается проблемами минералогии и геохимии железо-марганцевых конкреций в океане. Автор монографии: Химико-минералогические исследования марганцевых руд. М., 1976. Неоднократно публиковалась в «Природе».

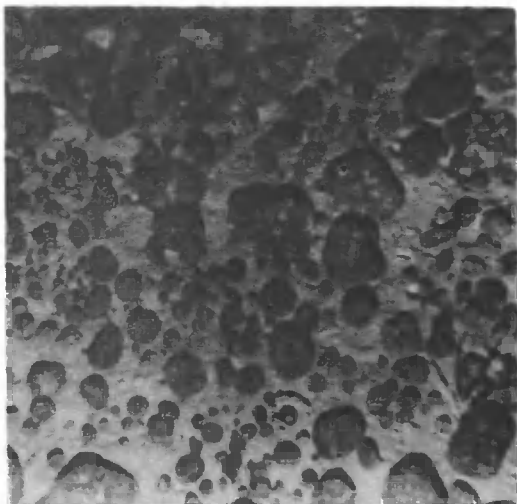
Проблема происхождения железо-марганцевых конкреций океанского дна, несмотря на интенсивное изучение, по-прежнему остается дискуссионной.

Принципиально важное значение в понимании процессов формирования железо-марганцевых конкреций имеют представления об источниках рудного вещества. В своих работах, ставших классическими, Н. М. Страхов показал существенную роль в накоплении осадков в океанах терригенного материала, вносимого реками. Механическое фракционирование этого материала и последующее его химико-минералогическое и биологическое преобразование приводит к возникновению рудных компонентов, из которых формируются железо-марганцевые конкреции. Подчиненная роль в концепции Страхова отводится вулканогенным источникам вещества.

Однако, по мнению многих исследователей, основным источником, питающим конкреции, являются вулканические излияния и связанные с ними гидротермальные растворы. В последние годы стали известны новые факты, свидетельствующие, на первый взгляд, в пользу этой концепции. К числу таких фактов следует отнести открытие значительных площадей так называемых металлоносных осадков и железо-марганцевых отложений вблизи активных

зон океанического дна, являющихся зонами проницаемости глубинного вещества. Эти зоны достаточно четко выделяются с помощью современных методов исследования теплового потока из земных недр, магнитных свойств пород океанического дна, его морфологии, сейсмичности и др.

Очень интересной активной зоной, где активность фиксируется и в настоящее время, оказался район, расположенный к востоку от Галапагосских о-вов в Тихом океане. Здесь проходит узкая зона Галапагосского спредингового центра — осевой проницаемой части подводного океанического хребта, по которой происходит как бы выдавливание пород мантии и нарастание молодой океанической коры по обе стороны от раздвигающихся плит. На фланге Галапагосской спрединговой оси отмечено поле с координатами $95^{\circ}10'$ з. д. и $2^{\circ}30'$ с. ш., покрытое толстой (примерно 10—20 см) железо-марганцевой коркой; как полагают, гидротермального происхождения. Еще одно аналогичное поле площадью около 350 км^2 обнаружено в этом же районе, вблизи $86^{\circ}10'$ з. д. и $0^{\circ}35'$ с. ш. Оно покрыто небольшими холмами (высота 5—10 м, радиус 25 м) и характеризуется повышенным тепловым потоком и высокой — до 10°C — температурой придонной воды. Как показали исследования с помощью глубоководного



Железо-марганцевые конкреции на дне океана.



Железо-марганцевые отложения в виде корки на дне океана.

обитаемого аппарата¹, неровные и крутые склоны холмов вплоть до острых вершин покрыты толстым слоем окислов марганца. Марганцевые корки в виде протяженных, до нескольких километров, полос шириной 10—20 м наблюдаются также на дне. Такая форма рельефа и наличие железо-марганцевой минерализации интерпретируются исследователями как результат осаждения соединений железа и марганца вокруг выводных каналов гидротерм, просачивающихся сквозь покров пелагических осадков. Осадки из прилегающих районов, добытые с помощью грунтовых трубок², только сверху имели небольшой (1—2 см) окисленный слой, под которым залежали восстановленные илы зеленоватых оттенков, окисляющиеся на воздухе. Приведенные факты свидетельствуют о наличии современной гидротермальной активности в этом районе Тихого океана, тем более что холмы располагаются вдоль разломов фундамента и параллельно хребтам Галапагосского спредингового центра.

Во время 14-го рейса научно-исследовательского судна «Дмитрий Менделеев» в этом же районе были взяты пробы морской воды на 7 станциях, расположенных между 1° ю. ш. и 2° с. ш. по линии 86° з. д., пересекающей рудное поле. В пробах, взятых с разных глубин, была отделена для последующих химических исследований взвешенная фаза. Особый интерес представляет необычайно высокое содержание марганца во взвеси из нижнего 600-метрового слоя воды с максимумом в самом основании, превосходящим средние содержания взвешенного марганца в морской воде более чем в 100 раз. Специальная обработка выделенной взвеси 25% уксусной кислотой позволила ученым, участвующим в рейсе, предположить, что подавляющая масса взвешенного марганца находится в состоянии, близком к аморфному или очень слабо раскристаллизованному, что свидетельствует об относительной «свежести» этих частиц³. Проведенная в нашей лаборатории проверка действия 25%-ной уксусной кислоты показала, что эта обработка не столько характеризует степень аморфности марганцевых окислов, сколько позволяет судить о наличии двух разновалентных форм марганца во

¹ Lonsdale P. Deep-tow observations at the mounds abyssal hydrothermal field. Galapagos Rift.— «Earth and Planet. Sci. Letter», 1977, v. 36, № 1.

² Богданов Ю. А., Григорьев В. Н., Муравьев В. И., Серова В. В., Тримонис Э. С. Распределение металлоносных осадков в Юго-Восточной части Тихого океана.— В кн.: Металлоносные осадки Юго-Восточной части Тихого океана. М., 1979.

³ Bolger G. W., Betzer P. R., Gordeev V. V. Hydrothermally — derived manganese suspended over the Galapagos Spreading Center.— «Deep-sea Research», 1978, v. 25, № 8.

взвеси — Mn^{2+} и Mn^{4+} , связанных друг с другом. Изменение соотношений между ними отражает изменение условий окружающей среды: в восстановительных условиях стабильность приобретают ионные и гидратированные формы Mn^{2+} ; в окислительных — выпадают осадки гидроокиси Mn^{4+} . Промежуточные условия характеризуются различными сочетаниями этих форм марганца. Вероятно, подавляющая часть избыточного, по сравнению с морской водой, марганца во взвеси находится в двухвалентном восстановленном состоянии. В верхних горизонтах океанских вод степень окисленности марганца значительно возрастает и содержание Mn^{4+} в 2—3 раза превосходит содержание Mn^{2+} хотя общее количество взвешенного марганца резко падает, приближаясь к нормальному для морской воды. Такое направление процесса обусловлено тем, что термодинамически равновесным состоянием марганца в морской воде является его высокоокисленное состояние, близкое к Mn^{4+} . Поступающий снизу с гидротермальными растворами Mn^{2+} соприкасаясь с морской водой, постепенно окисляется. Особенно высокие содержания взвешенного закисного марганца — по-видимому, в форме $Mn(OH)_2$ — отмечены на станциях, ближайших к оси спрединга. Эти данные подтверждают, что в исследуемом районе несомненно существуют действующие гидротермы, способные поставлять марганец в морскую воду и являющиеся, таким образом, источником рудного вещества для формирования отложений в прилегающих районах морского дна. Этот вывод и сделан участниками 14-го рейса «Дмитрия Менделеева».

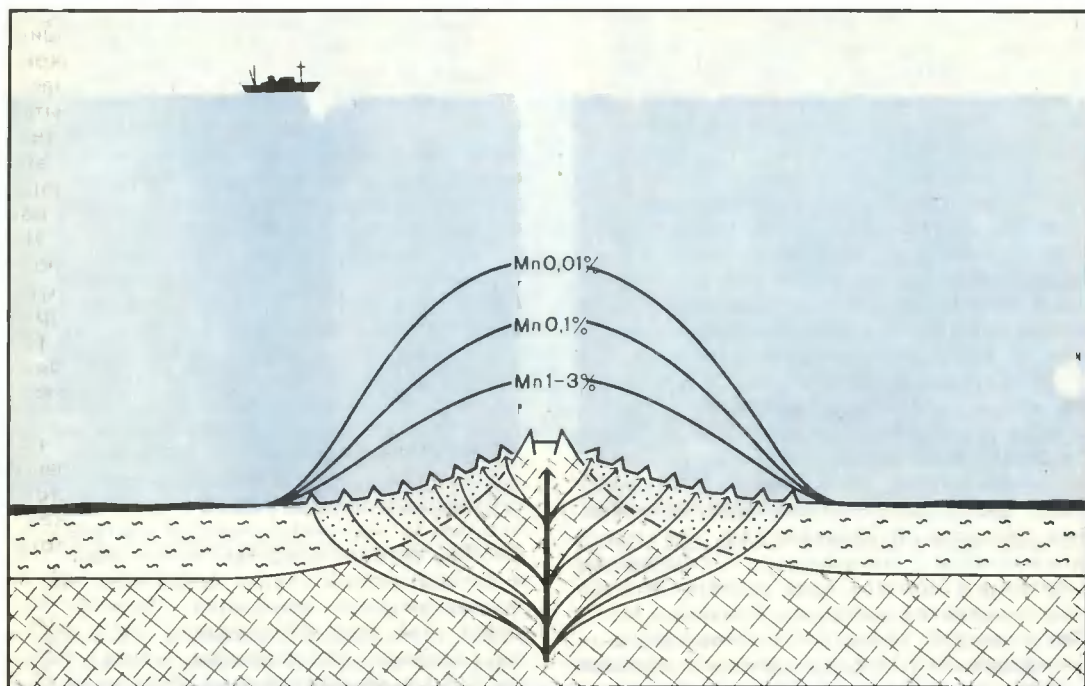
Новый фактический материал был получен, когда в 54-м рейсе бурового судна «Гломар Челленджер» в этом же районе было пробурено несколько скважин с целью изучения осадочной толщи и пород фундамента⁴. Бурение проводилось в 22 км к югу от Галапагосского спредингового центра на глубине 2700 м, где на расстоянии 300 м друг от друга были пробурены 4 скважины. Причем перед исследователями стояла задача получить керн из скважины, проходящей непосредственно через вершину гидротермального холма, что позволило бы узнать, из каких пород он

сложен и что его питает. Отчасти эта задача была решена — некоторые скважины прошли вблизи вершин.

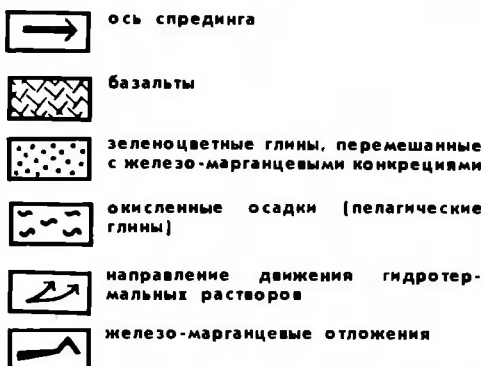
Согласно приводимым описаниям поднятого керна, он представлен следующими литологическими горизонтами: первые 15 м — зеленоцветные глины, перемешанные с железомарганцевыми конкрециями; ниже — обычные глубоководные осадки (фораминиферовые и наннопланктонные илы) с отдельными прослоями зеленоцветных глин и с редкими железомарганцевыми конкрециями. Под осадочным слоем, общая мощность которого 29—31 м, залегают базальты. Максимальная глубина бурения в базальтах составила 45 м. В керне базальтов отсутствуют какие-либо заметные вторичные изменения, которые позволили бы судить о возможности выщелачивания из базальтов рудных элементов гидротермальными растворами. Особый интерес представляет тот факт, что в зеленоцветных глинах заключены железомарганцевые конкреции. Зеленая окраска этих глин обусловлена, по-видимому, высоким содержанием железа (около 22%) в закисной форме. В то же время конкреции имеют черную или темно-серую окраску и металлический блеск, типичные для высокоокисленных соединений марганца. В одной из скважин отдельные фрагменты конкреций неправильной формы достигали 3—4 см в диаметре, а один кусок имел форму конуса. Вероятно, железомарганцевые окислы нарастали на остатке скелета организма, что типично для конкреций пелагических районов океана.

К сожалению, приводимые участниками 54-го рейса «Гломар Челленджера» результаты химического анализа зеленоцветных глин и железомарганцевых конкреций нельзя использовать для оценки валентного состава главных компонентов — железа и марганца, так как выполненные инструментальными методами (рентгенофлуоресцентным и спектральным), они не дают этих показателей. Поэтому валентность железа и марганца оценивали произвольно и едва ли верно. Например, марганец в конкрециях, с точки зрения участников рейса, выражен в форме Mn^{2+} , что никак не вяжется с темной окраской конкреций. Зеленая же окраска глин свидетельствует, по-видимому, о том, что железо в них представлено не в форме Fe_2O_3 , как приведено в результатах анализов, а в закисной форме. Вывод, что здесь действительно широко распространены восстановленные осадки, подтвержден непосред-

⁴ Hekinian R. et al. Hydrothermal deposits and associated basement rocks from Galapagos Spreading Center. — «Oceanologica Acta», 1978, v. 1, № 4.



Предполагаемая схема процесса гидротермального изменения осадка и вторичной мобилизации марганца из погребенных конкреций вблизи Галапагосской оси спрединга.



ственными определениями окислительно-восстановительного потенциала в верхних слоях (до глубины около 3 м) зеленоцветных илов⁵.

Тем не менее результаты химических анализов показывают, что состав железо-марганцевых конкреций, включенных в зеленоцветную глину, различен и колеблется от почти чисто марганцевых (Mn 54,94%, Fe 0,24%) до железо-марганцевых (Mn 33,0% и Fe 7,25%). В целом по сравнению со средним составом тихоокеанских конкреций, эти конкреции обогащены марганцем и обеднены железом и так называемыми малыми элементами (кобальтом, медью, никелем, цинком и др.).

Итак, в результате бурения в районе Галапагосской спрединговой зоны вскрыты окисные железо-марганцевые конкреции, обедненные железом, которые заключены в восстановленные зеленоцветные глины, обогащенные закисным железом. Этот факт противоречит сделанному участниками рейса выводу, что оба компонента — и конкреции, и зеленоцветные глины — образовались путем осаждения из гидротермальных растворов. Более вероятно, что вскрытые скважинами железо-марганцевые конкреции являются фрагментами погребенных и впоследствии гидротермально измененных конкреций пелагических районов океана.

Подводный вулканизм и гидротермальная активность в районе Галапагосской спрединговой зоны очень молодые (позд-

⁵ Гирин Ю. П., Шишкина О. В., Цветков Г. А. Окислительно-восстановительный потенциал и активная реакция осадков Юго-Восточной части Тихого океана. — В кн.: «Металлоносные осадки Юго-Восточной части Тихого океана». М., 1979.

некайнозойские). Возможно, что в предшествующие геологические эпохи здесь была обычная высокоокислительная обстановка глубоководного океанического дна, в которой формировались железо-марганцевые конкреции на пелагических глинах в соответствии с механизмом, описанным Страховым. Впоследствии эти глины подверглись действию гидротермальных растворов, поступающих сбоку по пластам. Фильтруясь через глины, растворы существенно изменяли их состав: восстанавливали железо, растворяли карбонаты, выщелачивали марганец, малые элементы и т. д. При активизации вулканической деятельности могло происходить перемешивание осадка с железо-марганцевыми конкрециями. Погребенные в восстановленных осадках конкреции растворялись не сразу. Этот процесс зависит от степени раскристаллизации минералов в конкрециях и типа гидротерм. При наличии даже очень слабых гидротермальных растворов в первую очередь растворяются аморфные гидроокислы железа, а при возникновении восстановительных условий начинается растворение окисного марганца, которое усиливается в присутствии восстановленной закиси железа. Высвобожденное из конкреций железо частично захватывается глинистым веществом осадка, а растворенный марганец (и часть железа) мигрирует к поверхности осадка и, будучи удерживаемым в закисной форме гидротермальным потоком, образует то «облако» повышенных концентраций марганца, которое отмечено в океанской воде над этим районом.

По-видимому, вариации химического состава погребенных конкреций вызваны разной степенью воздействия на них гидротермальных растворов, а также разным временем этого воздействия. Максимальное изменение конкреций приводит к формированию существенно марганцевистых разновидностей, которые впоследствии могут растворяться. Этими же процессами объясняется и обеднение конкреций малыми элементами. Кстати, если связывать происхождение железо-марганцевых конкреций только с гидротермальными источниками, то трудно было бы объяснить вариации в химическом составе конкреций. И совсем невозможно понять, как из одного гидротермального раствора образовались окисленные конкреции и восстановленные осадки — эти процессы взаимно исключают друг друга.

Наиболее правдоподобной представляется следующая картина. Восстановлен-

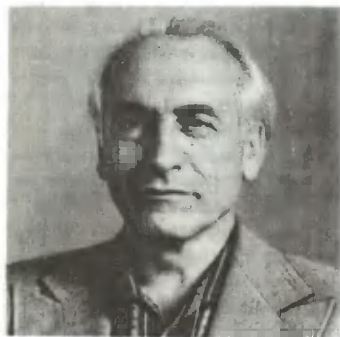
ные гидротермальные растворы, прошедшие через пелагические глины с большим количеством железо-марганцевых конкреций и, следовательно, обогащенные растворенными рудными компонентами, вытекают на поверхность океанического дна. Здесь при контакте с морской водой эти растворы окисляются и дают начало сплошным железо-марганцевым отложениям непосредственно на поверхности холмов. Не выпавшая в осадок часть рудных компонентов разносится течениями, поставляя рудный материал в прилегающие районы. При этом, состав этих отложений зависит от того или иного этапа растворения погребенных конкреций гидротермальными растворами.

В заключение можно отметить, что факты, свидетельствующие, на первый взгляд, в пользу гидротермального источника поставки рудного вещества в океан нельзя считать бесспорными. Они столь же неоднозначны, как неоднозначно и распространенное мнение о возможности идентификации осадочных и гидротермальных рудных отложений на океаническом дне по их химическому составу. Только для осадочных отложений можно было бы привести не менее трех вариантов этого состава: первично-осадочный, типичный для конкреций пелагических районов океана; вторично-измененный осадочный, встречающийся в осадочной толще активных зон океана; переотложенный. Последний вариант состава осадочных отложений характерен, вероятно, для периферийных районов активных зон океана, где они представлены металлоносными осадками и корками. Подобные отложения нарастают значительно быстрее (в 10—100 раз) осадочных конкреций, что обусловлено повышенной поставкой вещества при гидротермальной переработке конкреций и более высокими значениями окислительно-восстановительного потенциала в поверхностных илах.

Таким образом, имеющиеся в настоящее время геохимические данные, полученные в результате комплексного исследования состава морской воды, поверхностных и глубинных осадочных отложений и пород фундамента, позволяют утверждать, что известная роль в образовании железо-марганцевых полей по периферии молодых активных зон океана может принадлежать процессам переотложения рудных компонентов.

Многоканальные детекторы рентгеновского излучения

А. Г. Хабахпашев



Алексей Георгиевич Хабахпашев, профессор, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией Института ядерной физики Сибирского отделения АН СССР. Основные работы посвящены экспериментам по физике элементарных частиц и применению экспериментальных методов ядерной физики в смежных областях науки и техники.

В последние годы появился новый метод регистрации рентгеновского излучения с помощью так называемых многопроволочных пропорциональных камер, который сразу же привлек к себе большое внимание. В этой статье делается попытка показать, в чем преимущества нового метода регистрации и какие возможности открывает его применение.

Впервые многопроволочная пропорциональная камера (МПК) была предложена Г. Шарпаком (Европейский центр ядерных исследований, Швейцария) около десяти лет назад для регистрации и определения траекторий заряженных частиц. Сегодня пропорциональные камеры — один из наиболее часто применяемых детекторов, и большинство современных экспериментов по физике высоких энергий выполняется с помощью систем регистрации, включающих в себя десятки МПК.

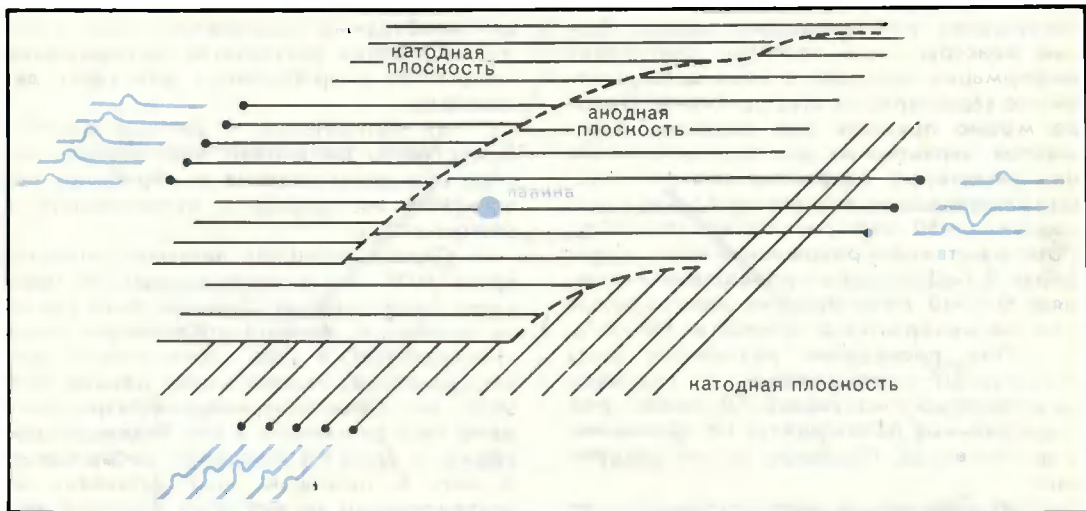
Пропорциональная камера состоит из трех плоскостей — двух катодных и расположенной между ними анодной. Плоскости выполнены из тонких проволочек, натянутых на расстоянии 1—5 мм друг от друга. Диаметр анодных проволочек 10—30 мкм, катодных — 50—200 мкм. Расстояние между анодной и катодными плоскостями составляет 3—10 мм. Объем камеры заполняется рабочим газом, например аргоном с примесью углекислого

газа. Напряжение между анодной и катодными плоскостями составляет несколько киловольт.

Принцип действия пропорциональной камеры мы рассмотрим на примере регистрации заряженных частиц. При прохождении через камеру заряженная частица ионизует газ (первичная ионизация). Образующиеся при этом электроны под действием электрического поля дрейфуют к ближайшей анодной проволочке и вблизи нее попадают в область высокой напряженности поля. За счет ударной ионизации возникает электронно-ионная лавина, и на анодную проволочку, около которой образовалась лавина, наводится отрицательный заряд. Соответственно на катодные проволочки, расположенные вблизи лавины, наводятся положительные заряды. Величина наведенного заряда пропорциональна числу пар ионов, образованных при первичной ионизации, — поэтому такие камеры и называются пропорциональными. Если к каждой анодной проволочке подключить дискриминатор¹ с чув-

¹ Устройство, которое дает на выходе стандартный импульс, если на вход подается импульс напряжения, превышающий некоторое определенное значение — чувствительность дискриминатора.

ставительностью в несколько милливольт, то наведенный заряд будет зарегистрирован. По номеру сработавшего дискриминатора определяется анодная провололка, вблизи которой образовалась лавина, а следовательно и одна координата точки пересечения заряженной частицей плоскости пропорциональной камеры. Существуют и другие способы съема информации с анодной и катодных плоскостей МПК, в том числе и способы, позволяющие одновременно определять две координаты частицы.



Схематическое изображение многопроволочной пропорциональной камеры. Анодная плоскость камеры находится под положительным потенциалом. Заряженная частица, попадая в камеру, ионизует газ. Образованные при этом электроны устремляются к ближайшей анодной провололке, попадают в область высокой напряженности электрического поля и при столкновениях ионизуют новые атомы газа. Так у одной или нескольких анодных провололок возникает электронно-ионная лавина (коэффициент размножения электронов достигает при этом 10^3 — 10^4). При движении электронно-ионного облака в электрическом поле на анодную провололку, вблизи которой образовалась лавина, наводится отрицательный заряд, а на катодные провололки и две соседние анодные — положительный. Чем дальше провололки от места образования лавины, тем меньше амплитуды импульсов напряжения, наведенного на провололки (показаны цветом). Регистрация этих импульсов позволяет определить место образования лавины.

МПК имеют хорошие рабочие характеристики. Пространственное разрешение МПК (точность определения координаты частицы) в направлении, ортогональном анодным провололкам, составляет вели-

чину порядка расстояния между провололками, а в направлении вдоль анодных провололок $\sim 0,1$ мм. Разрешающее время МПК (точность разделения во времени двух событий) 50—100 нс. Быстродействие пропорциональных камер (максимальное число квантов, которое камера может зарегистрировать за одну секунду) порядка 10^5 — 10^6 Гц в расчете на одну провололку.

В некоторых системах регистрации используются камеры размером 5×5 м, а общее число активных провололок дости-

гает ста тысяч. Естественно, работа таких систем возможна только в режиме прямой связи с ЭВМ, а их использование в экспериментах по физике высоких энергий позволяет получать большой объем информации о траекториях и столкновениях элементарных частиц.

В последние годы не меньшее распространение получили дрейфовые камеры, которые являются одной из разновидностей пропорциональных камер. В дрейфовых камерах координата определяется путем измерения времени движения электронов от точки ионизации до анодной провололки. Дрейфовые камеры позволяют получить пространственное разрешение $\sim 0,1$ мм как в направлении вдоль анодных провололок, так и в направлении, ортогональном к ним. Однако они обладают худшим временным разрешением.

В настоящее время МПК находят широкое применение не только в физике высоких энергий, но и в таких смежных областях науки и техники, где для структурных исследований используются рент-

геновское излучение и медленные нейтроны. Рентгеновские кванты выбивают из атомов газа, заполняющего камеру, электроны, что касается медленных нейтронов, то и они при поглощении в ядрах таких газов, как ^3He или ^{10}B , образуют заряженные частицы. Дальнейшая процедура регистрации этих вторичных частиц ничем не отличается от описанной выше.

На основе пропорциональных камер разработано свыше десятка детекторов рентгеновского излучения (в дальнейшем мы будем называть их РД), позволяющих измерять одну или две координаты точки поглощения рентгеновского кванта. Разные конструкции и способы считывания информации приводят к некоторому различию характеристик этих приборов. Однако можно привести ряд основных параметров, характерных для большинства таких детекторов. Эффективность регистрации рентгеновских квантов с энергией в диапазоне 1—50 кэВ составляет 10—100%. Пространственное разрешение лежит в пределах 0,1—1 мм. Быстродействие составляет 0,1—10 МГц. Энергия рентгеновских квантов измеряется с точностью 10—30%.

При проведении различного рода структурных исследований с помощью рентгеновского излучения РД имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с фотопленкой. Основные из них следующие:

а) Повышение чувствительности на два порядка, что позволяет для получения рентгенограммы с помощью РД снизить интенсивность используемого излучения в сто раз.

б) Широкий динамический диапазон, т. е. возможность регистрировать одновременно слабые и сильные потоки рентгеновского излучения, отличающиеся по интенсивности в десятки тысяч раз.

в) Работа РД в режиме прямой связи с ЭВМ. Это позволяет значительно улучшить качество эксперимента, так как появляется возможность при подготовке и проведении измерений наблюдать на экране дисплея² распределение интенсивности излучения и измерять ее значение в любой заданной области чувствительной поверхности детектора. Кроме того, с помощью ЭВМ можно управлять экспериментом — задавать определенный временной режим измерений по выбранной про-

грамме или в зависимости от сигналов внешних датчиков (в том числе исследовать изменение структуры во времени); управлять внешними устройствами в процессе измерений и т. д.

г) Получение результатов измерений в цифровом виде. Этот факт особенно важен, даже несмотря на то, что пространственное разрешение РД уступает разрешению фотопленки, общий объем информации, накопленной в памяти ЭВМ, как правило, значительно превышает объем информации на пленке. Однако для полного использования всей этой информации необходимо применение новых методов обработки результатов эксперимента, специально разработанных для таких детекторов.

д) Черно-белые и цветные дисплеи существенно расширяют возможность наглядного представления и обработки результатов эксперимента, выполненного с помощью РД.

Первая успешная попытка использования МПК для дифракционных исследований биологических объектов была сделана группой Н. Ксунга в Калифорнийском университете³. В этом эксперименте пропорциональная камера имела размер 30X X30 см. Пространственное разрешение детектора составляло 2 мм. Разрешающее время и время вычисления координат — 3 мкс. С помощью этой установки на телевизионном экране была получена четкая дифракционная картина кристаллического белка (субтилизина).

Оригинальный по замыслу детектор для подобных исследований разработан группой Г. Шарпака⁴. В нем над обычной многопроволочной камерой помещается конический дрейфовый объем со сферическим электрическим полем. Кванты, рассеянные в определенном направлении исследуемым кристаллом, выбивают при своем поглощении электроны, которые под действием электрического поля двигаются в том же направлении. Эти электроны всегда попадают в одну и ту же точку МПК независимо от того, в какой части дрейфового промежутка произошло поглощение кванта. Это позволяет с помощью МПК измерять с высокой точностью углы

² Прибор, позволяющий получать на экране электронно-лучевой трубки изображение графиков, рисунков, текстов и т. п.

³ Cork C., Fehr D., Hamlin R., Vernon W., Xuong N., Perez-Mendez V. «J. Appl. Cryst.», 1973, v. 7, p. 319.

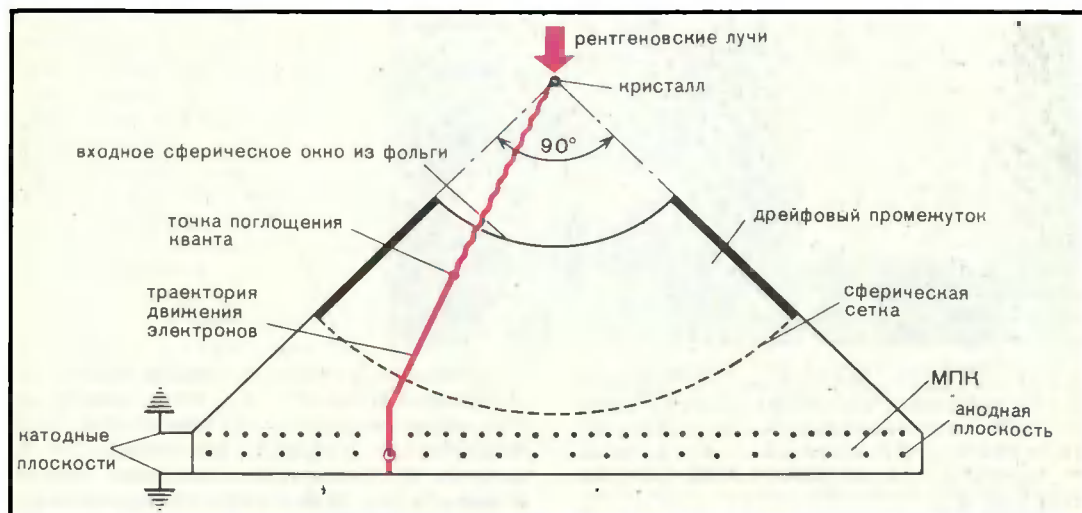
⁴ Charpak G., Demierre C., Kahn R., Santiard J., Sauli F. «Nucl. Instr. Methods», 1977, v. 141, p. 449.

рассеяния рентгеновских квантов на кристалле в интервале от 0 до 45° , что недоступно для других детекторов.

Если камера такой конструкции с дрейфовым промежутком длиной в 10 см заполняется ксеноном, то эффективность регистрации квантов с энергиями до 20 кэВ становится близкой к 100%. Кроме того, наличие дрейфового промежутка позволяет улучшить в два — три раза пространственное разрешение в направлении, перпендикулярном анодным проволочкам. Используемая в описанном детекторе МПК

Для целого ряда исследований (медицинская рентгенодиагностика, некоторые виды рентгеноструктурного анализа, исследование динамики биологических процессов и т. д.) быстроедействие становится одной из самых существенных характеристик детектора и должно составлять 1—10 МГц. В Институте ядерной физики (ИЯФ) СО АН СССР были разработаны двухкоординатные РД, отличающиеся высоким быстроедействием⁵.

В этих детекторах анодные проволочки, на которые подается положительный



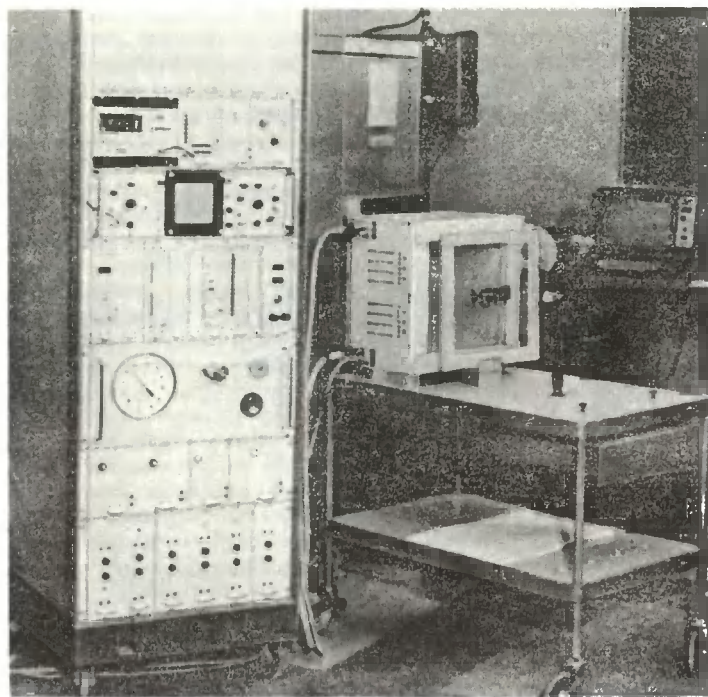
Пропорциональная камера со сферическим полем. Между входным окном и сеткой электрическое поле имеет сферическую форму с центром в точке нахождения исследуемого кристалла. Рассеянные на кристалле кванты поглощаются в газе, заполняющем дрейфовый промежуток, в образующиеся при этом электроны, двигаясь в том же направлении, проникают через сетку и регистрируются МПК. Сферическое поле создает условия, при которых кванты, рассеянные под определенным углом, вне зависимости от того, в какой точке при движении через дрейфовый промежуток они поглощаются, создают электроны, попадающие в одну и ту же точку МПК. Такая камера позволяет измерять углы рассеяния квантов на кристалле в интервале от 0 до 45° .

имеет размер 50×50 см. Съем информации производится путем измерения амплитуд импульсов напряжения на катодных проволочках. Пространственное разрешение по двум координатам составляет 0,7 мм, время вычисления координат — 5 мкс.

потенциал, соединены вместе, а дискриминаторы подключены к катодным проволочкам. Величина сигнала, возникающего на катодных проволочках при поглощении рентгеновского кванта в газе камеры, зависит от их расстояния до электронноионной лавины. В результате сигнал, превышающий чувствительность дискриминаторов, наводится на 4—5 катодных проволочек. Одна координата точки поглощения кванта определяется как центр группы тех проволочек, дискриминаторы которых зарегистрировали этот сигнал.

Так как проволочки двух катодных плоскостей взаимно перпендикулярны, то таким методом можно измерить две координаты точки поглощения кванта. Один из таких двухкоординатных детекторов — разработанный в 1977 г. «ДЕД-2» —

⁵ Baru S., Proviz G., Savinov G., Sidorov V., Khabakhpashev A., Shuvalov B., Yakovlev V. «Nucl. Instr. Methods», 1978, v. 152, p. 209.



Двухкоординатный детектор рентгеновского излучения «ДЕД-2». Пропорциональная камера находится в центре снимка; слева — стойка регистрации с черно-белым дисплеем; справа на заднем плане — алфавитно-цифровой дисплей для управления ЭВМ. Для демонстрации работы прибора между камерой и источником рентгеновского излучения ^{55}Fe помещен трафарет «ИЯФ», изображение которого можно наблюдать на черно-белом дисплее.

имеет 128×128 каналов⁶. Разрешающее время детектора составляет 0,1 мкс. Время вычисления координат — 0,7 мкс, быстродействие в настоящее время ограничивается возможностями ЭВМ М-6000 и составляет 400 кГц.

В основном режиме работы детектора информация передается в память ЭВМ и накапливается в виде матрицы из 16 404 чисел, каждое из которых представляет собой количество квантов, зарегистрированных данным каналом детектора. Для вывода информации используются буквенно-цифровой и цветной дисплеи, цифропечать. Кроме того, распределение интенсивности рентгеновского излучения по площади камеры можно наблюдать с помощью черно-белого дисплея, на экране которого каждый зарегистрированный квант дает вспышку в точке с соответствующими координатами. Это позволяет быстро проводить взаимное ориентирование источников излучения, образца и детектора, находить и экранировать источники фона.

Используя первую модель такого детектора, группа М. А. Мокульского из Института молекулярной генетики АН СССР разработала методику рентгеноструктурных исследований кристаллических белков. В настоящее время ведется эксперимент по расшифровке трехмерной структуры такого белка — антитиреоидного фитопреципитина.

Описанные выше детекторы были разработаны специально для дифракционных исследований белков. Уже первые результаты, полученные с помощью РД, полностью подтвердили предположение о тех существенных преимуществах, которые дают пропорциональные камеры по сравнению с традиционными методами регистрации, и не исключено, что в будущем они в значительной степени вытеснят фотопленку из дифракционных исследований.

Наряду с двухкоординатными детекторами в некоторых структурных исследованиях, в том числе в широко применяемом методе малоуглового рассеяния, применяются детекторы, позволяющие измерять только одну координату. Однокоординатные детекторы обладают высоким быстродействием, их пространственное разрешение 0,1—0,4 мм, они значительно дешевле и конструктивно проще. Соединение таких детекторов с ЭВМ позволяет хорошо исследовать динамику структурных

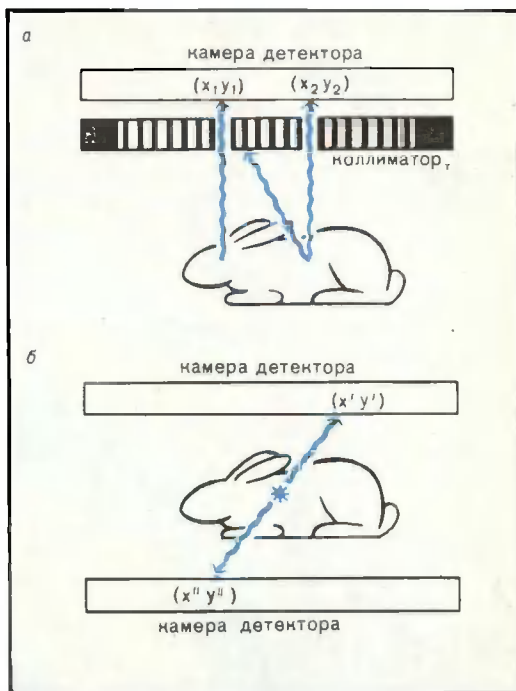
⁶ Чувствительная поверхность детектора (256×256 мм) как бы разбита на 16 404 ячейки (2×2 мм), каждая из которых представляет собой независимый счетчик рентгеновских квантов — отдельный канал детектора (поэтому такие детекторы мы называем многоканальными).

превращений биологических объектов. Так, группой А. А. Вазинной из Института биофизики АН СССР с помощью однокоординатного детектора на синхротронном пучке накопителя «ВЭПП-3» (ИЯФ СО АН СССР) было снято свыше 100 дифракционных фильмов, которые дают представление о структурных изменениях мышцы лягушки в процессе сокращения. Каждый фильм содержит 64 кадра с временем экспозиции от 3 до 20 мс.

В последнее десятилетие в дифракционных исследованиях началось широкое применение синхротронного излучения, источниками которого могут служить электронные накопители⁷. Синхротронное излучение имеет непрерывный спектр, узкую направленность и интенсивность, в сотни раз превосходящую интенсивность лучших рентгеновских трубок. Одновременное использование синхротронного излучения и многоканальных детекторов в настоящее время является наиболее перспективным методом рентгеноструктурных исследований в физике твердого тела, кристаллографии, молекулярной биологии, химии и позволяет, в частности, сократить время измерений в тысячи раз и больше.

Значительный интерес представляет применение РД в медицине. Здесь можно выделить две проблемы: интероскопия с помощью γ - или позитронных источников и рентгенография. В отличие от широко применяемой рентгенографии, которая позволяет получить представление о структуре и конфигурации органов пациента, γ -интероскопия дает информацию о работе того или иного органа. Для этой цели в химические соединения с определенными свойствами включают γ -активные элементы. Препарат вводят в организм и по его статическому или динамическому распределению исследуют состояние органа. Распределение γ -источников в теле пациента обычно определяют с помощью γ -камер, которые состоят из сцинтиллятора NaI и фотоумножителей. Пространственное разрешение таких камер 1—3 см.

В ряде случаев использование РД в γ -интероскопии имеет определенные преимущества по сравнению с γ -камерами: РД имеют лучшее пространственное разрешение и более высокое быстродействие.

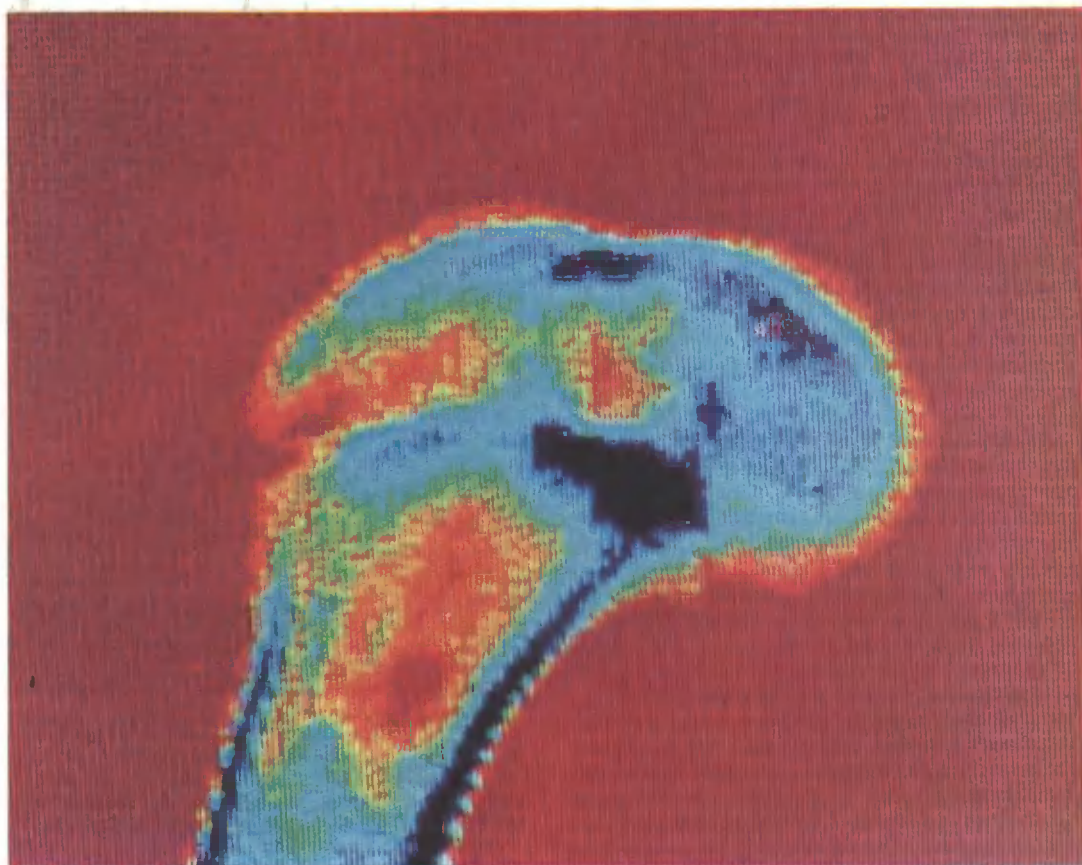


а) γ -интероскопия. В исследуемый объект введено вещество, содержащее γ -излучатель. Между объектом и детектором помещен коллиматор, который пропускает только кванты, падающие на поверхность камеры под прямым углом. Кванты, прошедшие через коллиматор, регистрируются детектором, а информация накапливается в памяти ЭВМ. Применение двухкоординатных детекторов вместе с коллиматором позволяет получить на экране дисплея распределение γ -источников в исследуемом объекте. Кванты, которые вылетают под углами, отличными от прямого, поглощаются стенками коллиматора.

б) Интероскопия с помощью источников позитронов. Позитрон, вылетевший из источника (обозначен звездочкой), сталкивается с электроном и аннигилирует — электрон и позитрон исчезают и рождаются два γ -кванта, которые разлетаются в противоположных направлениях. Регистрация этих квантов (определение координат двух точек, где они поглотились) позволяет найти линию, проходящую через точку аннигиляции. Области в исследуемом объекте, где эти линии пересекаются наиболее часто, являются местами наибольшей концентрации препарата.

вие. В γ -интероскопии применяются источники излучения с энергиями от 40 кэВ до 1 МэВ. Для повышения эффективности регистрации γ -квантов низких энергий (40—100 кэВ) пропорциональные камеры заполняют ксеноном при давлении 3—4 ат и за счет дрейфового пространства увеличивают их толщину, а для квантов более высоких энергий применяют твердые

⁷ Более подробно о синхротронном излучении и возможностях его применения см.: Мокульский М. А. Применение синхротронного излучения для структурных исследований. — «Природа», 1976, № 3.



Снимок кости, полученный с цветного дисплея детектора «ДЕД-2». Кость, помещенная в объем воды толщиной 20 см (вода имитирует ткани, окружающие кость), облучалась рентгеновским излучением при напряжении на трубке 30 кВ. Относительная плотность костной ткани при переходе от одного цвета к другому изменяется примерно на 1%.

γ -конверторы, напоминающие по форме решетки с большим количеством отверстий. Поглощаясь в конверторе, γ -кванты выбивают из его стенок электроны, которые затем регистрируются пропорциональной камерой. Для получения четкого изображения между пациентом и детектором помещают коллиматор. Однако он ослабляет излучение в 10^3 — 10^4 раз, поэтому для γ -интероскопии необходимо вводить в организм пациента источники большой интенсивности. Но и в этом случае полного числа зарегистрированных γ -квантов не всегда бывает достаточно для формирования четкого изображения. (Этим недостатком в одинаковой степени обладают и РД, и γ -камеры.)

В настоящее время разрабатываются новые методы, которые позволят получать четкое изображение без применения коллиматоров.

Лучшие результаты в этом отношении может дать интероскопия с помощью позитронных источников. Остановливаясь в тканях, позитроны аннигилируют с электронами; при этом рождаются два γ -кванта с энергиями 0,5 МэВ каждый, которые разлетаются в противоположных направлениях. Одновременная регистрация этих квантов с определением координат их точек поглощения позволяет построить в пространстве линию, проходящую через источник позитронов. Плотность точек пересечения этих линий описывает распределение источников в теле пациента. Позитронная интероскопия имеет более высокую чувствительность (не нужен коллиматор) и дает не плоское изображение источников, как γ -интероскопия, а объемное. Однако применение МПК для этих целей вызывает значительные затруднения, связанные с низкой эффективностью регистрации,

и пока не удается реализовать те потенциальные преимущества, которые они имеют по сравнению с γ -камерами. Несколько групп физиков в различных лабораториях мира продолжают работы в этом направлении.

Весьма заманчивым является применение РД в рентгенографии. Пропорциональные камеры, разработанные для этой цели, будут иметь высокую эффективность, пространственное разрешение 1—2 мм и максимальное быстродействие 5—10 МГц (такой детектор в настоящее время разрабатывается в ИЯФ СО АН СССР). По сравнению с фотопленкой преимущества применения РД в рентгенографии будут состоять в следующем:

а) Дозы облучения снизятся в 100—1000 раз.

б) В сочетании с дисплеем РД дадут возможность обнаруживать самые незначительные отклонения плотности в обследуемом органе. Цветной дисплей позволяет различать 10—20 цветовых градаций, и каждому цвету на экране соответствует определенный интервал плотности ткани.

в) РД дадут возможность не только обнаружить, но и измерить с хорошей точностью отклонения плотности от нормальной. Для этой цели достаточно на экране дисплея очертить световым пером пораженную область и вблизи нее здоровую часть органа, а ЭВМ немедленно определит, насколько отличаются плотности в этих двух областях.

г) Экран дисплея позволит хорошо наблюдать за перемещениями зонда или какого-либо инструмента во время операции. Очень низкая доза облучения не накладывает при этом никаких ограничений на время операции.

д) Можно получать два или несколько рентгеновских «снимков» одновременно, синхронизируя измерения с работой каких-либо органов (например, с работой сердца, дыханием и т. д.). Сравнение снимков внутренних органов или сосудов, полученных в разных функциональных состояниях, может оказаться очень полезным для установления диагноза.

е) Наконец, применение РД в рентгенографии позволит создать системы автоматического профилактического осмотра с соответствующей картотекой в памяти ЭВМ.

Все перечисленное, за исключением последнего пункта, уже в ближайшее время может быть реализовано. Не следует, однако, думать, что уже завтра РД заменят стандартную рентгентехнику с фотоплен-

кой. Так скоро это не произойдет, но во многих случаях применение многоканальных детекторов может существенно расширить диагностические возможности рентгеновского излучения.

В заключение укажем еще несколько возможных применений РД в прикладных целях. В астрономии с помощью РД можно искать новые источники рентгеновских лучей в космосе (поиски таких источников — важный способ получения новой информации о Вселенной). Для этой цели нужны детекторы, обладающие высокой чувствительностью, низким фоном и способные «просматривать» большие области неба. РД вполне удовлетворяют этим требованиям. Большие пропорциональные камеры, помещенные на спутники, в сочетании с так называемым методом кодирующих масок позволяют успешно искать во Вселенной самые слабые (в диапазоне энергий от 1 до 50 кэВ) источники рентгеновского излучения. В дефектоскопии РД позволяют существенно повысить чувствительность методов определения трещин, раковин и других нарушений структуры в просвечиваемом объекте. С помощью РД можно легко создать автоматические линии дефектоскопии, достаточно дешевые и эффективные. Кроме того, МПК могут оказаться весьма полезными в радиографии, дифракционных исследованиях с помощью медленных нейтронов, просвечивании человека протонными пучками и т. д. Ближайшие 5—10 лет покажут нам, в какой степени все эти надежды обоснованы и какое место займут многоканальные детекторы в различных областях науки и техники, где используется рентгеновское излучение.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Заневский Ю. В. ПРОВОЛОЧНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ. М., 1978.

Кулипанов Г. Н., Скринский А. Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ.— «Успехи физических наук», 1977, т. 122, вып. 3.

Мокульский М. А. ПРИМЕНЕНИЕ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И МНОГОКАНАЛЬНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ СТРУКТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.— «Вестник АН СССР», 1978, № 8.

Вазина А. А. ПРИМЕНЕНИЕ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В БИОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СИСТЕМАХ.— «Вестник АН СССР», 1978, № 8.

Население литорали дальневосточных морей СССР

О. Г. Кусакин



Олег Григорьевич Кусакин, доктор биологических наук, профессор. Заведует отделом гидробиологии и лабораторией хорологии Института биологии моря ДВНЦ АН СССР, преподает на кафедре гидробиологии и ихтиологии Дальневосточного государственного университета. Более 30 лет занимается изучением жизни на шельфе, и особенно литорали дальневосточных морей, а также изучением беспозвоночных, в частности равноногих раков и брюхоногих моллюсков.

Известно, что самые продуктивные и в то же время наиболее доступные для человека зоны морей и океанов расположены в области шельфа, или материковой отмели (глубина не более 150—200 м). Именно поэтому шельф издревле привлекал внимание человека и буквально до самых последних лет был единственным источником океанического промысла.

В результате к настоящему времени в большинстве районов, в том числе и в дальневосточных морях, целый ряд промысловых организмов исчез, а оставшиеся биологические ресурсы оказались мало изученными. В Международной биологической программе по морским исследованиям отражено неудовлетворительное состояние знаний экологии и физиологии морских организмов вообще. Это касается, прежде всего, следующих разделов: состава и распределения морских сообществ; потребности в пище, физиологии и экологии важнейших видов в таких сообществах; темпов изменений (как краткосрочных, так и долгосрочных), урожая, синтеза и распада органического вещества, воспроизводства и смертности, а также систем энергетического обмена внутри различных трофических уровней и между ними.

Все сказанное в полной мере относится к шельфу дальневосточных морей

и к ее верхней зоне — литорали. Литораль дальневосточных морей характеризуется весьма сложными физико-географическими условиями, исключительно богатой и разнообразной по сравнению с другими морями СССР флорой и фауной и обладает высокой продуктивностью.

С самого начала своего существования с 1967 г. отдел гидробиологии Института биологии моря ДВНЦ изучает состав, распределение и экологию фауны и флоры, а также биологическую продуктивность дальневосточных морей. В рамках настоящей статьи невозможно остановиться на всех исследованиях отдела гидробиологии нашего института. Обратимся к работам по изучению литорали, которые выполнены, в основном, силами лаборатории хорологии. Прежде чем коснуться результатов исследований, рассмотрим вкратце характерные особенности литорали.

ОСОБЕННОСТИ ЛИТОРАЛИ КАК ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЗОНЫ

Литоралью, или осушной зоной называют полосу, расположенную в сфере воздействия приливо-отливных колебаний океана. Нижней границей литорали считают нуль глубин, т. е. точку, обозна-

чающую наибольшее теоретически возможное понижение, а верхней — соответственно наибольшее повышение приливного уровня. Протяженность литорали по вертикали зависит от величины прилива, которая может быть ничтожно малой величиной в морях, лишенных настоящей литорали, как например в Балтийском и Черном, или достигать 17 м в заливе Фанди на атлантическом побережье Канады. На Дальнем Востоке величина приливов колеблется от 0,2—0,3 м на о-ве Монерон и на юге Приморья в Японском море до 12,9 м в Пенжинской губе на крайнем севере Охотского моря. Ширина литорали при пологих берегах порой составляет несколько километров (например, в Охотском море), и тем не менее это всегда весьма узкая полоса по сравнению с другими вертикальными зонами моря.

Несмотря на узость литорали, ее пограничное между сушей и морем положение позволяет выделять литораль как вполне самостоятельную и своеобразную зону моря. Чем ниже точка на литорали, тем большую часть времени она залита водой, чем выше — тем большую часть времени она высыхает. Поэтому условия жизни для населения литорали на незначительном пространстве по вертикали (часто несколько сантиметров) сильно меняются. Для литорали характерны также резко выраженные суточные и сезонные колебания температуры, солености, увлажнения и др.

Большое влияние на вертикальное распределение организмов, следовательно, и на состав сообществ на литорали, оказывает прибой. Кроме аэрации воды, прибой смачивает обнаженную во время отлива литораль. Очень сильный прибой вреден, так как он механически уничтожает ряд видов.

Влияние льда, скывающего большую часть побережья морей, в том числе и дальневосточных, может быть как положительным, так и отрицательным. Отрицательная роль льда заключается в механическом истирающем воздействии на организмы и сильнее всего проявляется на незащищенной от прибоя литорали, особенно там, где морфология берега простая. На таких участках зимой население почти полностью уничтожается, а в теплое время года здесь обычно развиваются эфемерные мелкие зеленые, красные и бурые водоросли, а на Крайнем Севере — обычно диатомовые водоросли. Когда берег сильно изрезан, страдают только отдельные выступающие участки, но весь

многолетний биоценоз уже не разрушается. С другой стороны, ледовый припай защищает обитателей литорали от низкой температуры воздуха и губительных штормов.

ЛИТОРАЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА¹

Какого же типа сообщества населяют эту пограничную между сушей и морем узкую зону? Поскольку литораль — зона, расположенная выше нуля глубин, формально она должна относиться к суше. Тем не менее в подавляющем большинстве она населена морскими животными и растениями. Только в некоторых местах, особенно в защищенных от прибоя, преобладают наземные формы, например цветковые растения — солянки и мангры. Именно поэтому биологи справедливо считают литораль верхней зоной шельфа, тем более что сообщества нижней части литорали обычно продолжают вниз, уже в пределы так называемой sublиторали, простирающейся в дальневосточных морях примерно до 3 м глубины.

Для литоральных сообществ характерны, во-первых, резкие изменения по вертикали под влиянием градиента увлажнения, а во-вторых, большая изменчивость видового состава под влиянием многих локальных факторов. Учитывая последнее обстоятельство, можно предположить, что население литорали бесконечно разнообразно. Тем не менее на литорали большинства районов земного шара в сходных условиях с удивительным постоянством появляются однотипные или, во всяком случае, весьма сходные сообщества с ограниченным набором одних и тех же, викарирующих¹ или же морфологически сходных видов. Однообразие типов литоральных сообществ, или формаций, по всему побережью Мирового океана можно считать третьей особенностью литорали².

Поскольку большая часть обитателей литорали морского происхождения, можно предположить, что четкая вертикальная зональность литоральных организмов зависит от их способности существовать без

¹ Виды, замещающие друг друга в сходных условиях обитания, но обитающих в различных географических районах, называются викарирующими, а такое замещение — викариатом.

² Мокиевский О. Б. Биогеоэкологическая система литорали. — «Океанология», 1969, т. 9, № 2.

воды. Действительно, виды с широким вертикальным распространением оказались более устойчивы по отношению к различным факторам, в том числе и к высушению. (Высокая температура воздуха, ветер и интенсивность инсоляции увеличивают скорость высыхания, а прибой, высокая влажность воздуха и туманы, наоборот, уменьшают ее.)

Кроме того, температурная устойчивость организмов в одной климатической зоне тесно связана с уровнем, занятым на литорали. Растения и животные, обитающие в верхней части литорали, более устойчивы к колебаниям абиотических факторов, чем население нижних слоев литорали. Значит широкая экологическая пластичность (эврибионтность) литоральных организмов увеличивается снизу вверх.

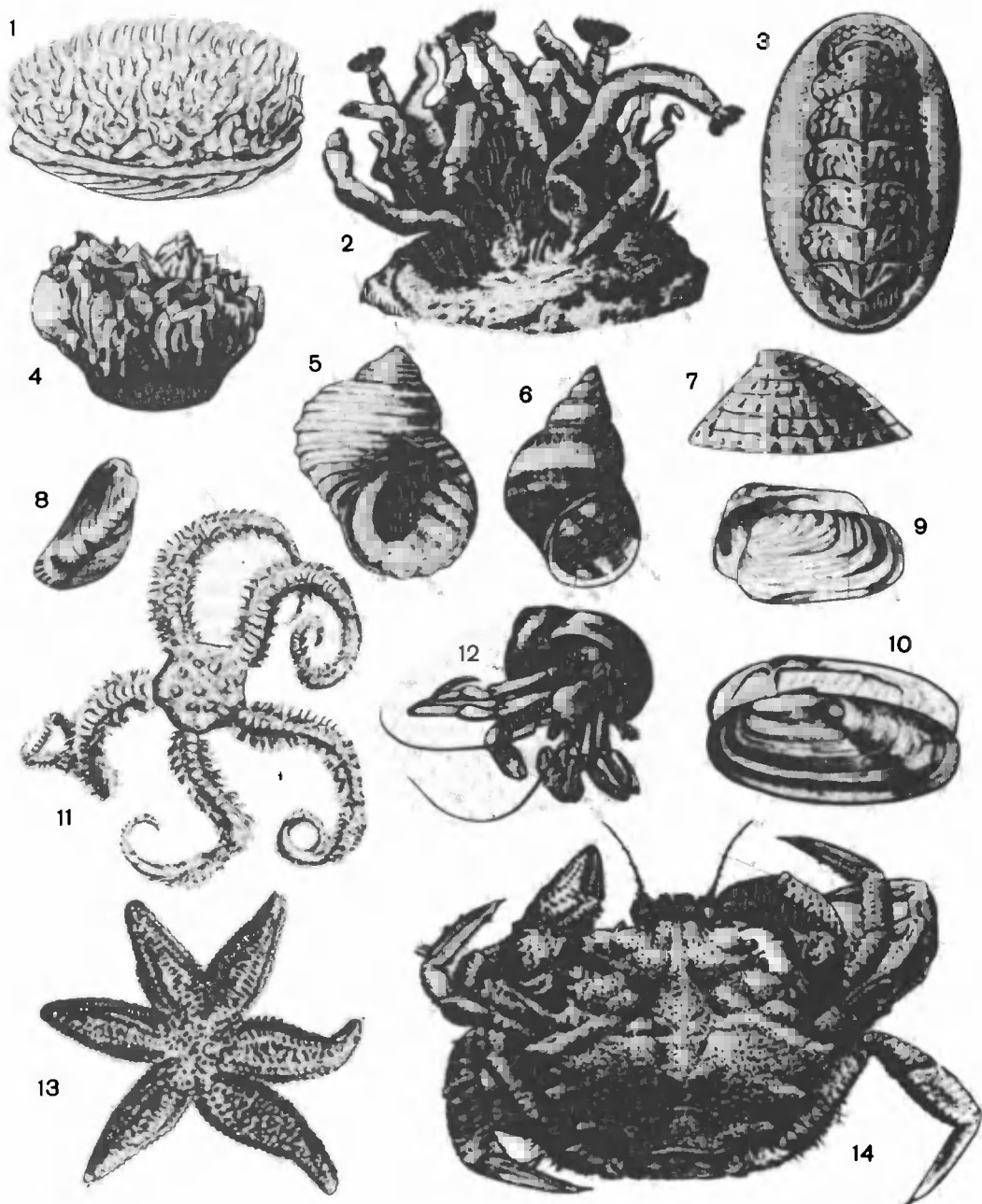
Четкая вертикальная стратификация видов и сообществ на литорали находится в состоянии динамического равновесия. Это значит, что любое значительное изменение воздействия какого-либо фактора может вызвать серьезные изменения вертикальной стратификации и состава сообществ, но если условия возвращаются к норме, то первоначальное состояние довольно быстро восстанавливается. Благодаря такой хорошо выраженной вертикальной стратификации видов, литоральные сообщества располагаются весьма узкими, но длинными лентами, или поясами. Поясообразующие сообщества могут простирались в длину на десятки и даже сотни километров, хотя их ширина при этом достигает всего лишь нескольких метров или даже сантиметров. На слабо расчлененном берегу дальневосточных морей таких поясов-сообществ в одном участке обычно не более трех-восьми. Однако с усложнением морфологии берегов появляется целый ряд дополнительных сообществ, и распределение становится пятнистым, или мозаичным. В природе чаще всего встречается комбинация обоих типов, что особенно усиливает пестроту распределения сообществ. Так, только на скалистой литорали открытого прибою Кроноцкого залива (юго-восточная Камчатка), не отличающегося разнообразием ни типов берега, ни видов растений и животных, мы обнаружили около 27 сообществ, резко отличающихся по доминирующим видам.

Если в количественном отношении жизнь на литорали мало уступает жизни в расположенной ниже сублиторали, то по видовому составу литораль значительно беднее. В меньшей степени это относится к растениям, в большей — к животным.

В обеих зонах широко распространены бурые и красные водоросли, реже встречаются зеленые. Высшие растения представлены лишь немногими видами морских трав. Число видов животных на литорали в несколько раз меньше, чем в сублиторали. Здесь почти нет головоногих моллюсков и плеченогих, мало иглокожих и рыб, а преобладают многощетинковые черви, или полихеты, актинии, различные ракообразные (морские желуди, амфиподы, изоподы, гарпактициды, ракушковые рачки, или остракоды, а в тропиках — крабы), брюхоногие, двустворчатые и панцирные моллюски, или хитоны.

Для скалистой и каменной литорали особенно характерны двустворчатые моллюски семейства митилид, которые прикрепляются к субстрату прочными биссусными нитями, но способные открепляться и переползая в другое место. К этому семейству относится вкусная черная ракушка, или мидия съедобная, широко распространенная в Белом, Баренцевом и дальневосточных морях. Из брюхоногих моллюсков здесь часто встречаются морские блюдечки с конической раковиной, способные прочно присасываться к скалам, а также небольшие улитки-береговички — литорины, со спирально извитой раковиной конической или почти шаровидной формы. Очень примитивные малоподвижные моллюски-хитоны поражают великолепием пятнистой или полосатой окраски своей раковины, состоящей из 8 известковых пластинок, которые подвижно соединены друг с другом. Впрочем, у самого крупного хитона — криптохитона Стеллера (длина до 33 см, масса около 1 кг), обитающего в дальневосточных морях, пластинки раковины чисто белые, поскольку они скрыты под покровами тела и не видны. В расщелинах скал и в понижениях, где вода остается даже в отлив, так называемых литоральных ваннах, обычны гидроидные полипы, актинии, губки, асцидии, морские ежи и особенно неподвижно сидящие в кожных трубках полихеты-сабеллиды, выставяющие наружу лишь изящный, часто ярко окрашенный венчик щупалец. Весьма оживляют литораль во время отлива снующие между камней раки-отшельники — десятиногие раки, прячущие свое мягкое брюшко обычно в пустой раковине брюхоногих моллюсков. Под камнями — многочисленные полихеты и другие черви, а также рачки-бокоплавы.

На песчаной или илисто-песчаной литорали жизнь богата лишь там, где нет



Некоторые животные, характерные для дальневосточной литорали. 1 — губка *Halichondria*; 2 — многощетинковый червь *Bispira*; 3 — хитон *Tonicella*; 4 — морской желудь *Balanus*; 5 — береговая улитка *Littorina*; 6 — брюхоногий моллюск *Epheria*; 7 — морское блюдечко *Collisella*;

8—10 — двустворчатые моллюски *Musculista* [8], *Hiatella* [9] и *Siliqua* [10]; 11 — змеехвостка *Ophiopholis*; 12 — рак-отшельник Миддендорфа *Pagurus*; 13 — шестилучевая морская звезда *Leptasterias*; 14 — пятиугольный волосатый краб *Telmessus*.

сильного прибоя. Здесь обычные или заросли трав, или поселения закапывающихся моллюсков с примесью полихет-пескожил и различных других червей. Беднее населены прибойные песчаные пляжи. Двустворчатые моллюски здесь встречаются далеко не всегда, а характерными компонентами биоценозов прибойных песков являются похожие на мелких креветок рачки-мизиды, а также морские блохиталитриды из группы рачков-бокоплавов. Еще беднее населены гравийные и галечные россыпи, часто вообще лишенные макробентоса.

Только для тропических побережий характерны своеобразные биоценозы коралловых рифов и мангровых лесов или зарослей.

НЕМНОГО ИСТОРИИ

Обитателей литорали дальневосточных морей изучали уже в XVIII в., но тогда работы ограничивались лишь зоологическими и ботаническими сборами, не дающими представления о составе и распределении биоценозов. Специальные гидробиологические исследования здесь начались только с середины 1920-х годов. В течение 40 лет многие исследователи (ленинградская школа К. М. Дерюгина и московская школа Л. А. Зенкевича) изучали значительные пространства литорали дальневосточных морей, собирали обширный флористический и фаунистический материал. Но, к сожалению, разные исследователи часто использовали неадекватные методики, иногда без количественного учета. Собранный материал не всегда обрабатывали до конца, поэтому подробных описательных и обобщающих работ было опубликовано значительно меньше, чем можно было бы ожидать. Практически белыми пятнами оставались обширные пространства советского побережья Берингова моря, залива Шелихова на севере Охотского моря и некоторых других районов. Все организмы, которые проходят через сито, имеющее ячейку со стороной квадрата 1 мм, т. е. мейобентос и микробентос, почти не учитывали. В результате, был неизвестен или слабо изучен даже видовой состав таких групп, как диатомовые и синезеленые водоросли из растений, нематоды, ресничные черви-турбеллярии, донные веслоногие и ракушководные рачки, морские клещи и некоторые другие группы мелких животных, а также микроорганизмы. Естественно, что и представления о биоценозах, основанные только на учете относи-

тельно крупных, хорошо видимых растений и животных (макробентоса), были односторонними, поскольку изучались, по сути дела, лишь «вершки» этих самых биоценозов. Между тем роль мелких организмов с их исключительно высокой интенсивностью обмена веществ и короткими жизненными циклами в продукционном процессе исключительно велика.

Поэтому при организации гидробиологических исследований на литорали дальневосточных морей особое внимание обратили на методики сбора не только макробентоса, но и мелких форм, что позволило дать более полное представление о биоценозах. За 12 лет работы была обследована литораль более чем 50 районов, охвативших все побережье дальневосточных морей от границы с Японией и КНДР до Берингова пролива. В собранном материале, еще не полностью обработанном, уже сейчас обнаружено около 200 видов растений и более 800 видов животных, из которых несколько десятков совершенно новых для науки видов.

Накопленный ранее и собранный нашей лабораторией обширный материал по биологии литоральной зоны дальневосточных морей позволил выделить основные сообщества, или биоценозы, установить закономерности их вертикального и горизонтального распределения в зависимости от температуры, характера грунта, прибоя и ряда других факторов, оценить запасы различных организмов как промысловых, так и являющихся пищей для таковых на этой громадной территории.

БИОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЙ ЛИТОРАЛИ

Для дальневосточных морей, лежащих в пределах северной умеренной, или бореальной, климатической зоны, характерны сильные сезонные колебания температуры воздуха и воды. Поскольку многие литоральные обитатели активны только в воде, то колебания температуры воды имеют большее значение, чем температуры воздуха. Хотя даже непосредственно у берегов вода летом значительно слабее прогревается, а зимой гораздо меньше охлаждается по сравнению с воздухом, тем не менее в дальневосточных морях температура воды изменяется в весьма широких пределах, особенно на юге рассматриваемой акватории. Так, в заливе Петра Великого (Японское море) зимой температура воды понижается до $-1,7^{\circ}\text{C}$, а летом повышается до $22-26^{\circ}\text{C}$. Наимень-

шие колебания температуры воды наблюдаются в наиболее холодных участках побережья дальневосточных морей — у Ямских о-вов в северо-западной части Охотского моря и у о-ва Симушир в центре Курильских о-вов, где даже летом вода редко прогревается выше 3,5—5,0°C.

Для бореальной литорали как Атлантического, так и Тихого океанов характерны некоторые общие черты. Облик сообществ, располагающихся на грунтах одного типа, часто весьма сходен, т. е. массовые и сопутствующие виды обычно относятся к одним и тем же родам или, во всяком случае, к тем же самым семействам. Реже в обоих океанах или на противоположных берегах одного и того же океана оказываются одни и те же виды. Прежде всего, на скалистой и каменистой литорали значительно больше бурых водорослей, чем красных и зеленых. Из бурых водорослей в средней части литорали чаще всего встречаются представители семейства фукусовых — фукусы (род *Fucus*), а в нижней — преимущественно сублиторальные ламинариевые водоросли; в наших морях это главным образом представители родов ламинария (*Laminaria*) и алария (*Alaria*). Именно различные виды ламинарий добываются и идут в продажу под названием морской капусты. Из животных для верхней литорали характерны улитки-береговички (род *Littorina*), которые представлены в обоих океанах различными видами. Для средней литорали особенно типичны усаногие раки — морские желуди рода *Balanus* и общий для обоих океанов вид двустворчатого моллюска — съедобная мидия (*Mytilus edulis*). Много представителей одних и тех же родов животных обитает и в нижней литорали.

Вместе с тем бореальная литораль обоих океанов весьма различна. Это хорошо видно на примере фукусов. Так, если для атлантической литорали характерны несколько видов этого рода, каждый из которых занимает свой уровень на берегу, то в северной части Тихого океана обитает лишь один вид этого рода. Наоборот, если в бореальных водах Тихого океана на литорали живет довольно большое количество видов морских блюдечек, из которых наиболее многочисленны представители рода *Collisella*, то в Атлантическом океане этого рода нет вовсе, а на литорали встречается лишь один вид, относящийся к другому роду — *Testudinalia*. На скалистой нижней литорали в северной

части Тихого океана весьма обычны заросли родственного морской траве морского льна *Phyllospadix*, не имеющего аналога в северной Атлантике. Еще больше отличий в составе растений и животных на бореальной литорали обоих океанов. Не случайно поэтому бореальные воды Атлантического и Тихого океанов относят к разным биогеографическим областям. Но даже и в пределах одной и той же Тихоокеанской области животный и растительный мир далеко не однороден.

Анализируя ареалы примерно одной тысячи видов растений и животных макробентоса (ареалы видов мейо- и микробентоса еще слишком плохо изучены), обнаруженных на литорали дальневосточных морей, мы в первом приближении смогли объединить их в 16 групп.

Виды трех первых бореальных групп составляют преимущественно местного происхождения ядро фауны и флоры всех трех морей, омывающих тихоокеанское побережье СССР. Виды следующих трех высокобореальных групп могут рассматриваться как относительно холодноводные, а виды еще пяти групп, наоборот, как относительно тепловодные. К пяти последним группам относятся евритермные виды с очень широкими ареалами, которые мало характеризуют специфику того или иного биогеографического региона.

Относительно холодноводные, высокобореальные и бореально-арктические виды распространены преимущественно к северу от прол. Невельского, м. Терпения на Сахалине, прол. Фриза на охотоморской и прол. Екатерины на тихоокеанской стороне Курильских о-вов. Тепловодные же, главным образом низкобореальные виды, расселены почти исключительно к югу от этих точек. Таким образом, с достаточно высокой точностью проведена граница между двумя подобластями Тихоокеанской бореальной области — относительно холодноводной высокобореального типа Алеутской, или Южно-Берингийской, и относительно тепловодной низкобореального типа Айнской, или Северо-Японской. При этом в составе Южно-Берингийской подобласти, простирающейся на север до Берингова пролива, выделено 3 биогеографические провинции: Берингоморская, Ламутская и Курильская. Из них в Ламутской, и особенно в Курильской, много эндемичных видов.

При установлении границ ареалов видов на литорали дальневосточных морей основное значение имеет летняя темпера-



Куртинки водорослей ламинарий, родимоний и пунктарий на камнях, покрытых известковым литотамнем.

Фото К. Я. Обезьянова.



Морская звезда гребешковая паттирия.

Фото Ю. Ф. Астафьева.



Подводные луга морских трав.
Фото К. Я. Обезьянова.



Усоногие раки хамалусы и фуноидная водоросль пельвеция в верхней литорали южных Курильских о-вов.

Фото Н. Г. Ключковой.



Тихоокеанская бореальная область литорали дальневосточных морей СССР.

Айнская подобласть Тихоокеанской бореальной области

Южно-Берингийская подобласть:

Алеутская провинция

Курильская провинция

Ламутская провинция

районы работ лабораторий хронологии Института биологии моря ДВНЦ АН СССР в 1967—1978 гг.

тура вод³. Она лимитирует размножение относительно тепловодных видов при их распространении на север и выживаемость относительно холодноводных видов при их распространении на юг. При этом биогеографическая граница между двумя подобластями проходит там, где средняя многолетняя температура воды у берегов в течение самого теплого месяца — августа составляет около 12—13°C. В районах с более высокой летней температурой воды — литораль низкобореального типа, а с более низкой — высокобореального.

Наряду с большим количеством общих для низко- и высокобореальной литорали северной части Тихого океана видов и сообществ, существует и значительное число свойственных только одной из них. Улитка-литорина (*Littorina rurila*), характерная для верхней части скалистой и каменистой литорали дальневосточных морей, относится к широко распространенным бореальным видам, тогда как *L. sitchana* — высокобореальный вид, *L. mandshurica* — низкобореальный, а *L. brevicula* — субтропическо-низкобореальный вид, наиболее распространенный по берегам о-ва Хонсю.

Ниже литорин в бореальной зоне Тихого океана поселяются усонogie рачки — морские желуди, один вид из которых принадлежит к роду *Chthamalus*, а остальные к роду *Balanus*, относящемуся даже к другому семейству. При этом *Chthamalus dalli* доминирует на низкобореальной литорали, хотя и распространен далеко на север вплоть до Олюторского залива в Беринговом море. На высокобореальной литорали преобладают различные виды рода *Balanus*, например общий с европейским побережьем *B. balanoides* в Охотском море, *B. cariosus* — на Курильских о-вах и *B. crenatus* — от восточной Камчатки до Анадырского залива включительно.

В среднем горизонте дальневосточной литорали обычны заросли бурой водоросли — фукуса *Fucus evanescens*. На низкобореальной литорали, кроме того, выше фукуса, между ним и хтамалусом растет другая водоросль из того же семейства — пельвеция *Pelvetia wrightii*, которая по мере продвижения на юг все более вытесняет фукус. Вместе с фукусом обычно сеются съедобная мидия — *Mytilus edulis*, которая его вытесняет в ме-

³ Hutchins L. W. The bases for temperature zonation in geographical distribution. — «Ecol. Monogr.», 1947, pp. 325—335.

стах с сильным течением или прибоем. В нижней части среднего горизонта литорали обычны заросли относительно мелких бурых и особенно красных водорослей с довольно бедной фауной, состоящей главным образом из бокоплавов, мелких полихет и мелких двустворчатых моллюсков.

Для нижней части литорали дальневосточных морей наиболее характерны заросли бурых ламинариевых водорослей. Подавляющее большинство этих водорослей служат или могут служить источником ценных биологически активных веществ, а многие из них, кроме того, являются важным пищевым сырьем. На литорали северной части беринговоморского побережья Чукотки ламинариевых водорослей еще нет, лишь в заливе Креста появляется *Laminaria bongardiana*, которая далее на юг распространяется вдоль восточной Камчатки, северных и средних Курильских о-вов. Для материкового побережья Охотского моря характерны другой вид ламинария — *L.gurjanovae*, названной в честь неутомимого исследователя литорали профессора Е. Ф. Гурьяновой, а также представитель другого рода ламинариевых — *Lessonia laminarioides*. На низкобореальной литорали южных Курильских о-вов, Южного Сахалина и северного Приморья помимо сообществ ламинариевых, относящихся к различным родам, широко представлены заросли саргассовых водорослей, главным образом цистозир — *Cystoseira crassipes*, а также некоторых видов саргассов (род *Sargassum*). Кроме того, в этих же низкобореальных районах обычны заросли морского льна *Phyllospadix iwataensis*. Наконец, в Южном Приморье морской лен и саргассовые водоросли обитают преимущественно в верхней части сублиторали, а нижняя часть малой по величине литорали здесь заселена преимущественно мозаикой водорослей с преобладанием красных.

На основе количественного учета мы получили представление о биомассах всех видов, слагающих литоральные сообщества. На скалистой и каменистой литорали биомасса растений достигает 20—30 кг/м² в сыром весе, а животных — 20—40 кг/м², хотя средние величины биомассы значительно ниже и составляют как для растений, так и для животных величины в 0,4—0,6 кг/м². Примерно такая же биомасса животных на защищенной от сильного прибоя илисто-песчаной литорали, хотя биомасса растений здесь обычно значительно ниже и только в зарослях морских трав достигает 1—3 кг/м². На наиболее

бедно населенной прибойной песчаной литорали растения-макрофиты отсутствуют, а биомасса животных обычно не превышает 20—40 г/м².

КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИТОРАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ

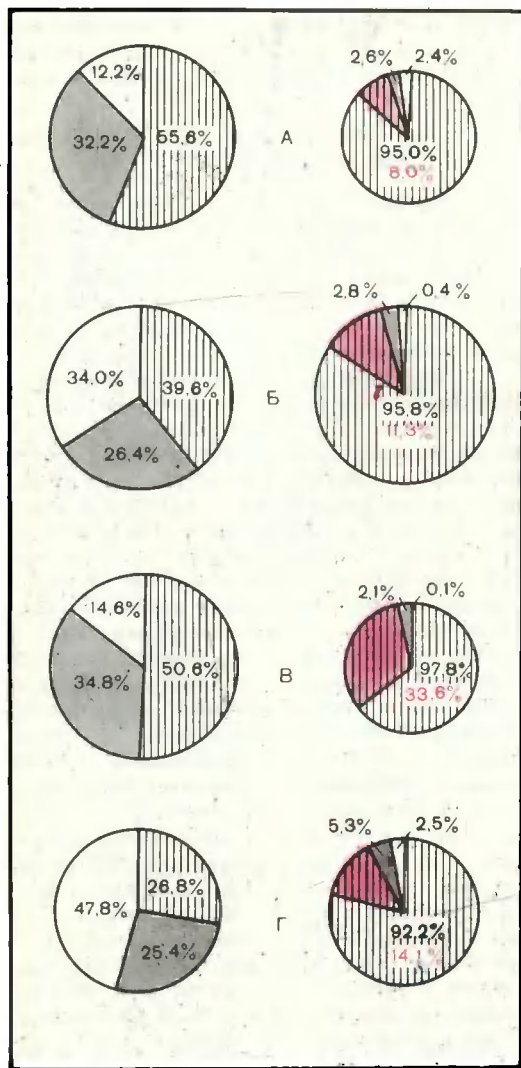
Изучая литоральные сообщества северных и дальневосточных морей и сравнивая их с сообществами других районов земного шара, мы пришли к выводу, что по степени сходства (а в ряде случаев и родства) все литоральные сообщества можно разделить на 4 группы.

Первая группа это однородные сообщества, которые обычно занимают сходные биотопы в пределах одной и той же биогеографической провинции или области реже климатической зоны, и имеют одни и те же доминантные виды и составляют одну и ту же ассоциацию. По видовому же составу прочих видов однородные сообщества могут отличаться не только в удаленных, но и в близких районах вследствие локальных изменений среды. Тем не менее обычно облик сообществ, принадлежащих к одной и той же ассоциации, оказывается весьма сходным из-за экологического и географического викариата видов. При этом преобладание общих видов по биомассе оказывается значительно большим, чем по их числу.

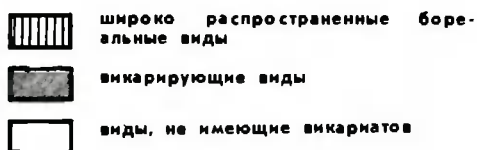
Во вторую группу входят параллельные, или викарирующие, сообщества, которые занимают сходные биотопы в пределах разных зон, биогеографических зон или провинций и в которых доминируют близко родственные виды (обычно виды одного и того же рода, реже виды разных родов одного семейства, еще реже виды разных семейств, но одного подсемейства). Ассоциации, составленные такими сообществами, можно относить к одной формации. В разных биогеографических областях или подобластях в пределах одной и той же климатической зоны параллельные сообщества часто доминируют.

Третья группа состоит из конвергентных, или изоморфных сообществ, занимающих в различных районах литорали земного шара более или менее сходные биотопы. Доминирующие виды этих сообществ хотя не близко родственные виды, но имеют сходный облик и принадлежат к одной и той же жизненной форме. Формации, состоящие преимущественно из изоморфных сообществ, можно относить к одному классу формаций, или биому.

В четвертую группу мы объединяем функционально аналогичные, или анизо-



Видовая структура однородных сообществ (ассоциация *Fucus evanescent*) в различных районах северо-западной части Тихого океана). Слева — диаграммы, иллюстрирующие соотношение трех групп видов макробентоса, справа — среднее соотношение биомасс этих групп (процент биомассы всех видов преобладающей группы, за исключением доминирующего вида, выделен цветом). Низкобореальный район: А — Южные Курильские о-ва, видов макробентоса — 90, средняя биомасса — 4800 г/м². Высокобореальные районы: Б — Северные Курильские о-ва, видов макробентоса — 91, средняя биомасса — 8950 г/м²; В — Восточная Камчатка, видов макробентоса — 89, средняя биомасса — 4500 г/м²; Г — Анадырский залив, видов макробентоса — 71, средняя биомасса — 5600 г/м².



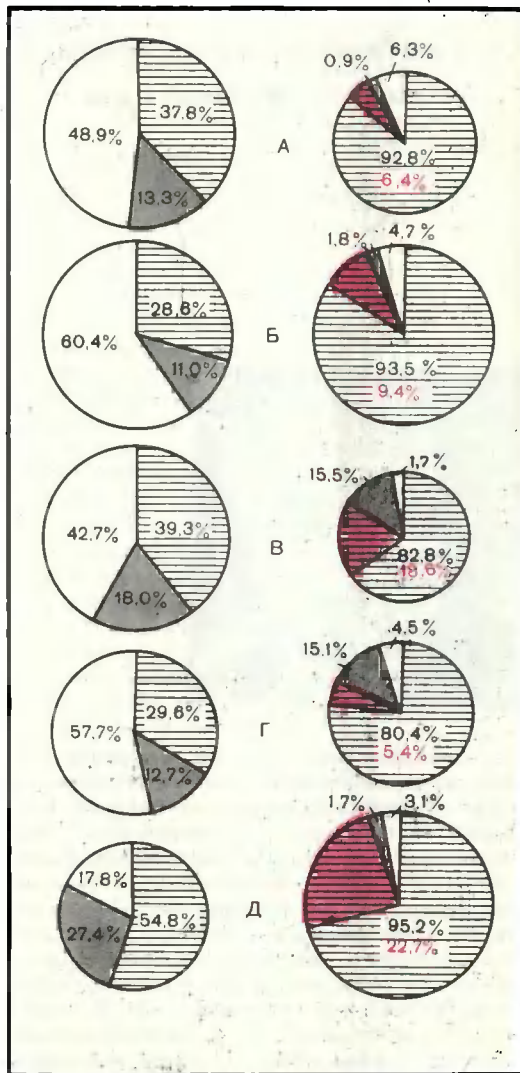
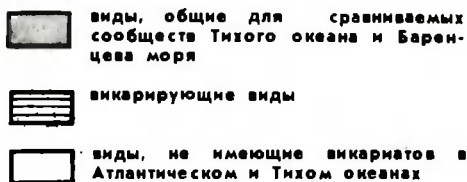
морфные, сообщества, в которых доминирующие виды, не родственные между собой, они принадлежат к разным жизненным формам, но относятся к одной и той же трофической группе. Так, в ряде мест обычные для литорали сообщества с доминированием фильтрующих животных — морских желудей или моллюсков — митилид заменяют сообществами с преобладанием других фильтратов — губок, простых асцидий семейства Pyuridae, колониальных асцидий семейства Polyclinidae, полихет семейства Sabellidae, живущих в трубках и др. На илистых песках, а иногда и на заиленных скалах ассоциации водо-

рослей сменяются зарослями морских трав. Иногда коралловые рифы в тропиках и заросли ламинариевых в умеренных и холодных водах сопоставляют по своей значимости, хотя основными продуцентами в первом случае являются не сами доминанты-кораллы, а симбиотические водоросли.

Обширные материалы, собранные на литорали дальневосточных морей нашей лабораторией, еще полностью не обработаны. Несомненно, полная обработка его позволит уточнить биогеографическую структуру фауны и флоры каждого из изученных районов, представления о со-

Сравнение видовой структуры параллельных сообществ *Fucus evanescens* [А—Г] из северо-западной части Тихого океана и *F. distichus* [Д] с побережья Мурмана [Баренцево море]. Обозначения те же, что на предыдущем рис. Побережье Мурмана [Д]: видов макробентоса — 62, средняя биомасса — 9130 г/м².

Как видно из сравнения диаграмм, в отличие от однородных сообществ, в параллельных ведущая роль по биомассе [80—95%] принадлежит викаррирующим видам, хотя их количественный перевес не так велик [29—55%]. Видов, не имеющих соответствующих викарриатов в северной части Тихого океана, значительно больше [42—60%], чем в Атлантическом [17,8 от общего числа видов в сообществе], но по биомассе их роль везде весьма невелика [не более 6%].



ставе и распределении литоральных биоценозов, но уже сейчас можно сказать, что первый этап работы лаборатории, связанный с экспедиционными исследованиями на обширном пространстве побережья дальневосточных морей, в основном закончен. В результате получена общая картина жизни на литорали этого региона. Впереди следующий этап — углубленное изучение на специально выбранных полигонах, характеризующих различные типы дальневосточной литорали, сезонных изменений сообществ, жизненных циклов и продукционных характеристик массовых видов растений и животных.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Гурьянова Е. Ф., Закс И. Г., Ушаков П. В. ЛИТОРАЛЬ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА. Ч. III. УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ НА ЛИТОРАЛИ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА. — «Труды Ленингр. об-ва естествоисп.», 1930, т. 60, вып. 2. Литораль Берингова моря и юго-восточной Камчатки. М., 1978.

РАСТИТЕЛЬНЫЙ И ЖИВОТНЫЙ МИР ЛИТОРАЛИ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ. Новосибирск, 1974.

Географические связи флоры Крыма и гипотеза Понтиды

Н. И. Рубцов



Николай Иванович Рубцов, доктор биологических наук, профессор, научный консультант Государственного Никитского ботанического сада ВАСХНИЛ, заслуженный деятель науки Украинской ССР. Специалист в области геоботаники, ботанической географии и флористики Казахстана, Средней Азии и Крыма, автор большого числа научных статей и некоторых монографий по растительному миру этих территорий.

Гипотеза о существовании в недавнем геологическом прошлом на месте Черного моря Понтической суши, или Понтиды, соединявшей Крым с Малой Азией, Кавказом и Балканским полуостровом, впервые была предложена еще в прошлом веке такими выдающимися зарубежными геологами, как Ф. Освальд и Ф. Фрех, а из наших русских соотечественников — Н. И. Андрусовым. Позднее, уже в XX в., ее поддерживали крупнейшие географы — Л. С. Берг и Б. Ф. Добрынин. В последнее время гипотеза Понтиды получила новые геофизические обоснования в работах крымского геолога С. А. Ковалевского, который пришел к выводу, что крымская горная гряда, в сущности, представляет собою большой барьерный риф, к югу от которого в третичное время существовала суша, распространявшаяся до Малой Азии. «Только в конце четвертичного периода эта обширная суша (Понтида, по Б. Ф. Добрынину, 1922) по широкому разлому оторвалась от чуждой ей по природе Скифской платформы и погрузилась в глубины Черного моря»¹.

Однако среди геологов существует и иная точка зрения. Так, например, настойчиво отвергает существование Понтиды М. В. Муратов², который считает, что впадина Черного моря начала образовываться еще в палеогене, а горный Крым существовал лишь как остров с миоцена по плиоцен.

Итак, проблема Понтиды до сих пор еще, по-видимому, геологами окончательно не решена. Поэтому в ее решении могут оказаться полезными имеющиеся теперь биогеографические факты, тесно связанные с этой интересной палеогеографической проблемой. Переходим к их краткому изложению.

На основе данных, приводимых в двух специальных сводках — «Флора Крыма» (М.—Л., Ялта, 1927—1969) и «Определитель высших растений Крыма» (Л., 1972), видовой состав очень богатой и оригинальной крымской флоры теперь стал достаточно хорошо известным, хотя в про-

¹ Ковалевский С. А. Происхождение Крыма и Черного моря. — «Природа», 1966, № 3.

² Муратов М. В. История тектонического развития глубоководной впадины Черного моря и ее возможное происхождение. — «Бюлл. МОИП, отд. геол.», 1956, т. XXX, № 5; См. его же: Геологическое прошлое Крыма и Черного моря. — «Природа», 1960, № 6.

цессе последующих исследований в печати появились еще некоторые дополнения. Однако эти дополнения в общем уже не изменяют сколько-нибудь существенно ранее полученных итогов изучения флоры Крыма, определивших ее таксономический и географический облик.

Состав флоры сосудистых растений Крыма определяется 108 семействами, 698 родами и 2433 видами. Если же учесть позднейшие дополнения, то количество видов, составляющих эту флору, можно, по-видимому, определить числом 2500. При сравнительно небольшой площади Крыма (26 тыс. км²) указанное число видов очень велико. А если принять во внимание, что почти вся крымская флора представлена в горной части, на площади всего лишь 7 тыс. км², то флористическое богатство горного Крыма будет особенно впечатляющим.

Анализы, проведенные в 1920—1940 г. известными знатоками флоры Крыма Е. В. Вульфом и В. П. Малеевым, а в последнее время (на основе учета новейших данных) автором и его сотрудниками³, убедительно показали, что флора горного Крыма, особенно его южного берега, имеет довольно тесные географические и генетические связи с флорой стран Средиземноморья. Наиболее очевидны такие связи с восточной частью Средиземноморья (от Апеннинского и Балканского п-вов на западе до стран Ближнего Востока, Малой Азии и Кавказа на востоке). По нашим подсчетам, более половины видов флоры Крыма имеют средиземноморские или европейско-средиземноморские ареалы. Восточносредиземноморская группа в целом представлена 542 видами, (включая сюда 223 крымских эндемика). Почти все растения этой географической группы обитают в горном Крыму, преимущественно на его Южном берегу.

Хорошим примером восточносредиземноморского вида может служить вечно-зеленый молочай (*Euphorbia rigida*), часто и в больших количествах встречающийся на скалах и каменистых склонах приморского пояса. Зимой, в январе — феврале, он уже зацветает и придает в это время очень своеобразный облик южнобережному ландшафту. Ареал этого растения проходит на западе через Италию и Сицилию, а на востоке включает Грецию, о-в Крит, Малую Азию, Сирию. Самая восточная граница его распространения проходит по западному Закавказью (к северу от Туанце).

Из других видов горного Крыма, обладающих подобным же ареалом, можно указать на земляничное дерево (*Arbutus andrachne*), высокий древовидный можжевельник (*Juniperus excelsa*); из кустарников — ладанник (*Cistus tauricus*), вязель (*Coronilla emeroides*); из травянистых многолетников — очень оригинальные и эффектные асфоделины (*Asphodeline lutea*, *A. taurica*), а из многочисленных однолетников — сердечник (*Cardamine graeca*), клевер (*Trifolium speciosum*), некоторые виды рода *Valerianella* (*V. lasiocarpa*, *V. kotschyi*, *V. turgida*, *V. boissieri*).

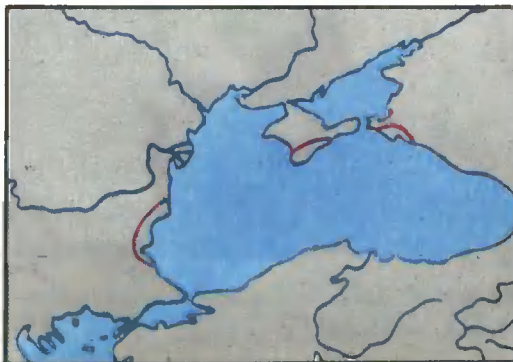
Среди растений восточносредиземноморского ареала особенный географический и флорогенетический интерес представляет группа так называемых эвксинских видов, распространение которых ограничивается лишь странами, окружающими Черное море (*Pontus Euxinus* древних греков и римлян). К этой группе следует отнести прежде всего значительное число крымско-кавказских эндемиков. Во флоре Крыма в общем насчитывается около 90 таких видов. Среди них очень важно особо выделить крымско-новороссийские эндемики, связывающие Крым и новороссийскую часть западного Закавказья, потому что именно они, как нам кажется, довольно наглядно свидетельствуют о некогда бывшей континентальной связи, о сухопутных «мостах» между Крымом и западным Закавказьем. Сейчас известно около 20 крымско-новороссийских эндемиков. В качестве примера укажем на некоторые из них: ремнелепестник козыльный (*Himantoglossum carpinum*) — замечательное орхидное, ранее считавшееся крымским эндемиком; копеечник (*Hedysarum candidum*), скальную люцерну (*Medicago rupestris*), два вида оносмасы (*Onosma polyphyllum*, *O. rigidum*), крокус (*Crocus tauricus*). Однако большая часть крымско-кавказских видов связывает флору Крыма с другими частями западно-

³ См.: Вульф Е. В. Происхождение флоры Крыма. — «Зап. Крымск. общ. естествоисп.», 1926, IX; Вульф Е. В. Историческая география растений. М., 1944; Малеев В. П. Растительность причерноморских стран (Эвксинский провинции Средиземноморья), ее происхождение и связи. — «Труды Ботанического института АН СССР, сер. III, геоботаника», 1944, т. 4; Рубцов Н. И., Привалова Л. А. Флора Крыма и ее географические связи. — В кн.: 150 лет Гос. Никитскому ботаническому саду (Сб. научн. тр., 37), М., 1964; Рубцов Н. И. Опыт классификации географических элементов флоры Крыма. — В кн.: Проблемы биогеоценологии, геоботаники и ботанической географии. Л., 1973.



Средиземноморский ландшафт Южного берега
Крыма (близ Гурзуфа)

Здесь и далее фото В. Ю. Наркявичуте.



♦ Флора горного Крыма, особенно его Южного берега, имеет довольно тесные географические связи с флорой близлежащих стран. Пример типичного средиземноморского ареала одной из обычных орхидей горного Крыма — ятрышника римского (*Dactylorhiza romana*).

Восточносредиземноморский ареал молочая жесткого.

Крымско-малоазиатский ареал копеечника.

Крымско-малоазиатский ареал пажитника смиренного (*Trigonella smyrnea*).

Крымско-кавказско-балканский ареал копеечника крымского (*Hedysarum tauricum*).



Можжевельник высокий (*Juniperus excelsa*) — реликтовая лесная порода на Южном берегу Крыма.



Эндемик Крыма — подснежник складчатый (*Galanthus plicatus*). Близкородственные ему виды обитают на Кавказе, Балканском п-ове и в Малой Азии.



Крымский эдельвейс (*Cerastium biebersteinii*) — один из замечательных эндемиков Крыма.

го Закавказья и Кавказа в целом. Так, например, чатырдагская роза (*Rosa tchalyrdagi*), по данным В. Г. Хржановского, кроме горного Крыма распространена в южном и восточном Закавказье, в Дагестане, в Предкавказье. Сходное распространение имеют крымский лен (*Linum tauricum*) и трубкоцвет Биберштейна (*Solenanthes biebersteinii*).

Следующая эвксинская ареалогическая группа представлена видами, распространение которых ограничено Крымом и Малой Азией. Судя по имеющимся данным, к этой группе относится примерно 9—12 видов. Факт наличия такой весьма интересной географической группы, по-видимому, может являться свидетельством существования в прошлом каких-то континентальных связей между противоположными берегами Черного моря. Наиболее ярким примером служит оригинальнейшая орхидея комперия (*Comperia comperiana*), известная лишь на немногих, далеко отстоящих друг от друга участках, а именно на Южном берегу Крыма (преимущественно в долине Ласпи), в Малой Азии (в горах Лидии и Киликии) и в Курдистане (в горах близ границы с Ираном). Из других крымско-малоазиатских видов укажем на боярышник Стевена (*Crataegus stevenii*), крымский донник (*Melilotus tauricus*), каппадокийский костер (*Bromopsis cappadocica*), смирненский пажитник (*Trigonella smyrnea*).

Не менее важным для выяснения былых палеогеографических условий в современных границах Черного моря является и наличие крымско-балканской дизъюнкции в ареалах некоторых растений. Теперь известно около 8—9 видов, распространение которых ограничено только Крымом и Балканским полуостровом. К ним относятся: льнянка эвксинская (*Linaria euxina*), альпийский кахрис (*Cachrys alpina*), плющ (*Hedera taurica*), раkitник (*Cytisus palytrichus*), прибрежная незабудка (*Myosotis litoralis*).

Имеется и довольно значительное число крымских растений с ареалами, которые можно назвать циркумэвксинскими, так как они включают сразу несколько причерноморских стран. Так, крымско-кавказско-малоазиатским ареалом обладают 25 видов (пример — *Colutea cilicica*), крымско-кавказско-балканским — 6 видов (пример — *Euphorbia glareosa*), крымско-балканско-малоазиатским — 11 видов (пример — *Ornithogalum fimbriatum*).

Всего во флоре Крыма насчитывается около 150 видов с эвксинскими ареалами. Кроме того, следует принять во внимание,



Комперия [*Comperia comperiana*] — оригинальнейшая крымско-малоазиатская орхидея.

Фото Н. И. Рубцова



Молочай жесткий [*Euphorbia rigida*] — раннее-сеенное растение Крыма, один из многих представителей восточносредиземноморской флоры.

Иглица понтийская (*Ruscus ponticus*) — восточно-средиземноморский вид, спутник можжевельно-дубовых лесов Южного берега Крыма.

Ладанник крымский (*Cistus tauricus*) — растение восточносредиземноморского ареала, обычное в лесах Южного берега Крыма.

Земляничник мелкоплодный [*Arbutus andrachne*] — вечнозеленое дерево, постоянный спутник можжевельно-дубовых лесов на Южном берегу Крыма.



что эта флора содержит еще и немало замещающих (викарных) видов, т. е. близкородственных видам других причерноморских стран. Особенно много викарных видов среди крымских эндемиков, родственные связи которых с кавказскими, балканскими и малоазиатскими видами прослеживаются достаточно ясно.

Все приведенные выше ботанико-географические факты, по-видимому, могут служить свидетельством в пользу существования на месте Черного моря Понтиды, Понтической суши. Во всяком случае, эти факты, как нам кажется, довольно убедительно указывают на возможность наличия каких-то сухопутных «мостов», связывавших страны, ныне окружающие Черное море. Интересно, что это находит свое подтверждение и в зоогеографических данных. Горячим сторонником гипотезы Понтиды является известный зоогеограф И. И. Пузанов. В своей обстоятельной работе о наземных моллюсках Крыма⁴ он показал, что ряд этих животных имеют циркумэвксинский ареал. При анализе крымских эндемичных моллюсков оказалось, что 15 из них близкородственны видам Малой Азии и почти столько же эндемиков — видам, распространенным в западном Закавказье. Словом, зоогеографические факты, приведенные Пузановым, оказываются поразительно сходными с теми фактами, которые были приведены нами при характеристике географических ареа-

⁴ Пузанов И. И. Материалы к познанию наземных моллюсков Крыма. — «Бюлл. МОИП, отд. биол.», 1927, т. XXXV.



лов крымских растений. Просмотр зоогеографической литературы по Крыму показывает, что не только среди моллюсков, но и в некоторых других группах животных (насекомые, птицы, млекопитающие) также наблюдаются довольно ясные близкородственные связи с соответствующей фауной причерноморских стран.

Возможно ли с точки зрения имеющих биogeографических данных допустить (как это делают геологи, отрицающие существование Понтиды), что Крым долгое время (с миоцена до плиоцена, по М. В. Муратову) был островом. Оказываясь, такое допущение вызвало бы затруднения, так как в этом случае эндемизм во флоре Крыма был бы выражен в гораздо большем масштабе и притом эндемизм преимущественно древний, реликтовый, подобный тому, какой мы наблюдаем на островах, давно потерявших связь с материком, например на Мадагаскаре или Канарских островах, где эндемики составляют более половины их флоры, причем здесь имеется значительное число эндемичных родов и даже некоторые эндемичные семейства. Ничего подобного во флоре Крыма, конечно, нет. Эндемизм флоры Крыма, в общем, небольшой (составляет не более 10%), а главное, он молодой, прогрессивный, представлен главным образом молодыми видами, часто весьма слабо отграниченными от своих ближайших родственников, обитающих в смежных странах. Реликтовых эндемиков здесь мало (не более 20—25%).

Таким образом, длительное (миоцен-плиоценовое) островное существование Крыма биogeографическими данными никак не подтверждается. Тем более, что каких-либо климатических катастроф, которые (допустим) могли бы погубить эту островную миоцен-плиоценовую флору, судя по имеющимся данным, здесь, по-видимому, не было.

В заключение следует отметить, что существование древнего аборигенного ядра в составе флоры Крыма некоторыми ботаниками не всегда достаточно учитывается. Допускается и возможность формирования этой флоры почти исключительно за счет широких и быстрых миграций растений с территорий, прилежащих к Крыму: с южнорусской равнины, Кавказа, Балканского полуострова, а также из очень удаленных территорий путем различного рода заносов растений животными, человеком, ветром, водными течениями. С изложением именно такой точки зрения недавно выступил в печати

Г. Э. Гроссет⁵. Он считает, что крымская флора сформировалась, по существу, лишь в послеледниковое время путем миграций, проходивших главным образом с Русской равнины и по обнажавшемуся (после опускания уровня Черного моря) шельфу. Существование во флоре Крыма некоторых видов, связанных своими ареалами с Малой Азией (например, *Comperia comperiana*), он объясняет не наличием какого-либо сухопутного «моста», а заносами с помощью птиц. Многие другие крымские растения считаются антропогенными.

Роль миграции в сложении флоры, разумеется, полностью отрицать нет оснований. Однако те широкие и быстрые послеледниковые миграции, которые допускаются в указанной статье, едва ли возможны в действительности, если учитывать весьма различную экологию и биологию видов, ныне слагающих флору Крыма.

⁵ Гроссет Г. Э. О происхождении флоры Крыма.— «Бюлл. МОИП, отд. биол.», 1979, т. 84, вып. 1—2.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Муратов М. В. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОШЛОЕ КРЫМА И ЧЕРНОГО МОРЯ.— «Природа», 1960, № 6.

Ковалевский С. А. ПРОИСХОЖДЕНИЕ КРЫМА И ЧЕРНОГО МОРЯ.— «Природа», 1966, № 3.

«Исчезнувшие народы». Хазары

С. А. Плетнева



Светлана Александровна Плетнева, доктор исторических наук, заведующая сектором славяно-русской археологии Института археологии АН СССР. Основные интересы сосредоточены в области средневековой истории южных соседей Руси — степных кочевников. Монографии: От кочевий к городам. М., 1967; Древности Черных Клобуков. М., 1972; Половецкие каменные изваяния. М., 1974; Хазары. М., 1976. В «Природе» опубликована статья: «Исчезнувшие народы. Половцы» (1977, № 2).

ПИСЬМО КАГАНА ИОСИФА

В середине X в. придворный испанского калифа Абд-ал-Рахмана III (912—961), еврей Хасдай ибн Шафрут, заинтересованный дошедшими до него слухами о реальном существовании где-то в далеких восточных степях иудейского государства хазар, написал правителю этого государства обстоятельное письмо-вопросник. Несмотря на то, что хазарский каган Иосиф ответил далеко не на все вопросы кордовского сановника, письмо, написанное по приказу и даже, возможно, под его диктовку, чрезвычайно важно для нас потому, что это единственный документ, в котором сами хазары, хоть и очень коротко и фрагментарно, рассказывают о себе, о своем государстве, о некоторых эпизодах своей истории, обычаях и законах.

Каган открывает повествование с этнического определения своего народа. Он заявляет, что народ происходит из рода Тогармы, сына Иафета. В древнееврейской литературе Тогармой (Тогаром) именовались все тюркские народы. Иосиф гордо называет себя «царем Тогармским», под-

черкивая этим титулом свое могущество, простирающееся якобы не только на хазар, но и на все остальные тюркские народы. Следующий раздел письма посвящен первым шагам хазарской истории. Сначала, — писал Иосиф, — предки хазар были малочисленны. Затем они вели войну с народами, которые были многочисленнее и сильнее их, но «с помощью божьей» хазары прогнали их и заняли их страну. Иосиф указывает и имя изгнанного народа — В-н-н-т-р. Ряд ученых полагает, что это не точно переданное древнееврейской транскрипцией имя болгарского племени оногуров (утригуров), кочевавших в VII в. в восточном Приазовье. Не менее ценны сведения Иосифа об общественных отношениях и экономике страны. Он писал, что каждый род в его государстве имеет наследственное владение, в котором ведет свое полужемледельческое-полукошачье хозяйство.

Поскольку дождей в Хазарии выпадает мало, рассказывает далее Иосиф, поля в государстве орошаются из рек, земли же тучны и плодородны, и поэтому в стране много садов и виноградников. В многочисленных реках водится самая разнообразная рыба, которую добывают в большом количестве.

Наиболее запутанными кажутся в письме Иосифа вопросы о размерах Хаза-

См. статьи из серии «Исчезнувшие народы»: «Природа», 1977, № 2, 3; 1978, № 6, 11.

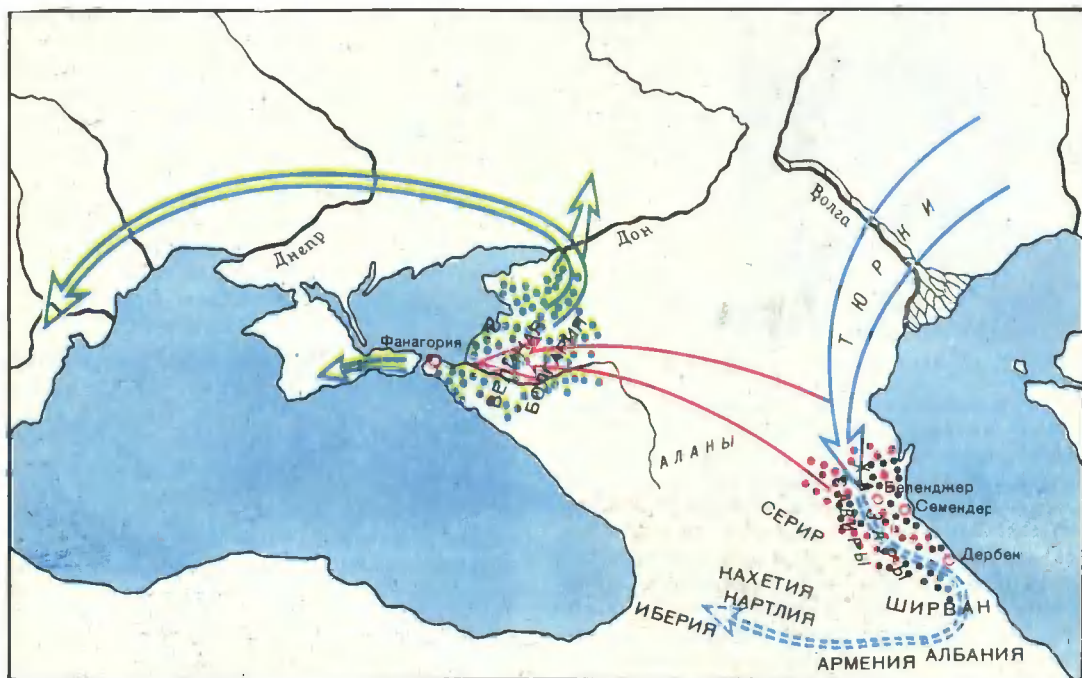
рии, о ее местоположении, городах и соседях, то есть вопросы ее политической географии и роли, которую играл каганат в Восточной Европе. Размеры страны, по данным письма, весьма значительны: восточная граница проходила где-то по заволжским степям, южная — вдоль Кавказского хребта, западная — по Крыму. Не очень ясно обозначена северная граница. Однако днепровские и донские степи, по мнению Иосифа, также входили в состав каганата.

Перечисление многих подвластных

вок интересен потому, что в нем отражены представления и притязания правящей верхушки хазар на политическое положение каганата в Восточной Европе в середине X в.

ХАЗАРСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

Примерно в середине IV в. на народы Восточной Европы обрушилось гуннское нашествие. В 370 г. гунны заняли прикаспийские и донские степи, опустошили Приазовье и Причерноморье и ринулись в Центральную Европу.



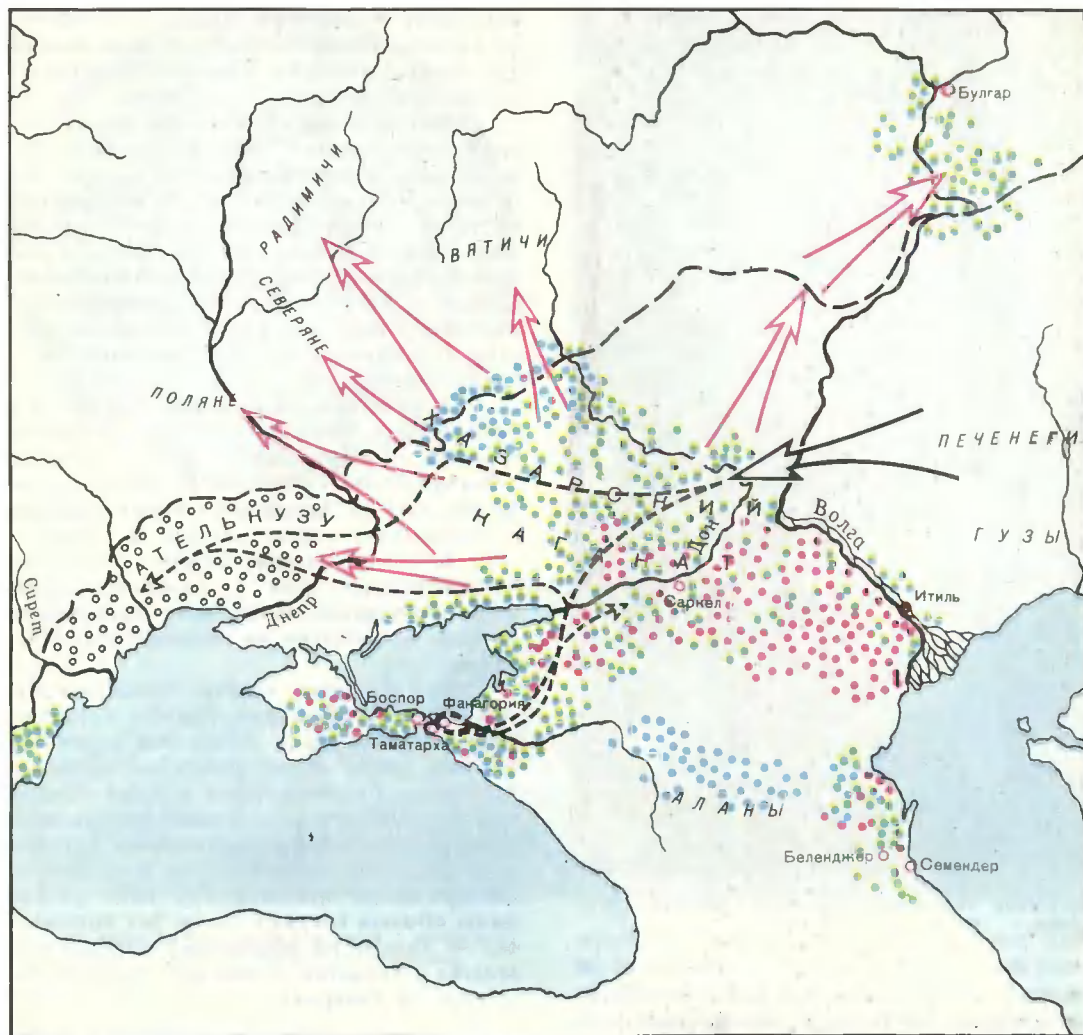
Хазары и их соседи в VII в.

Красными точками обозначены племена хазар, черными — савир, зелеными — болгар. Зелеными стрелками показаны пути расселения болгар. Красной стрелкой — распространение власти хазар в Приазовье. Голубой стрелкой — турецкий путь, голубой пунктирной — вторжение совместной армии тюрков и хазар в Закавказье.

кагану городов, народов, племен и постоянный хвастливый рефрен о дани, которую выплачивают ему все соседние народы, обширные размеры государства — все это выглядит очень спорным. Данные письма нуждаются в проверке посредством сопоставлений с другими, дошедшими до нас источниками, как письменными, так и археологическими. Тем не менее этот отрывок

В восточноевропейских степях осталось большое количество кочевых племен, которые после гибели гуннской державы в 454 г. стали развиваться самостоятельно — их имена запестрели на страницах византийских и закавказских исторических хроник. Акациры, барсилы, сарагуры, уроги, оногуры, савиры, авары, утигуры, кутригуры, болгары, хазары — вот далеко не полный список этих постоянно враждующих и воюющих между собой народов. Все они активно участвовали в качестве союзников или наемников в частых византийско-иранских столкновениях и войнах, а при случае грабили и разоряли близкие к их кочевьям пограничные провинции обеих империй.

Более или менее связные сообщения



Хазарский каганат во второй половине VIII — начале X в.

Черной пунктирной стрелкой обозначено продвижение печенегов по территории каганата, красными стрелками — экспансия каганата на земли славянских племен и Волжской Болгарии. Красными точками обозначены места расселения хазар, синими — алан, зелеными — болгар.

о хазарах и родственных им племенах болгар и савир начинают появляться в армянских и византийских источниках, повествующих о событиях, происходивших в Предкавказье не ранее начала VI в.

Все они кочевали в дагестанских степях и были объединены в рыхлый, слабо организованный экономически и политически, но достаточно дееспособный в воен-

ном отношении племенной союз. Постепенно ведущим народом в нем стали хазары. Однако союз недолго был самостоятельным. В евразийских степях во второй половине VI в. появилась новая политическая сила — Тюркский каганат. С ним считались не только кочевые народы, но и Иран, и даже далекая Византийская империя. Начав войну с Ираном, каганат включил в свое объединение и кочевой союз хазар и савир, через земли которых войска тюрков двинулись на владения шаха. Однако вспыхнувшая в Тюркском каганате кровопролитная междоусобица вынудила тюрков уйти из Предкавказья.

В 626 г. тюрки вовлекли хазар в войну, которую вела Византия с Ираном. Тюркская армия устремилась на Закавказье, од-



Костяное горлышко хазарского кожаного бурдюка.

нако успешное вторжение было неожиданно прервано из-за новой междоусобицы в каганате, которая кончилась полным крахом Тюркской державы. На ее развалинах начали возникать новые государственные образования. Одно из них создали болгарские племена. Болгары занимали приазовские степи и Таманский полуостров. Их вождь и правитель Кубрат в 635 г., после освобождения из-под власти Тюркского каганата, создал свое самостоятельное объединение — Великую Болгарию.

Хазарский каганат сложился в прикаспийских степях почти одновременно с Великой Болгарией. Хазары считали себя прямыми наследниками Тюркского каганата; своего правителя они называли каганом, а государство — каганатом.

Ослабление Великой Болгарии после смерти Кубрата привело хазарских правителей к мысли присоединить к своему объ-

единению приазовских болгар и захватить их великолепные пастбища и начинающие отстраиваться после гуннского разгрома черноморские порты.

Болгары под водительством энергичного и талантливого хана Аспаруха оказали хазарам сопротивление, но другой наследник Кубрата — Батбай не поддержал брата, и Аспарух вместе со своей ордой откочевал на Дунай, став там основателем нового государства — Дунайской Болгарии. Батбай остался в каганате. Этническая и языковая близость его орд с хазарами привела к быстрому слиянию этих племен в единый союз.

Распространение власти хазар на Приазовье и Восточный Крым неизбежно привело к установлению тесных контактов с Византийской империей. В конце VII — начале VIII вв. Хазарский каганат оказался в центре политических интриг Византии.

В 711 г. хазары помогли захватить императорский трон в Константинополе крымскому армянину Вардану, получившему при восшествии на престол имя Филиппа.

В результате каганат приобрел надежного союзника для борьбы с надвигавшейся уже через Закавказье в прикаспийские степи новой силой — арабами. Поскольку Византия была и сама кровно заинтересована в этом союзе против арабов, она пошла на всевозможные уступки хазарам, чтобы закрепить его. В частности, все крымские противоречия были разрешены обоими государствами без проволочек — Херсон по обоюдному соглашению отошел к Византии, а весь восточный Крым остался за Хазарией.

ОТ КОЧЕВИЙ К ГОРОДАМ

Трудами советских этнографов и археологов установлено, что кочевое хозяйство в степях принимает в зависимости от степени развития экономических и общественных отношений различные формы. Первая форма характеризуется тем, что все население кочует круглый год. Кочевание было распространено, как правило, на той стадии исторического развития, когда та или иная группа кочевников вступала на путь завоевания и освоения новых земель. Вторая форма отличается от первой ограничением территории кочевания и появлением постоянных зимовищ, на которые возвращаются ежегодно кочующие с апреля по декабрь степняки. Третья форма является логическим завершением второй. На этой стадии кочует только часть насе-



Серебряное блюдо с изображением сцены охоты.



Серебряное блюдо с изображением поединка богатырей.



Бордюр серебряной хазарской чашки с изображением сцены борьбы богатыря с богатыршей.

ления, владеющая для этого необходимым для ведения кочевого хозяйства количеством скота. Большая же часть населения не может уже вести кочевой образ жизни и ищет иные способы существования. Если при второй форме с наступлением весны зимовища покидали все, кроме, возможно, немощных стариков, то при третьей там же остаются неимущие. Чтобы не умереть с голоду, они начинали заниматься земледелием и кое-какими ремеслами. Так постепенно возникали в кочевой степи поселки с оседлым населением.

Большинство открытых в дагестанских степях поселений было укреплено мощными рвами и глинобитными, саманными или сложенными из рваного камня стенами. У села Чир-Юрт на р. Сулак находятся развалины древнейшей столицы Ха-

зарии — Беленджера. Городище это как бы запирает всю долину Сулака — оно расположено у выхода реки из предгорий в равнину. С напольной стороны город был укреплен рвом и стеной, сооруженной из камня и саманных кирпичей с прослойками камыша, игравшими антисейсмическую роль.

Второй город Хазарии — Семендер. Арабские авторы указывали, что этот город находился недалеко от Дербента (4—8 дней пути), на берегу моря и озера. Ряд ученых полагает, что такое место находится у современной Махачкалы.

Очевидно, первоначально Семендер был крайним северным укреплением Ирана, преграждающим путь кочевникам. Позднее он разросся в город: Выгодное положение у морской гавани выдвинуло его — на некоторое время он стал столицей каганата.

Находит подтверждение и казавшееся невероятным сообщение древних авто-



Железные предметы хазарского обихода и оружие: мотыжка (употреблялась для выкапывания ям, обработки земли и долбления дерева), удила, стрелы, боевой топорик, сабля.

ров о виноградниках и садах, окружавших эти города. Анализы почв и палеоботанических остатков показали, что земледелие около хазарских городов несомненно существовало. Открытые в последние годы следы каналов подтверждают фразу Иосифа об орошаемом земледелии в Хазарии.

Мощные города-крепости известны и вне бассейна Сулака — на Акташе и Терекке. На равнинной территории Дагестана археологи обнаружили круглые или овальные в плане поселения, не превышающие 100 м в диаметре и окруженные рвами и саманными стенами. Небольшие размеры этих крепостей позволяют предполагать, что внутри их обитала, как правило, одна аристократическая семья.

Наличие городов, наличие имущественного неравенства, появление маленьких крепостей, весьма напоминающих феодальные замки, приводит к выводу о воз-

никновении в каганате уже в ту эпоху раннеклассового общества. Пашни и пастбища, рыбные и охотничьи угодья были, очевидно, распределены между родами. В X в. в письме Иосифа об этом пишется, как о давно известном факте.

Племенной союз хазар и болгарских племен превращался в раннефеодальное государство. Во главе каганата стоял каган. Он принадлежал всегда к одному правящему роду Ашина. В письме Иосифа говорится, что начиная, во всяком случае, с VIII в. власть всегда передавалась по прямой линии — от отца к сыну, что, как правило, свидетельствует об установившихся государственных традициях и крепкой центральной власти.

НОВАЯ СТОЛИЦА ХАЗАРСКОГО КАГАНАТА

Начавшаяся в 713 г. война с арабами закончилась полным разгромом хазар, а их кагану пришлось выполнить оскорбительное требование арабов — принять мусульманство. Тем не менее Хазария не была завоевана и не стала вассалом Халифата.

Длительная война тяжелее всего отразилась на экономике молодого хазарского государства. Арабы неоднократно вторгались на его территорию, разоряли и грабили города, жгли поселения, вытаскивали нивы и виноградники, угоняли скот с зимовищ, а население, как правило, забирали в плен и рабство. Поэтому уже в период войн началось постепенное, но устойчивое расселение хазар в обильных пастбищах волжских, донских и донецких степях. Менялась география Хазарского государства.

Переселение в степи населения, занимавшегося на Северном Кавказе развитым орошаемым земледелием, привело к тому, что донские и приазовские болгары стали активно оседать на землю. Этот массовый переход степняков к новому способу ведения хозяйства — земледелию, а вместе с тем и ремесленничеству, положил начало сложению единой культуры. Был принят на всей территории каганата общий тюркский язык, относящийся, как это установлено советскими тюркологами, к болгаро-печенежской группе тюркских языков. На всей территории этой огромной страны от лесостепи до нижнего Дона широко распространилась единая руническая принятая у тюркоязычных народов письменность.

Многочисленные этнографические аналогии говорят нам, что переход кочев-

ников к земледелию, как правило, сопровождается разделением общества на классы. Араб Истахри в X в. писал, что хазары делятся на белых и черных. Он полагал, что различие между ними чисто внешнее: черные обладают смуглой, почти черной кожей, а белые отличаются необыкновенной красотой. Однако мы знаем, что у всех тюрков такое деление означало прежде всего деление на две социальные категории. Черные хазары были податным, зависимым населением, белые — свободные. Это была родовая и служилая аристократия. Вполне возможно, что Истахри отнюдь не преувеличил разницу в их внешности. Бедняки, целые дни проводившие в поле или на коне при стаде, были черными от загара, у них, несомненно, более явственно выступала монголоидность, которая не могла казаться красивой семиту-арабу. В то же время господствующий класс, из поколения в поколение выбиравший жен нередко из пленных — славянок, албанок, грузинок, армянок и т. п., постепенно терял характерные этнические черты: представители этого класса своей изнеженностью и красотой выделялись на фоне «черного люда».

Оседала на землю и переходила к земледелию беднейшая часть населения, не имевшая возможности кочевать (для кочевания нужно определенное количество скота, которого у них не было). Богачи — владельцы стад — продолжали кочевой образ жизни. Зимой они сидели в теплых жилищах на зимовищах, а летом отправлялись в степи. Домен (кочевье) самого кагана находился в степях, ограниченных реками Волгой, Доном, Манычем и Каспийским морем. Зимовище кагана — Итиль — было расположено на берегу Волги.

Впрочем, Итиль служил зимовищем не только кагану, но и окружающей его свите, состоящей в основном из богатой болгарской аристократии. Весной все они отправлялись, как и каган, в свои родовые кочевья, расположенные в непосредственной близости от каганского домена — в донском правобережье (по рекам Чир, Цимла, Аксай и др.).

Наиболее богатые главы родов окружали свои становища стенами, сложенными из белого камня, вокруг них группировались оседло-земледельческие поселения.

Окруженные большими поселениями становища, стоящие на торговых путях, перерастали в города. Именно таким городом был Итиль — новая столица каганата. Многие попытки найти развалины этого го-



Столовые кувшины и амфора из Саркела. В амфорах вино из Крыма и низовьев Дона развозилось по всей территории каганата.

рода, который, как мы знаем из источников, находился где-то в дельте Волги, не увенчались успехом. Они, по-видимому, полностью смыты часто меняющей русло рекой. До нас дошло несколько довольно подробных древних описаний этого города (в основном арабских авторов). Итиль состоял из двух частей: кирпичного дворца-замка, построенного на острове, и большого города, соединенного с замком плавающими мостами и также огражденного мощной стеной, сложенной из сырцовых кирпичей (никто, кроме кагана, не имел права использовать при строительстве обожженный кирпич). В городе было много общественных зданий: бани, базары, синагоги, церкви, мечети, минереты и даже медресе. Частные постройки были разбросаны беспорядочно и представляли собой маленькие глинобитные домики и юрты. Жили в них купцы, ремесленники и разных

люди. Население отличалось этнической пестротой и было очень многочисленно (по некоторым данным, около 100 тыс. чел). Город утопал в садах и занимал огромную площадь — вдоль берега он тянулся на 1 фарсах (6 км).

Другим городом каганата, возникшим благодаря росту населения и развитию ремесел и торговли в крепости и вокруг нее, был Саркел, что в переводе с тюркского означало — Белая крепость. Иосиф назвал его в своем письме Ш-р-кил. Саркел, согласно сообщению византий-



Прорисовка хазарской поясной бляхи с изображением идола.

ского императора и писателя Константина Багрянородного, был построен в 30-х годах IX в. Город размещался на острове, образованном рекой и искусственным проточным рвом. Крепость имела форму четырехугольника, обведенного кирпичными стенами с крепостными башнями.

Многочисленные привозные вещи свидетельствуют об оживленных торговых связях этого города с Закавказьем, Средней Азией, Крымом. В городе жили не только торговцы, но и ремесленники: гончары, ювелиры, кузнецы. Продукция их расходилась среди окрестного населения. Торговля и ремесло превратили крепость, сооруженную в основном для охраны северо-западных границ каганского домена, в город.

Вместе с новыми городами, вырвавшимися из замков, во второй половине VIII в. начали отстраиваться разрушенные гуннами приморские города. Такова, например, Таматарха, или, как ее называли русские в XI—XII вв., Тмутаракань, расположенная на берегу Керченского пролива у современной станции Таманской. Это был крупнейший перевалочный пункт, в котором скрещивались многие морские и

сухопутные дороги. Город возник на развалинах античной Гермонассы, и, судя по археологическим материалам, жизнь в нем не прекращалась даже в тяжелый период после нашествия гуннов. В VII—X вв. город был густо заселен, о чем свидетельствует интенсивное нарастание культурного слоя, насыщенность его обломками разнообразной керамики, костями животных и многочисленными пересекающимися друг с другом кладками — остатками зданий. Там, где сохранились остатки древних зданий, видно, что они были спланированы монолитными кварталами (как в античную эпоху): новые жители подновляли и надстраивали старые дома и мостили примерно каждые 20 лет улицы битой керамикой и костями. В слое хазарского времени в Таматархе попадает наибольшее количество византийских монет, много привозной посуды. Тогда же возникли в городе собственные гончарные мастерские.

Недалеко от Таматархи на полуострове находился еще один хазарский город Фанагория, восстановленный после гуннского погрома еще во времена Великой Болгарии. При хазарах город сильно разросся и несколько раз перестраивался. В начале IX в. он был полностью разрушен печенегами и больше не возрождался.

Жители каганата вели активную торговлю с соседними странами. Из Византии, Ирана и закавказских государств хазары получали разнообразные изделия, особенно широко по всему государству расходились стеклянные бусы, доставляемые из городов Передней Азии и Египта. Из Халифата поступало в Хазарию большое количество серебряной монеты — дирхемов. Однако на территории каганата археологи редко фиксируют находки этих монет. Объяснить это можно тем, что серебро использовалось местными мастерами для изготовления украшений. Монеты в качестве денег почти не использовались: предпочиталась меновая торговля. Впрочем, некоторые советские ученые полагают, что мелкой разменной единицей в торговле были бусы.

Через земли каганата проходили торговые пути, связывающие страны Востока и Византии со славянами и балто-финскими народами. Хазары, несомненно, брали подати с проходивших караванов. Иосиф сообщал, что он контролирует речные пути.

Весьма значительной статьей дохода была дань, которую хазары брали с соседних народов. В первый период существования Хазарского государства это были преимущественно северокавказские гор-

ные племена и оседлое население Боспора. Во второй период с перемещением государственных центров переместилось и направление хазарской экспансии. Хазары обратились на север и северо-запад. В результате ими были обложены данью все соседние с верхним Подоньем славянские племена: поляне, северяне, вятичи. Об этом факте сообщается в русской летописи («хазары брали дань с полян, и с северян, и с вятичей, брали по серебряной монете и по белке от дыма»). Правда, поляне довольно быстро освободились от этой подати, передав хазарам вместе обычной дани «от дыма по мечу». В результате хазары отступились от сильного и далекого народа. Зато они обложили данью другое славянское племя — радимичей. Помимо славян хазары брали дань, по свидетельству кагана Иосифа, с буртасов, эрзи, черемисов, болгар и сувар. Все они обитали к северу и северо-востоку от Хазарии. Болгары и савары — это уже не прикаспийские барсилы и савиры, а основатели государства Волжская Болгария. Вассальная зависимость Волжской Болгарии от хазар сохранилась вплоть до гибели каганата, хотя к началу X в. она, по словам Ибн-Фадлана, бывшего при болгарском дворе в 920 г., стала минимальной.

Такова в целом была экономическая база каганата. Разносторонней и развитой экономике вполне соответствовали общественные отношения, установившиеся в каганате в тот период. Мы уже говорили, что общество разделилось на классы. Наверху сложной иерархической лестницы стояла родовая аристократия. Сложной эта лестница была потому, что по ней были распределены князья разнотнических родов и орд. Если в XIII в. монгольские ханы прежде всего уничтожили всю половецкую аристократию и сами стали единственной знатью, то хазары, наоборот, сохранили всю правящую верхушку побежденных народов — болгар и алан, связав ее с собой вассалитетом. По существу, алано-болгарские аристократы ничего не потеряли, войдя в Хазарский каганат. Единственно, чего они никогда не могли достигнуть, — это каганского трона.

Каганом мог быть только хазарин-тюрк. Однако и этот непреложный закон смогли обойти болгарские ханы, добившись для самого богатого и знатного рода права соуправления, то есть добившись двоевластия.

Власть кагана-хазарина особенно пошатнулась в период арабских войн, когда ему пришлось бегать по степи, спасаясь от



Арочный вход в аланскую погребальную камеру. У него поставлено четыре сосуда — каждому покойнику по сосуду.

арабских конных разъездов. Вот тогда и выдвинула жизнь соправителя кагану из среды наиболее дееспособных и богатых (не разоренных войной) донских болгарских ханов. Вполне возможно, что в те годы болгары просто могли сбросить кагана с полуразрушенного трона. Однако они сделали более мудрый шаг к достижению власти в государстве: кагана табуировали, а его болгарский соправитель, который в арабских источниках называется царь, хакан-бек, иша или шад, получил фактически право устранять неугодного владыку. Носитель древних, освященных традицией обычаев остался на троне, связанный этими обычаями по рукам и ногам, а свободный от всяких условностей царь единолично правил Хазарским государством. Царь возлагал на богатых обязанность поставлять всадников. Конное царское войско состояло из 10—12 тыс. всадников, находящихся на царском жаловании.

В государстве собирали подати, а следовательно была в нем и администрация — чиновники для их сбора. Высшие из них, сидящие по городам и дальним провинциям назывались тудуны. Кроме тудунов в городах правили еще и судьи. При-



Остатки стен на Семикаракорском городище, сложенных из сырцового кирпича.

чем судей было много, и судили они по разным законам: христиан — по христианскому, мусульман и иудеев — по Корану, а язычников — по «обычному» праву, то есть по законам общины.

К концу VIII в. обстановка в Хазарии сложилась так, что появилась настоятельная необходимость заменить разнородные языческие культы всеобщей государственной религией. Хазарские правители прежде всего попытались внедрить культ единого бога неба — Тенгри-хана. Так же поступали князья и ханы других раннефеодальных государств: Дунайской Болгарии, где был установлен культ вождя-хана; Киевской Руси, в которой Владимир Святославич усиленно насаждал культ Перуна — бога грома и молнии. Очень быстро эти искусственно созданные культы перестали соответствовать тем общественным отношениям, которые установились в этих государствах. Они были заменены в Болгарии и на Руси классовой религией — христианством.

Христианство наступало и на Хазарию — с запада из Византии и с юга из закавказских государств. В Крыму была учреждена Византией Готская митрополия,

в которую входили семь епархий, находившихся на хазарской земле. Однако постоянные споры хазар с Византией о власти над западными крымскими провинциями, естественно, не способствовали расположению кагана и царя к религии византийцев (христианству). Мы уже говорили о тех трагических событиях, в которых униженный каган принял мусульманство. Религия основного врага и обидчика — Халифата — также вряд ли могла стать популярной в каганате.

Становится очевидным, что враждебные отношения с христианскими и мусульманскими соседями привели хазарское правительство в начале IX в. к серьезному политическому шагу — официально принятию религии в одинаковой мере ненавистной и Византии, и Халифату — иудаизма.

СМУТА И ГИБЕЛЬ

Принятие иудаизма в государственном масштабе произошло при кагане Обадии — современнике знаменитого арабского халифа Харун-ар-Рашида, правившего в 786—809 гг.

Вполне возможно, что каган Обадия, обращаясь в иудейство, желал не столько противопоставить свое государство двум великим державам (Византии и Халифату), но, главное, стремился противопоставить



Раскоп на городище Саркел. Заметны следы крепостной стены в виде отпечатков кирпичей на материковой глине [слева] и остатки кирпичных построек, многочисленные хозяйственные ямы [справа].

себя лично государям этих стран, превратившись в защитника гонимой религии. Кроме того, новая религия должна была дать кагану реальную возможность бороться за власть в собственном государстве.

Тем не менее уже в первые годы насаждения новой религии выяснилось, что надежды кагана путем принятия иудаизма сблизиться с подданными явно не оправдались. Дело в том, что иудаизм сугубо национальная религия — религия «избранного народа». Иноплеменники не могут быть истинными иудеями — такова догма этой религии. Раввины с большим трудом обосновали иудейское происхождение кагана и его окружения, но они не могли сделать этого для всех народов, входивших в состав Хазарского каганата. Следовательно, новая религия не объединяла, а, наоборот, разъединяла федеративное государственное образование, возглавленное хазарами. Как и язычество, иудейская религия не соответствовала классовой сущности хазарского общества. В то же время бережно хранимые в народе языческие

обряды и верования в целом еще вполне отвечали идеологическим представлениям хазарских племен.

Принятие иудейства каганом, царем и всей итильской знатью оторвало их от остальной хазарской аристократии, жившей в дальних провинциях, мало связанных со столицей. Между этими двумя группами «белых хазар» началась борьба за власть и влияние в каганате. Все, кто не принял иудейской религии, в том числе христиане и мусульмане, объединились против правительства. Это была своеобразная «хазарская фронда». Борьба была беспощадной, и в ней гибли не только «фрондеры», но и виднейшие представители иудейской знати. В числе последних был, очевидно, сам Обадиа и два его сына: Езекия и Манассия. Только этим можно объяснить тот факт, что после Манассии, за неимением прямых наследников, власть взял в руки Ханукка — брат Обадии. Междоусобица сильно ослабила государство. Так, после репрессий, которые направил против крымских христиан хазарский каган, после ликвидации Готской митрополии, Крым откололся от Хазарии и немедленно был присоединен Византией. Каган вынужден был с этим примириться.

Война феодалов продолжалась в течение нескольких лет, очаги ее вспыхивали то в одной части Хазарии, то в другой,

поскольку разноэтничные и нередко враждебные друг другу роды нередко сталкивались в этой борьбе между собой. Степь полыхала, и в дыму, по пепелищам многочисленных поселков, садов и полей начали проникать на территорию каганата новые орды кочевников: венгры и печенеги.

Арабы называли венгров баджгард (башкиры). В XIII в. европейская традиция также связывала венгров с башкирами. Повидимому, оттуда, из Приуралья, двинулись венгры на хазарские земли, а затем в северное Причерноморье, где находилась таинственная страна Леведия, из которой венгры отошли под давлением печенегов в страну, которую Константин Багрянородный называет Ателькуза, находящуюся, по его словам, в междуречьи Днепра и Сирета.

По дорогам, проторенным венграми, на хазарскую степь начали наступление орды печенегов. Хазарские правители не смогли остановить грозное наступление кочевых варваров на свою землю. Наступление сопровождалось погромами и гибелью земледельческих поселков, гибелью сельскохозяйственной экономики каганата.

К середине X в. Хазария превратилась уже из обширной могущественной державы в заштатное ханство. Всего сто с небольшим лет прошло со времени ее расцвета, наступившего после арабских войн. Все неудачные войны и дипломатические промахи хазар, территориальные потери объяснялись прежде всего внутренним ослаблением каганата, оторванностью иудейского правительства от своего народа. В войнах и в подавлении восстаний это правительство вынуждено было опираться не на свой народ, а на союзников вне страны. В междоусобную борьбу они привлекали печенегов и гузов. На венгров, попытавшихся вести свою политику в степях Восточной Европы, хазарские правители навлекали печенегов, а печенегов долгое время держали в страхе перед гузами. Перед некогда ненавистным мусульманским Халифатом каган заискивал. Он по существу полностью отказался от Предкавказья. Каган Иосиф даже считал нужным специально подчеркнуть в письме, что он защищает мусульманский мир от русов. Однако кагану далеко не всегда удавалось помешать последним пройти по хазарским землям — по рекам и волокам в Каспийское море и далее на юг в арабские провинции.

После принятия каганом иудейства Византийская империя стала самым злым и последовательным врагом Хазарии.

Последний удар Хазарии нанесла Русь. В 80-х годах IX в. древнерусский князь Олег присоединил к своему княжеству земли плативших ранее дань кагану славянских племен. В 60-х годах X в. великий князь киевский Святослав разгромил Хазарский каганат, разрушил его столицу.

Для Хазарии поход Святослава, окончательно нарушивший все ее торговые пути и разоривший города, был роковым. Удар был особенно силен еще и потому, что Святослав, судя по некоторым источникам, привлек к войне с хазарами гузов. После того как армия кагана была разбита и рассеяна дружиной Святослава, гузы, видимо, совершенно беспрепятственно в течение нескольких лет грабили и разоряли беззащитные хазарские земли.

Обессиленные борьбой с гузами, хазары обратились за помощью в Хорезм. Хорезмийцы согласились помочь, но только после обращения хазар в мусульманство. Правда, в ряде источников сохранились сведения о непокорности хазар и об оккупации их городов хорезмийскими карательными отрядами.

В самом конце X в. сын Святослава Владимир, заключив союз с гузами, вновь прошел путем отца на Болгарию, а затем по Волге — на остатки хазар. Он овладел страной и наложил на хазар дань. Русские корабли вновь заскользили по водам Каспийского моря, по Волге и Дону. Хазары же, по существу, перестали упоминаться на страницах летописей и хроник. Восточные их города были уничтожены еще Святославом. Знаменитые сады и виноградники Семендера сожжены. Итиль остался в дымящихся развалинах. Его не удалось восстановить полностью ни хазарам, ни хорезмийцам, которые и не были заинтересованы в этом.

Западная часть Хазарии, в основном таманские и крымские земли, пострадала меньше. Однако и там жизнь на большинстве поселений замерла примерно в конце X в. Хазарское население сосредоточилось в городах. В XI в. хазары упоминаются в русской летописи в качестве участников заговора против князя Олега Тмутараканского. Это последнее упоминание о них в европейских источниках. О том, что какая-то часть хазар все же осталась в Крыму и продолжала придерживаться иудейской религии, свидетельствуют документы, в которых упоминаются мессианские движения среди крымских хазарских иудеев в XII в., да еще тот факт, что в Италии XI—XVI вв. Крым именовали Хазарией, или Газарией.

Долгая память океана

К. Н. Федоров



Константин Николаевич Федоров, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией экспериментальной физики океана Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР. Специалист по гидротермодинамике океана. Участник многих морских экспедиций на научно-исследовательских судах АН СССР. Президент Международного научного комитета по исследованиям океана. Автор книги: Тонкая термохалинная структура вод океана. Л., 1976. В «Природе» опубликовал статью «Видимые и невидимые границы в океане» (1979, № 1).

Корабли укрылись в гавани,
Ветер свирепствует над гребнями валов,
А в лазурной глубине океана проложен след,
Который не пропал килем ни один корабль.
ШЕЛЛИ. «К Байрону»¹

Кто из нас не восхищался тем, как быстро успокаивается океан после шторма?! Только что пенные валы один за другим обрушивались на беззащитное судно, неслась по ветру соленая водяная пыль, черная крутая рябь взбегала между тонкими полосами пены на гребни гигантских волн... И вдруг ветер стихал, и через несколько часов ничто на поверхности океана уже не напоминало о шторме.

Но так ли уж бесследно для океана проходит шторм?! Что оставляет после себя в глубинах вод тропический циклон или тайфун, совершивший тысячемильную прогулку по океану до выхода на сушу или до своего постепенного разрушения где-нибудь в отдаленных широтах? Начнем искать ответы на эти вопросы с нескольких не совсем обычных аналогий.

Кому в детстве, например, не случилось порезаться. Рана заживет, и останется на пальце шрам — иногда на долгие годы, а иногда и на всю жизнь. И кожа с годами загрубеет, и новые шрамы появят-

ся, а старый напоминает о детстве, и годы его не берут.

А человеческая память, которая может воскресить минувшие события, образы людей, разговоры и отдельные слова, радости, обиды и огорчения. Новые события и мысли накладываются на старые образы... Казалось бы, за давностью лет многое может забыться полностью. Но воспоминания живут и умирают только с нами.

Человек добился теперь того, что процесс «запоминания» освоен созданными им электронно-вычислительными устройствами. Сегодня нас больше не удивляет способность неживых механизмов «запоминать». А неживая природа? Есть ли у нее свои механизмы или способы «запоминания», похожие хоть отдаленно на процессы, происходящие в человеческом мозгу или хотя бы в живой клетке?

¹ Перевод автора.

Я вспоминаю книгу моего детства, увлекательную книгу Максвелла Рида «Следы на камне» под редакцией академика В. А. Обручева². С фотографий этой книги встает память далеких миллионов лет, отложившаяся в пластах осадочных пород отпечатками древнего папоротника, окаменелыми трилобитами и рыбами, у которых сохранились даже плавники и чешуя. Но аналогию с человеческой памятью здесь нельзя даже признать формальной. Ее просто нельзя провести. Природа в данном случае не реагировала. Камни лишь механически зафиксировали то, что по законам физики и химии могло сохраниться неизменным в течение многих миллионов лет.

А ведь океан реагирует! Штормовой ветер порождает волны и течения. Волно-ветровое перемешивание проникает на большую глубину, уничтожая следы термического расслоения, вызванного солнечным прогревом с поверхности. Сложна и многообразна реакция океана на интенсивное атмосферное воздействие, каким является тропический ураган или тайфун. Поэтому след, который остается в толще океана в результате этого воздействия, — это не просто отпечаток или слепок чего-то инородного, как в случае камня. Это своего рода «шрам» — сложная система изменений в структуре и движении вод, связанная с огромными количествами затраченной энергии.

Для того чтобы это понять, рассмотрим, что представляет собой тропический ураган (или тайфун, если речь идет о Тихом океане). Тропический ураган — необыкновенно компактный циклонический атмосферный вихрь с очень большими скоростями ветра. Если обычный циклон в атмосфере имеет поперечник порядка 1 тыс. или даже 2—3 тыс. км, то тропический ураган при колоссальной разности атмосферного давления между центром и периферией (до 100 мм рт. ст.) может иметь поперечник всего лишь 200—500 км. Связанные с этим большие горизонтальные градиенты давления и вызывают ураганные ветры³ со скоростями, достигающими иногда 300—360 км/час (80 — 100 м/сек).

Тропические ураганы и тайфуны возникают над океанами в зонах от 5 до 30° широты по обе стороны от экватора, т. е. там, где температура воды на поверхности может подниматься выше 26—28°C, а эффект кориолисова ускорения, связанного с отклоняющим влиянием вращения Земли, не настолько мал, как в непосредственной близости от экватора. «Теплолюбивость» тропических циклонов связана с тем, что по своей природе они являются тепловыми машинами. Для работы такой машины необходимо, чтобы на

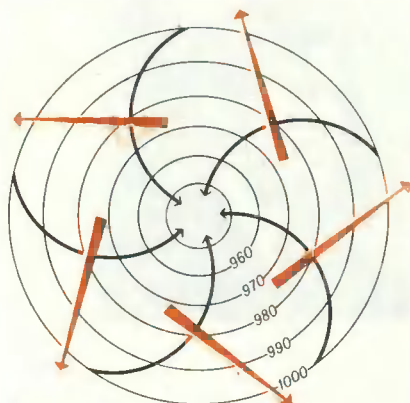


Рис. 1.

Схема воздушных потоков [черные стрелки] в тропическом циклоне у самой поверхности воды и дрейфовых течений, порождаемых ветром в верхнем слое океана [цветные стрелки]. Концентрическими окружностями показаны изобары, цифры обозначают атмосферное давление на уровне поверхности океана в миллибарах.

некоторой высоте над океаном ядро циклона было теплее его периферии. Эта разность температур поддерживается за счет освобождения колоссальных количеств скрытой теплоты парообразования при конденсации водяного пара в восходящих движениях в области, непосредственно окружающей ядро тропического циклона. Тепло, освобождающееся в крупном урагане, эквивалентно теплу от непрерывного горения нескольких миллионов тонн угля одновременно. За сутки такой ураган освобождает количество энергии, эквивалентное взрыву ядерного заряда в десяток тысяч мегатонн.

Ураганные ветры, закрученные по спирали к центру (рис. 1) в общем вихревом движении, направленном в Се-

² Рид М. Следы на камне. Л., 1936.

³ Ураганными ветрами, согласно старой морской традиции, узаконенной в метеорологии в виде шкалы Бофорта, принято считать ветры со скоростями, превышающими 64 узла (примерно 32 м/сек), которых не выдерживают даже самые крепкие паруса.

верном полушарии против часовой стрелки⁴, непрерывно несут к центру циклона новые порции относительно сухого воздуха, адиабатически разогретого в нисходящих движениях на периферии. По пути этот воздух насыщается влагой за счет испарения с поверхности океана, а также — бесчисленных брызг и капель воды, несущихся в воздухе. Таким образом, цикл замыкается, и происходит непрерывное снабжение тропического циклона жизненно необходимым для него топливом — водяным паром. По законам термодинамики эта тепловая машина может производить кинетическую энергию (причем, в огромных количествах) только в том случае, если подъем воздуха в центральных областях циклона происходит при более высоких температурах, чем опускание на периферии. Этому помогают два обстоятельства. Высокая температура и высокая насыщенность влагой воздуха в начале подъема обеспечивают ему более высокую температуру по сравнению с окружающими массами воздуха вплоть до высоты порядка 10—12 км, несмотря на адиабатическое охлаждение воздуха, расширяющегося при подъеме за счет падения давления.

Кроме этого, в самом центре циклона, который называют «глазом» (рис. 2), уже поднявшиеся массы воздуха, потерявшие по пути свою влагу в процессе конденсации, медленно опускаются. Адиабатическое разогревание этого воздуха при опускании и постепенное перемешивание с поднимающимся рядом влажным воздухом обеспечивают дополнительное разогревание последнего. По поводу того, насколько важна для активного существования тропического циклона эта дополнительная циркуляция воздуха (в центре), существуют противоречивые мнения. Однако наличие «глаза» в тропических циклонах — области диаметром всего лишь в несколько десятков километров с затишьем в самом сердце бури и зачастую с безоблачным небом — само по себе представляет явление необычайно интересное.

Непрерывно потребляя водяной пар и охлаждая под собой поверхность океана, тропический циклон вынужден сдвигаться в сторону более теплой воды, чтобы

не разрушиться. Только в этом случае непрерывно сохраняется возможность подогрева ядра циклона за счет вовлечения к его центру влажного воздуха над перегретой поверхностью океана. За движущимся циклоном, или тайфуном вдоль всей его траектории остается «кильватерный след» охлажденной воды (рис. 3). В следах особо мощных тропических циклонов наблюдались понижения температуры на 5—6°C по сравнению с начальной.

Видимо, понижение температуры в следах циклонов и тайфунов никогда не достигало бы таких больших значений, если бы не ряд особенностей циркуляции вод, возникающей под этими атмосферными вихрями. Спиралевидно закрученные мощные потоки воздуха возбуждают в океане сильные дрейфовые течения, приобретающие под влиянием вращения Земли дивергентный (расходящийся) характер. Интегральный перенос воды в этих течениях всюду направлен от центра к периферии вихря, как это показано на рис. 1. Вследствие этого теплые поверхностные слои воды, сгоняемые ветром к периферии, замещаются под центром урагана холодной водой, поступающей из глубин океана. В толще вод в вертикальной плоскости, перпендикулярной следу, возникает при этом замкнутая циркуляция вод, схематически изображенная на рис. 4.

Требуется время от десятка часов до суток, чтобы такая циркуляция возникла и установилась. Поэтому динамический эффект ураганных ветров, наблюдаемый в толще вод океана, существенно зависит от скорости перемещения циклона вдоль своей траектории и от размера его поперечника. Если тропический циклон стоит на месте или смещается медленно (5—10 км/час), то подъем вод в его следе (апвеллинг) достигает весьма интенсивного развития и, соответственно, охлаждение следа может быть очень сильным. Если циклон движется очень быстро (20—30 км/час), а его поперечник мал (100—150 км), то апвеллинг может не успеть развиваться или приобретает волнообразный («пятнистый») характер.

Наши наблюдения за тропическим циклоном «Элла» в Атлантике в 1978 г. показали, что даже при скорости перемещения около 20 км/час и поперечнике всего лишь 120 км этот циклон оставил в океане, помимо непрерывного холодного следа на поверхности (рис. 3), еще и глубинный след (рис. 5), свидетельствующий о подъеме вод с горизонтов не менее 150—200 м. Наблюдения показывают так-

⁴ Направление вращения ветра в циклоне связано с вращением Земли. В Южном полушарии тропические циклоны характеризуются движением воздуха по часовой стрелке.

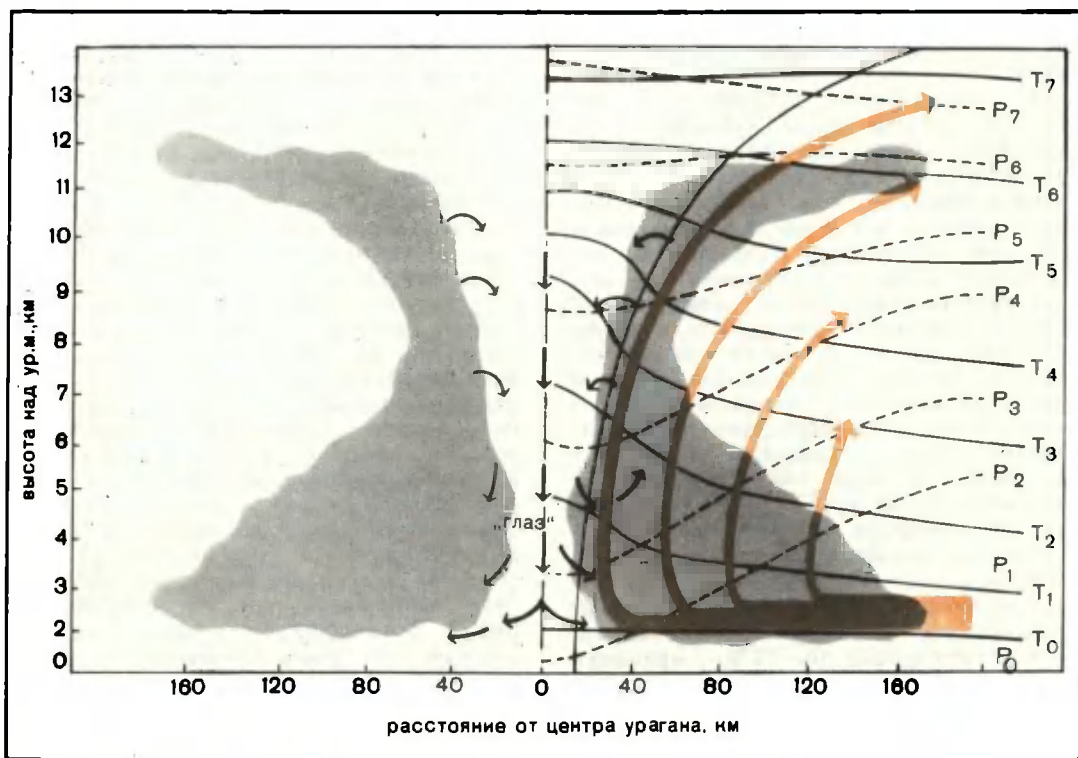


Рис. 2. Тропический ураган в разрезе [схема заимствована из книги: Palmen E. and Newton V. W. Atmospheric circulation systems. N.-Y. 1969]. Цветными стрелками показаны восходящие токи. Черными стрелками — вторичная циркуляция в «глазе» урагана. Полутонном показана система мощных кучево-дождевых облаков, порождаемых конвекцией. $T_1, T_2, T_3, \dots$ — изотермы, P_1, P_2, P_3 — изобары (в левой части рисунка изотермы и изобары не проведены). Давление и температуры возрастают по направлению к земле.

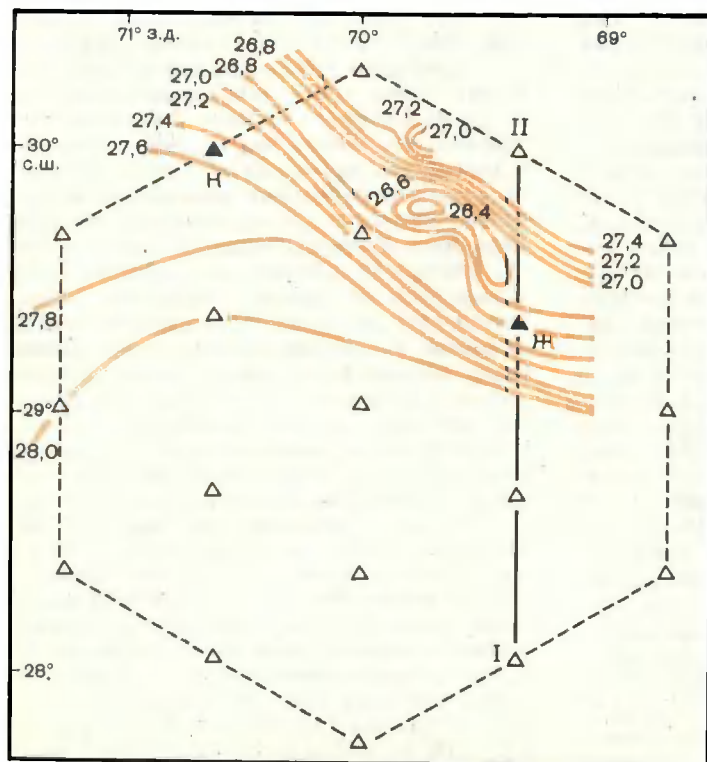


Рис. 3. Распределение температуры воды на поверхности океана через сутки после прохождения урагана «Элла». Треугольники обозначают положения буйковых станций. Станции в точках К, Ж функционировали во время урагана. В следе прохождения тайфуна наблюдалось понижение температуры примерно на 2°C . I—II — линии разреза, по которому проводились измерения, представленные на рис. 5.

же, что апвеллинг обычно продолжается в течение достаточно длительного времени (порядка нескольких суток) после того, как тропический циклон или тайфун переместился в другое место.

Надо сказать, что наблюдения за тропическими циклонами и тайфунами очень сложны. Особенно сложны и поэтому редки наблюдения за особенностями их воздействия на океан. Современный корабль, скорость хода которого обычно равна 15—18 узлам (25—30 км/час), может легко избежать встречи с ураганом при условии получения регулярной информации о местах зарождения, траекториях и скорости перемещения тропических циклонов и тайфунов. Такая информация сейчас регулярно передается по радио специальными центрами. Научно-исследовательский корабль, задачей которого является изучение тайфунов, не имеет права уходить от урагана, а должен поджидать его и искать сближения с ним. Руководитель экспедиции на таком корабле должен для правильного планирования и проведения запланированных измерений наперед знать, где пройдет ураган, чтобы успеть провести необходимые фоновые исследования еще до того, как ураган прошел.

Хорошо прогнозировать места зарождения и траектории ураганов пока еще никто не умеет. Поэтому при изучении взаимодействия тропических циклонов и тайфунов с океаном многое зависит и от интуиции руководителя работ, и от гибкости научного планирования экспедиции, и, наконец, просто от удачи. При этом имеется и элемент риска, поскольку ураган может резко изменить направление своего движения, а близкие встречи с ураганами не сулят кораблям, даже современным, ничего приятного.

Трудно сказать, чего было больше — удачи, интуиции или риска при нашей встрече с тропическим циклоном «Элла» в Атлантике в конце августа 1978 г. «Элла» родилась всего лишь в паре сотен миль от места наших работ в Саргассовом море. Через полсутки было ясно, что ее траектория пройдет точно через район работ. К этому времени уже были выполнены фоновые измерения вдоль меридиана $69^{\circ}23'$ з. д., которые первоначально планировались для другой цели. Через сутки «Элла» пересекла этот меридиан именно там, где были сделаны измерения. В этот момент наше судно, «Академик Курчатов» Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР, находилось всего лишь в

сотне миль от центра урагана. Поэтому без больших затрат времени удалось выполнить еще один разрез вдоль меридиана $69^{\circ}23'$ з. д. (см. рис. 3) через сутки после прохождения урагана «Элла» (рис. 5).

Характер глубинного следа тесно связан с особенностями циркуляции вод (см. рис. 4). Глубина проникновения вертикальных движений зависит от скорости перемещения и поперечника циклона, а также от скоростей наблюдавшихся в нем ураганных ветров. В циклоне «Элла»

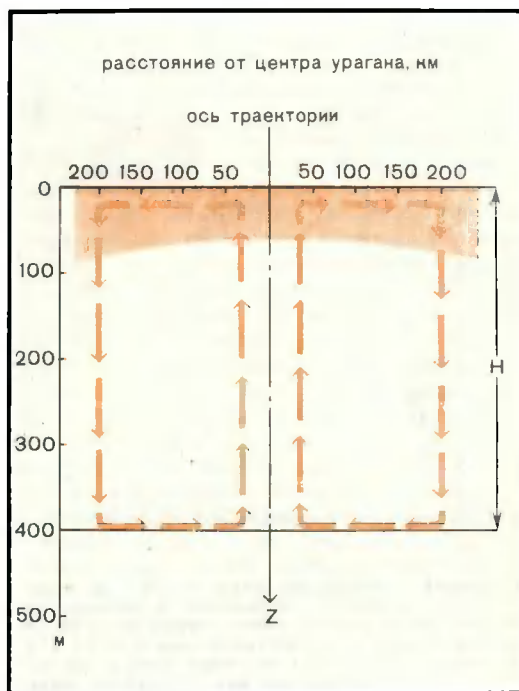


Рис. 4. Схема циркуляции вод в поперечном сечении следа урагана. Полутонном показана область ветро-волнового перемешивания.

скорости ураганных ветров достигали 45—50 м/сек, но из-за большой скорости перемещения и малого поперечника циклона глубина проникновения вертикальных движений в следе не превысила 200 м. В следе тайфуна «Тэсс» (поперечник около 600 км), наблюдавшегося экспедицией «Тайфун-75» Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды в Тихом океане в 1975 г.,

вертикальные движения охватывали слой 500—600-метровой толщины.

Сама картина изменений температуры в толще вод океана по сравнению с фоновым распределением весьма закономерна. Сейчас мы имеем физические объяснения всем ее основным особенностям. Ученые уже научились вычислять на основе теоретической модели термическую реакцию океана на воздействие тропических циклонов и тайфунов. Картина распределения значений отклонений

отклонений температуры, показанные на рис. 5 цветом), вызванного опусканием вод на перифериях следа. Эта ширина грубо соответствует диаметру области ураганных ветров в циклоне. Ширина такой полосы в урагане «Элла» была всего лишь 100—110 км, а в тайфуне «Тэсс» она достигала 200 км.

Тонкие, сходящиеся к оси следа прогретые на $1\text{--}2^\circ\text{C}$ слои воды возникли в результате противоборства волно-ветрового перемешивания, стремящегося пере-

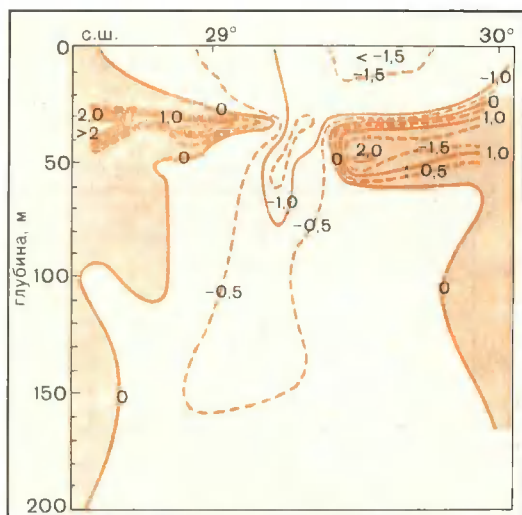


Рис. 5. Изменения температуры воды ($^\circ\text{C}$) по сравнению с фоновыми значениями в поперечном сечении следа урагана «Элла» через сутки после его прохождения. Разрез сделан вдоль $69^\circ 23'$ з. д. 29 августа 1978 г. и 1 сентября 1978 г. по линии I—II, показанной на рис. 3. Цветом показаны зоны прогрева (положительные значения отклонений температуры).

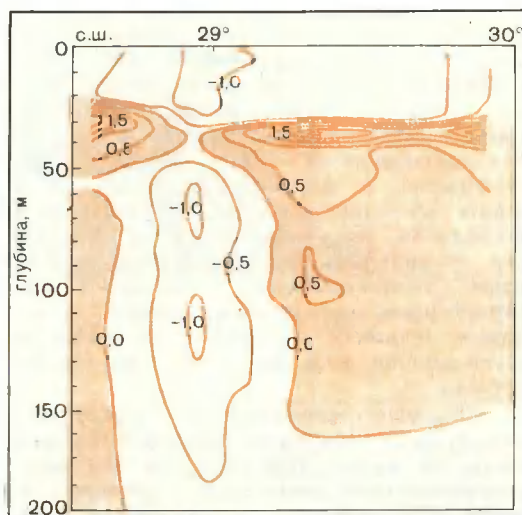


Рис. 6. Изменения температуры по сравнению с фоновыми через 21 сутки после прохождения урагана «Элла».

температуры в следе урагана «Элла», показанная на рис. 5, хорошо соответствует всем теоретическим закономерностям. След тайфуна «Тэсс» был качественно совершенно аналогичным⁵. Важным параметром картины распределения изменений температуры в плоскости разреза является ширина полосы между боковыми зонами прогрева (положительные значения

нести тепло из верхних слоев в глубину, и подъема холодных глубинных вод, которому лишь вблизи оси следа удается пробить всю толщу воды до поверхности. Равновесие этих двух процессов на нижней границе этих тонких прогретых слоев, там, где отклонение температуры дает возможность вычислить интенсивность перемешивания вод в поверхностном слое океана. Скорость подъема вод может при этом быть оценена по вертикальному смещению изотерм относительно невозмущенного состояния.

Можно сказать, что ураганы и тайфуны создают для ученых подлинные

⁵ Пудов В. Д., Варфоломеев А. А., Федоров К. Н. Вертикальная структура следа тайфуна в верхнем слое океана.— «Океанология», 1978, № 2.

гигантские лаборатории в океане. За короткий период времени ураган передает океану огромное количество кинетической энергии, которая в океане преобразуется в потенциальную энергию структурного возмущения. Результирующие приращения потенциальной энергии верхнего тысячеметрового слоя воды при этом достигают 10^7 — 10^9 эрг/см². Этот избыток энергии может затем снова трансформироваться в кинетическую энергию движений различных классов: инерционно-гравитационные колебания, вихревое движение, конвективные течения и т. д. Дальнейшая диссипация этой энергии осуществляется при участии турбулентной и молекулярной вязкости. Процессы, непосредственно участвующие в разрушении (релаксации) начального возмущения столь большого масштаба, чрезвычайно интересны для ученых.

При этом самым поразительным является то, что у океана на редкость «хорошая память». Оставленный в ней след не спешит исчезнуть. Подобно шраму на теле живого организма, он сохраняется очень долгое время. Масштабы следа, оставленного ураганом в океане, и избыток потенциальной энергии, накопленный в нем, столь велики, что обычные для океана классы движений с учетом максимально возможного вязкого трения не в состоянии быстро его разрушить. Возмущение живет в толще океана многие недели, причем нам еще не до конца ясно, к каким динамическим последствиям оно приводит.

На рис. 6 можно видеть картину распределения отклонений температуры от фоновых значений на том же самом разрезе вдоль $69^{\circ}23'$ з. д., полученную по наблюдениям через 21 день после прохождения урагана «Элла». Эта картина, несмотря на общее смещение к югу примерно на 20 миль, качественно совершенно аналогична той, которая наблюдалась в первые сутки после урагана (рис. 5), а экстремальные значения отклонений температуры уменьшились всего лишь на 20—30%. При таких слабых темпах релаксации окончательного исчезновения следа можно ожидать лишь через несколько месяцев. Такое длительное время жизни следа очень близко к длительности жизни циклонических и антициклонических вихрей, наблюдавшихся в океане. Запасы «доступной потенциальной энергии» в обоих случаях также имеют один и тот же порядок. На этом основании можно предполагать, что сильные атмосферные воздействия на

океан, подобные тем, которые оказывают тропические циклоны и тайфуны, вполне способны возбуждать в океане крупные циклонические вихри, охватывающие своим движением верхнюю тысячеметровую толщу воды. Экспедиция «Тайфун-78», организованная в прошлом году Государственным комитетом СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, действительно обнаружила путем прямых измерений течений в следе тайфуна «Вирджиния» в Тихом океане полностью оформившийся циклонический вихрь диаметром в несколько сотен километров. Видимо, образованию этого вихря помогло то обстоятельство, что тайфун в течение трех суток оставался практически на одном месте, перемещаясь центром по петлеобразной траектории очень малого размера.

Рассказ о долгой памяти океана подошел к концу, тогда как наши исследования интересных и удивительных ее проявлений еще только начинаются. Аналогия с памятью, привлеченная для большей наглядности изложения, может показаться иным читателям слишком вольной, если не сказать «антинаучной». Может быть, на этой аналогии и в самом деле не следует настаивать. Однако соблазн воспользоваться столь сильным поэтическим образом не так то легко побороть даже тому, кто привык иметь дело со строгими научными фактами. Дописав эту строчку, я бросил взгляд на программу ближайшего научного симпозиума и увидел такой заголовок: «Эффект памяти при смене прилива», причем слово *память* не было даже взято в кавычки. Приятно сознавать, что ты не одинок!

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Palmen E. and Newton V. W. ATMOSPHERIC CIRCULATION SYSTEMS. N. Y., 1969.

Федоров К. Н. О МЕДЛЕННОЙ РЕЛАКСАЦИИ ТЕРМИЧЕСКОГО СЛЕДА УРАГАНА В ОКЕАНЕ.— «Доклады АН СССР», т. 245, № 4, 1979.

Фенаминовая стереотипия поведения как модель психопатологии у животных

Э. Б. Арушанян



Эдуард Бениаминович Арушанян, профессор, доктор медицинских наук. Заведует кафедрой фармакологии в Читинском медицинском институте. Занимается вопросами моделирования психических заболеваний на животных.

Хорошо известно, что моделирование на животных каких-либо патологий способствовало расшифровке природы целого ряда заболеваний человека и поискам методов их эффективной терапии. За последние годы наметился значительный прогресс в области экспериментального моделирования психических расстройств.

Начало этому положил в 1943 г. швейцарский химик А. Гофман, когда он синтезировал диэтиламид лизергиновой кислоты (ДЛК, известен также как ЛСД). Совершенно случайно было обнаружено, что это вещество обладает галлюциногенными свойствами. Учитывая способность ЛСД вызывать у психически здоровых людей состояние, близкое к шизофреноподобным заболеваниям, исследователи полагали, что с помощью этого соединения удастся легко воспроизвести подобное заболевание и в опытах на животных. Но, как бывает нередко, на смену первым обнадеживающим результатам пришло разочарование. После тщательного анализа клинической картины отравления ЛСД многие исследователи перестали отождествлять обусловленные им сдвиги в поведении с шизофренией.

В начале 60-х годов советский исследователь Е. Л. Щелкунов впервые обратил внимание на то, что после введения

больших доз фенамина (известного психостимулятора) крысы утрачивали способность к целесообразной деятельности, часами совершали однообразные стереотипные действия, лишенные смысла. Такого рода фенаминовую стереотипию поведения Щелкунов предложил рассматривать как модель психических нарушений, удобную для отбора психотропных лекарств. Позднее не только подтвердилась справедливость данного подхода, но с разных позиций была обоснована близость фенаминовой стереотипии шизофреноподобным состояниям¹. Сегодня фенаминовая стереотипия стала обязательным тестом при выявлении и анализе нескольких классов психотропных средств.

Изучение фенаминовой стереотипии и лежащих в ее основе механизмов принесло интересные результаты. Во-первых, показано сходство внешних проявлений стереотипии и психических расстройств у людей. Во-вторых, выявлены ключевые нейрохимические процессы, определяющие характер экспериментально вызванных нарушений в поведении, что позволяет приблизиться к пониманию патохимических сдвигов, сопутствующих отдельным

¹ Столяров Г. В. Лекарственные психозы. М., 1964.

формам шизофрении. Наконец, в-третьих, на модели фенаминовой стереотипии вскрыта роль некоторых образований головного мозга в происхождении психических нарушений.

Значение подобных сведений и необходимость дальнейшего поиска в том же направлении очевидны. За этим, с одной стороны, стоит решение проблем психиатрии — выяснение природы определенных заболеваний, с другой — ответ на важный для психофармакологии вопрос, какими свойствами должны обладать вещества, эффективно действующие на больную психику.

ПОВЕДЕНИЕ ПРИ ОТРАВЛЕНИИ ФЕНАМИНОМ

Несмотря на многообразие симптомов фенаминового отравления, для животных различных видов характерен один общий признак — немотивированные навязчивые движения. Кроме того, обычно расстроена условнорефлекторная деятельность и меняется отношение животных к окружающему. Любопытно, что в эволюционном ряду внешние проявления фенаминовой стереотипии постепенно усложняются. Чем выше стоит животное на эволюционной лестнице, тем больше нарушения в поведении приближаются к психопатологии у человека.

В отличие от других животных, у крыс, пожалуй, наиболее сильно выражена стереотипия движений. После начального усиления подвиги животные перестают обследовать экспериментальную камеру и принимают какую-либо позу. Затем они монотонно и долго прижимаются, лижут лапы, окружающие предметы, безостановочно грызут что-либо, порой даже собственные конечности. Одновременно подавлены ответы на внешние сигналы. Крысы стремятся к уединению: если прежде в открытом пространстве они сбивались в группу, то теперь избегают друг друга.

У кошек при остром и хроническом отравлении фенамином набор поведенческих нарушений шире. Животные не только прижимаются или монотонно чистятся, но и переступают с лапы на лапу, поворачивают голову в стороны со стандартной частотой (словно озираются). При этом трудно привлечь и удержать внимание кошки. Иногда к таким явлениям присоединяется страх либо агрессивность. В результате эмоциональных нарушений

исчезают общительность и проявления удовольствия.

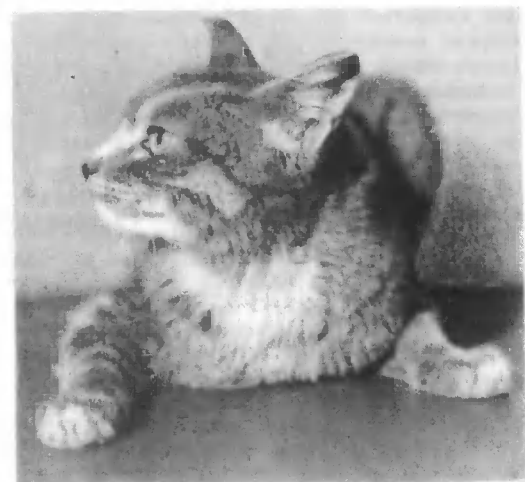
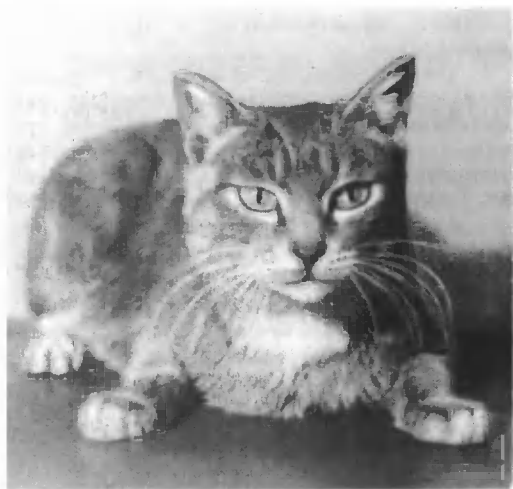
Для обезьян, по сравнению с крысами и кошками, свойственна большая вариабельность расстройств поведения. На первый план также выступают повторные изолированные или комплексные движения. Обезьяны часами оглядываются, подолгу перебирают пальцами прутья клетки, грызут ее и другие несъедобные предметы, почесываются и выскребывают кожу, словно пытаясь избавиться от несуществующих паразитов. Формирование фенаминовой стереотипии сопровождается грубыми нарушениями в условнорефлекторном поведении животных.

Сравнивая сдвиги в поведении животных и картину отравления фенамином у людей с параноидной формой шизофрении, нетрудно убедиться в удивительном сходстве этих состояний. Отсюда на модели фенаминовой стереотипии правомерен поиск нарушений в работе нейрохимических механизмов и структур мозга, сопутствующих психическим расстройствам у человека. Успехи в этом направлении во многом определила расшифровка характера влияния фенамина на основные нейрохимические процессы головного мозга.

НЕЙРОХИМИЯ ФЕНАМИНОВОЙ СТЕРЕОТИПИИ

Психофармакология последних лет достигла значительного прогресса в изучении механизма действия на мозг различных психотропных средств. Огромную роль здесь сыграло использование метода гистохимической флуоресценции, который позволяет различать нервные клетки с разными медиаторами; применение автордиографии с изотопным мечением продуктов метаболизма, а также средств, избирательно влияющих на разные звенья обмена медиаторов. В результате, теперь нам известна природа медиаторов во многих синапсах головного мозга, топография соответствующих нейтронов, пути управления их деятельностью.

Влияние фенамина на мозговые нейрохимические процессы весьма многообразно. Оно связано с усилением передачи сигналов в самых различных синапсах. И не только тех, где медиатором служит норадреналин (представление, господствовавшее до недавнего времени), но также в синапсах, оперирующих посредством серотонина и дофамина. Именно дофамину, медиаторные свойства которого



Различные проявления фенаминовой стереотипии у кошек. Животное, которое спокойно сидело в камере до введения вещества [слева, сверху], после инъекции фенамина монотонно поворачивает голову из стороны в сторону, как бы озираясь [слева, в середине и внизу]. Другая кошка, прежде не реагировавшая на внешние раздражители [справа, сверху], после получения фенамина со страхом прижимается к полу и замуривает глаза в ответ на движения руки [справа, внизу].

описаны только в 1957 г., придают ведущее значение в происхождении фенаминовой стереотипии.

Фенамин способствует накоплению дофамина в синаптической щели разными способами. Наиболее важный из них — усиление выброса медиатора из пресинаптического окончания в синаптическую щель. В конечном счете увеличивается концентрация дофамина и возрастает частота импульсов через дофаминергические синапсы мозга.

Существует ряд доказательств, что именно эти свойства вещества определяют многие стороны вызываемой им стереотипии поведения. Вещества, блокирующие синтез дофамина, нарушают фенаминовую стереотипию. Так же действуют антипсихотические средства — нейролептики, угнетающие функцию дофаминовых рецепторов. Напротив, любые воздействия, способствующие накоплению синаптического дофамина, усиливают стереотипию. Вещества, которые стимулируют дофаминовые рецепторы (типа апоморфина), сами провоцируют стереотипное поведение.

Если дофамину принадлежит столь существенная роль в организации фенаминовой стереотипии, то, зная распределение дофаминовых нейронов в мозгу, легко установить, какие мозговые структуры участвуют в действии фенамина. Согласно данным гистохимической флюоресценции, из нижних отделов мозгового ствола к центрам переднего мозга восходит несколько систем так называемых моноаминовых нейронов (медиаторами в этих путях являются моноамины: норадреналин, дофамин и серотонин). Показана определенная избирательность распределения клеточных элементов, содержащих различные медиаторы. В частности, дофаминергические (работающие с участием дофамина) пути заканчиваются преимущественно в хвостатом ядре и скорлупе (неостриатуме), а также в лимбических структурах переднего мозга. Это позволяет предполагать, что именно эти образования участвуют в формировании стереотипного поведения. Как свидетельствуют факты, ведущая роль здесь принадлежит неостриатуму и прежде всего хвостатому ядру, где сосредоточено до 80% всех запасов мозгового дофамина.

Действительно, у крыс после введения в хвостатое ядро фенамина или самого дофамина развивается характерное стереотипное поведение. Наоборот, инъекция в ядро веществ, блокирующих дофа-

миновые рецепторы (например, нейролептиков); обрывает фенаминовую стереотипию. Она не воспроизводится и после перерождения путей, которые направляются из черной субстанции к неостриатуму и служат основными поставщиками дофамина. В то же время химическое повреждение дофаминергических аксонов в лимбических ядрах переднего мозга не устраняет стереотипии, а введение туда фенамина не сопровождается ее проявлением.

Приведенные экспериментальные данные, с одной стороны, указывают, что повышенная активность дофаминергических механизмов может быть причиной фенаминовой стереотипии, с другой — свидетельствуют об особом значении для психопатологии сдвигов в активности неостриатума. В целом нейрохимические наблюдения хорошо согласуются с представлениями клиницистов, что усиление дофаминергической передачи запускает и обостряет симптомы шизофрении. Согласно распространенному взгляду, блокада дофаминергических синапсов во многом определяет антипсихотический эффект нейролептиков.

Поскольку фенамин активирует и другие моноаминовые синапсы (норадреналин- и серотонинергические), несомненно, что и они должны вовлекаться в организацию стереотипного поведения. К такому выводу приводят также современные представления о существовании в мозгу уравновешенного в норме межмедиаторного баланса. Вмешательство в это равновесие даже в каком-либо одном, например дофаминергическом, звене чревато сдвигами в работе всех нейромедиаторных систем. Одновременно должна меняться деятельность связанных с ними мозговых аппаратов. К сожалению, до настоящего времени нет определенной ясности, какие именно слагаемые стереотипии зависят от этого.

Используя фенаминовую стереотипию как модель некоторых форм психопатологии, попытаемся выяснить, какого рода поломка в работе конкретных мозговых структур обуславливает происхождение тех или иных проявлений стереотипного поведения.

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ФЕНАМИНОВОЙ СТЕРЕОТИПИИ

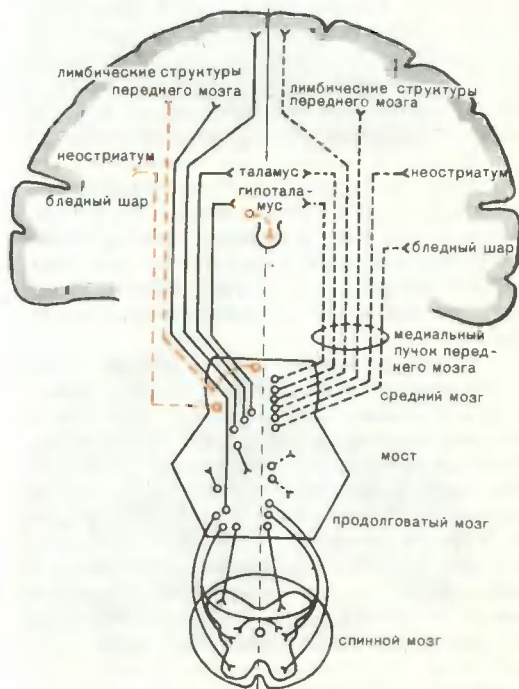
У большинства нейрофизиологов и психиатров сегодня не вызывает сомнений, что процессы высшей нервной деятельно-

сти человека и животных, а также расстройств в психике представляют собой комплексные феномены с вовлечением большого числа мозговых центров. Пора узкого локализации, когда важнейшие психические функции приписывали целиком то коре больших полушарий, то тем или другим подкорковым ядрам, уже миновала. И все же не прекращается поиск структур, в первую очередь ответственных за формирование строго определенных компонентов нормального или патологического поведения, либо берущих на себя роль своеобразного пускового механизма процесса. Как показывают наши эксперименты², такую лидирующую роль в развязывании феноминовой стереотипии может играть важная часть неостриатума — хвостатое ядро.

Прежде чем обратиться к этим наблюдениям, необходимо уточнить синаптическую роль дофамина. Сосредоточенный в аксонах nigro-стриатного пути, который следует от черной субстанции — небольшого ядра среднего мозга — к неостриатуму, дофамин оказывает, видимо, широкое тормозное влияние на клетки хвостатого ядра. Об этом говорит угнетение многих нейронов при микроинъекции в ядро дофамина через многоканальный микроэлектрод или при электрическом раздражении черной субстанции. Отсюда накопление медиатора должно способствовать нарушению некоторых функций хвостатого ядра, тогда как подавление nigro-стриатной передачи приведет к повышению его активности в результате высвобождения из-под сдерживающего контроля.

Вывод, сделанный на основании нейрохимических экспериментов, полностью подтверждается нейрофизиологическими наблюдениями. Прежде всего обнаружена связь между дефектами в работе хвостатого ядра и формированием внешних проявлений феноминовой стереотипии — двигательных автоматизмов. В частности, при низкочастотном электрическом раздражении хвостатого ядра у свободно передвигающихся кошек происходит ослабление и даже полное блокирование стереотипного поведения. Напротив, выключение некоторых зон ядра усиливает нарушения.

Важно отметить, что полное прекращение двигательных автоматизмов происходит при такой интенсивности стимуляции мозга, когда у животного развивается так называемая реакция задержки движений. Для последней и в обычных условиях характерно подавление любых форм двигательной активности в ответ на сильное раздражение ядра. С другой стороны, сам по себе феномин повышает порог этой реакции, но опять-таки в тех дозах, которые вызывают стереотипию поведения.



Основные восходящие пути нейронов: норадреналинергических (черные линии), серотонинергических (пунктирные) и дофаминергических (цветные). Из ядер среднего мозга восходящие пути идут к основным структурам промежуточного и переднего мозга. Нейроны среднего мозга содержат различные медиаторы (норадреналин, серотонин, дофамин), которые высвобождаются в окончаниях соответствующих восходящих аксонов. Видно, что ведущие мозговые центры регулируются разными [иногда и несколькими] моноаминонергическими системами.

² Арушанян Э. Б., Отеллин В. А. Хвостатое ядро. Л., 1976; Арушанян Э. Б. — «Фармакология и токсикология», 1977, № 2, с. 221—230.

Отсюда напрашивается заключение о причинно-следственной зависимости между недостаточностью задерживающей функции хвостатого ядра и формированием признаков стереотипии. Быть может, поломка сдерживающих механизмов ядра определяет немотивированный повтор одних и тех же действий при отравлении фенамином?

Функциональной недостаточностью хвостатого ядра, вероятно, можно объяснить происхождение не только внешних проявлений, но и других особенностей фенаминовой стереотипии. Отравленные животные перестают замечать биологически важные для них раздражители (партнера, предъявление пищи и т. п.) либо не в состоянии долго задерживать на них внимание. Возможная причина — ослабление сдерживающего контроля ядра над передачей к коре больших полушарий восходящего потока разнообразных сигналов. Существует мнение, что в нормальных условиях ядро функционирует в качестве своеобразного фильтра, перекрывая доступ к коре слабым, малозначительным сигналам.

Если после введения большой дозы фенамина регистрировать активность одиночных корковых нейронов у ненаркотизированной кошки, то наблюдается следующая любопытная картина. Под влиянием фенамина резко падает число клеток, способных реагировать только на строго определенные виды сигналов. Вместе с тем повышается количество нейронов, которые отвечают на сигналы из нескольких источников, в том числе и на те посылки, которые ранее были безразличны для клетки. Иными словами, теперь к воспринимающим элементам коры получают доступ самые разные импульсы, в результате чего затрудняется вычленение биологически значимых сигналов из массы второстепенных. Благодаря этим фактам, приобретает физиологическое обоснование точка зрения некоторых психиатров, рассматривающих дезориентацию психических больных, неумение сосредоточиться на чем-то одном как следствие «затопления сознания» малозначимой информацией.

С тех же нейрофизиологических позиций правомерно трактовать нарушения в эмоциональной сфере животных при фенаминовой стереотипии. Известно, что электрическое раздражение хвостатого ядра у кошек и обезьян устраняет агрессивность, страх, делает их более контактными. Это происходит, вероятно, из-за уг-

нетения функции некоторых лимбических центров, тесно связанных с регуляцией эмоционального состояния. Напротив, подавляя работу хвостатого ядра, фенамин усиливает пугливость, злобность животных, нередко сопровождающих фенаминовую стереотипию.

Таким образом, на основании физиологической роли хвостатого ядра, управляемого дофаминергическими механизмами, можно объяснить происхождение ряда признаков лекарственной стереотипии поведения. Разумеется, все многообразие расстройств у животных при фенаминовой стереотипии нельзя свести к функциональной недостаточности только одной структуры мозга. Фенаминовая стереотипия, несомненно, комплексный феномен, для которого характерно нарушение работы множества мозговых аппаратов. Тем не менее очевидно, что в происхождении нарушений существенная роль принадлежит хвостатому ядру. Следовательно, управляя его активностью, мы сможем избирательно регулировать психопатологический процесс.

Изучение экспериментальной фенаминовой стереотипии поведения принесло много новых сведений, важных для понимания нейрохимической и нейрофизиологической природы шизофреноподобных состояний у человека. Но, разумеется, было бы ошибкой рассматривать данную модель в качестве экспериментального аналога шизофрении вообще. По-видимому, речь может идти преимущественно о параноидной форме заболевания. Множество вариантов психопатологии, объединяемых (скорее от недостатка наших знаний) под термином «шизофрения», вынуждает искать модели, адекватные для изучения отдельных форм болезни. Они должны различаться не только клинически, но и по своей нейрохимической и нейрофизиологической организации. Поиск таких моделей и расшифровка их механизма — чрезвычайно актуальная задача, решение которой представляет собой надежный путь для раскрытия многих тайн психических заболеваний человека.

ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 1979 ГОДА

По физике — С. Вайнберг, Ш. Глэшоу, А. Салам

Нобелевская премия по физике за 1979 г. присуждена Стивену Вайнбергу, Шелдону Глэшоу и Абдусу Саламу за фундаментальный вклад в создание теории, объединяющей слабое и электромагнитное взаимодействия.

С. Вайнберг родился в Нью-Йорке в 1933 г., учился в Корнеллском университете, стажировался в Копенгагенском институте теоретической физики, получил звание доктора философии в 1957 г. в Принстонском университете, работал в ряде основных научных центров США (Колумбийском университете, Лоуренсовской лаборатории в Беркли, Калифорнийском университете); с 1973 г. — профессор в Гарварде.

Ш. Глэшоу, родился в Нью-Йорке в 1932 г., учился в Корнеллском и Гарвардском университетах; в Гарварде получил в 1958 г. звание доктора философии. Работал в Копенгагене, Станфорде, Беркли, Гарварде. С 1967 г. — профессор в Гарвардском университете.

А. Салам родился в 1926 г. в Джоханне (Пакистан), учился в Лахоре и Кембриджском университете, работал в Лахоре, Кембридже, Лондонском университете. С 1964 г. — директор Международного центра теоретической физики в Триесте. А. Салам — иностранный член АН СССР.

Все трое — чрезвычайно активно работающие теоретики, внесшие вклад во многие области теории элементарных частиц и получившие широкое признание в научном мире.

Работы, которые принесли Вайнбергу, Глэшоу и Саламу Нобелевскую премию, продолжают традицию, составляющую

один из самых глубоких аспектов теоретической физики — поиск фундаментальных законов, в принципе позволяющих полностью описать обширные области явлений природы. Совокупность таких законов, описывающих определенный круг явлений, будет называться ниже фундаментальной теорией или просто теорией (хотя, конечно, даже в физике это слово употребляется и во многих других смыслах).

Таких теорий существует всего лишь несколько, фактически до недавнего времени в теоретической физике имелось всего две фундаментальных теории максимальной общности: квантовая теория электромагнитного взаимодействия (QED) и общая теория относительности — классическая теория гравитационного поля (разработка ее квантовой версии пока наталкивается на серьезные трудности). Начиная с 1915 г., еще на классическом уровне начались попытки создать объединенную теорию электромагнитного и гравитационного взаимодействий.

В результате достижений 20-х годов стало ясно, что теории электромагнитного взаимодействия в квантовой форме достаточно для объяснения всех атомных явлений, но примерно к 30-му году физики начали понимать, что в ядрах атомов действуют еще два новых взаимодействия: сильное и слабое.

Нобелевская премия по физике 1979 г. отмечает разработку теории, дающей совместное описание слабого и электромагнитного взаимодействий и в очень непосредственной форме обнаруживающей связь между ними. По существу, теория одно-

временно является и первой полной теорией собственно слабых взаимодействий; обширный класс явлений (так называемые взаимодействия нейтральных токов), до этого ускользавший от наблюдения, был предсказан теорией и только потом обнаружен на опыте и детально исследован.

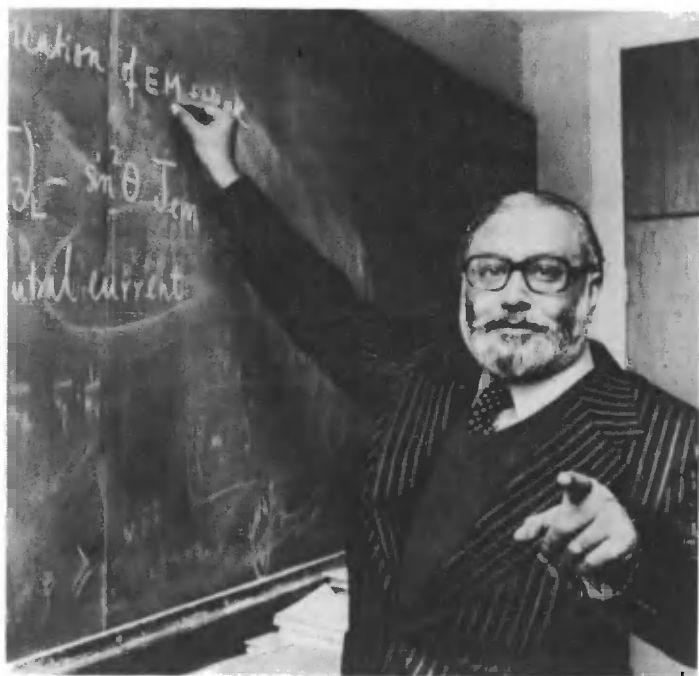
Новая теория, которую иногда называют теорией электрослабого взаимодействия, по своей общей структуре похожа на квантовую электродинамику; принципы квантовой теории поля оказались здесь применимы. В таких теориях имеется два класса объектов: частицы «вещества» и частицы-кванты поля, переносящие взаимодействия. В теорию достаточно включать только те частицы вещества, которые на существующем уровне разрешения элементарны; сейчас это кварки и лептоны.

Взаимодействие остальных частиц с полями, входящими в теорию, выражается через взаимодействие элементарных составляющих. Например, взаимодействие протона с электромагнитным полем выражается через взаимодействие кварков с этим полем и т. д.

В электродинамике есть только одна частица, переносящая взаимодействие: нейтральный γ -квант. В новой теории таких частиц, которые называют векторными, четыре: две заряженных — W^+ и W^- , и две нейтральных: Z^0 и γ . Частицы W^+ , W^- и Z^0 являются «переносчиками» собственно слабого взаимодействия. Из опыта известно, что слабое взаимодействие — короткодействующее; из соотношения неопределенностей следует, что тогда $W^\pm$ и



Ш. Глэшоу (слева) и С. Вайнберг.
Фото ЮПИ — ТАСС.



А. Салам.

Фото ЮПИ—ТАСС.

Z^0 должны быть тяжелыми. Теория предсказывает их массы; они равны примерно 83 и 95 массам протона. Такие частицы должны рождаться (и, как предсказывает теория, быстро распадаться) при столкновениях элементарных частиц с достаточной большой энергией. Наблюдение этих процессов пока выходило за пределы возможностей существующих ускорителей, хотя оно, видимо, и не за горами. Когда это произойдет, справедливость теории станет видна так же просто и наглядно, как стала очевидной справедливость электродинамики после опытов Герца; пока же уверенность физиков в справедливости теории основана на более косвенных, хотя от того не менее убедительных аргументах.

Те, кто изучал теорию электричества, знают, что если не очень далеко друг от друга в пространстве находится несколько замкнутых контуров с током и ток меняется достаточно медленно (соответствующие частоты малы), так что излучением электромагнитных волн можно пренебречь, то можно исключить переменные, связанные с электромагнитным полем, и рассматривать прямо взаимодействие токов I , пропорциональное $\sum_{a,b} L_{ab} I^a I^b$, где a, b — номера контуров и L_{ab} — коэффициенты индукции.

Сходным образом во всех опытах, которые ставились пока для изучения электрослабого взаимодействия, энергия (или, согласно квантовой механике, частота) недостаточно велика для реального образования $W^\pm$ и Z^0 -частиц; возникающие $W^\pm$ и Z^0 -мезоны здесь же (на расстояниях $\sim 10^{-16}$ см) поглощаются. При этом возникает взаимодействие, имеющее вид произведения токов, и именно такое взаимодействие и исследуется на опыте.

Со времени создания квантовой механики известно, что кванты излучаются при переходах атома из одного состояния в другое; этим переходам соответствуют токи перехода, которые и порождают квант света. В теории электрослабого взаимодействия рассматриваются переходы между кварками или между лептонами, и наряду с обычными переходами электро-

магнитного типа появляются еще переходы трех новых типов. При двух из них электрический заряд системы меняется на ± 1 (например, нейтрино превращается в электрон).

Ток, возникающий при переходах с изменением заряда на $+1$ (-1), называется заряженным I^+ - и I^- -заряженным I^0 -током соответственно. При этом, конечно, сохраняется заряд: при переходах, вызванных I^+ -током, испускаются W^- -мезоны (или поглощаются W^+), I^- -ток испускает (поглощает) W^+ (W^-)-мезоны. Кроме того, в теорию входит I^0 -ток, взаимодействующий с Z^0 -мезонами; при соответствующих переходах заряд не меняется; такой ток и называют нейтральным (происходит, скажем, переход электрона из состояния с одним направлением спина в другое). Заметим, что электромагнитный ток I^n в этой терминологии также нейтральный.

Аналогом номера контура в формуле, описывающей индукционное взаимодействие, является тип перехода, но в квантовой теории их часто не пишут в явном виде — каждый из токов I^+ , I^- , I^0 , I^n рассматривается как особая квантовомеханическая величина (оператор), соответствующая сумме всех возможных токов переходов. В отличие от фиксированных в пространстве контуров, эти токи есть четырехмерные векторы. Теория предсказывает, что при малых энергиях все слабые взаимодействия содержатся в сумме $(I^+ - I^- + I^0)$, где произведение токов есть произведение соответствующих четырехмерных векторов.

Из гипотез, лежащих в основе теории, следует замечательная связь между I^0 и I^n , имеющая вид $I^0 = I^n - 2 \sin^2 \theta_w I^n$. Ток I^3 связан простым групповым преобразованием с I^+ и I^- , а $\sin^2 \theta_w$ есть свободный параметр теории, называемый углом Вайнберга и определяемый из опыта.

Из постулатов теории и общих правил релятивистской квантовой механики легко вытекает явный вид токов I^+ , I^- , I^0 , I^n , позволяющий рассчитывать вероятности и характеристики конкретных процессов, таких как, например, предсказан-

ное теорией и затем открытое рассеяние мюонного нейтрино на электроны.

Путь к теории был долгим. В 1934 г. Э. Ферми применил заряженные токи, соответствующие переходам нейтрино в электрон и нейтрона в протон, для описания β -распада. В дальнейшем по мере обнаружения новых процессов и эффектов (в том числе несохранения четности) менялись и расширялись наши знания о структуре токов, но при этом все время наблюдались только процессы, обусловленные заряженными токами. Современная форма записи этих токов имела уже в работе М. Гелл-Манна 1964 г. о модели кварков, где токи были выражены через переходы между двумя парами кварков (u, d и c, s) и двумя парами лептонов (e, ν_e и μ, ν_μ); с тех пор появилось еще два лептона и два кварка, которые теперь также включены в эти токи.

Еще Х. Юкава пытался ввести в слабые взаимодействия промежуточные поля, кванты которых рассматривались как переносчики этих взаимодействий. Этим попыткам был дан новый импульс работой Ч. Янга и Р. Миллса 1954 г. — в это время уже было известно, как строить теории, обладающие свойством изотопической инвариантности (симметрии), или, как говорят, инвариантные относительно группы изотопических преобразований, переводящих, скажем, протон в нейтрон и т. д. Янг и Миллс ввели новый постулат — требование соответствующей локальной инвариантности, означающее, что такие преобразования можно делать независимо в разных точках пространства — времени. Этот постулат оказалось возможным выполнить в теории, построенной по типу электродинамики, но в которой взаимодействие переносится тремя векторными полями с зарядами $+1, 0, -1$. Как скоро стало ясно, теория допускает обобщение на любые группы симметрии типа изотопической (Глэшоу и Гелл-Манн — 1962, Ю. Швингер — 1962).

Для локальной симметрии нужно, чтобы векторные частицы были безмассовыми, что совсем непохоже на короткодействующие слабые взаимодей-

ствия. Тем не менее попытки применить теории для объяснения слабого и электромагнитного взаимодействий были сделаны еще в конце 50-х годов С. Бладманом, Ш. Глэшоу, А. Саламом и Дж. Уордом и др. В 1961 г. Глэшоу нашел правильную группу симметрии $(SU(2) \times U(1))$ и ввел в теорию четыре мезона.

Вопрос о том, как согласовать короткодействие слабых сил с локальной инвариантностью, оставался нерешенным. Ответ дала идея спонтанного нарушения симметрии¹. В результате ее разработки выяснилось, что кванты векторных полей могут приобретать массу в результате спонтанного нарушения симметрии исходного локально-инвариантного взаимодействия. Особенно ясная модель этого явления была построена П. Хиггсом в 1964 г.

Используя идею спонтанного нарушения симметрии, С. Вайнберг и независимо А. Салам построили в 1967 г. принимаемую сейчас теорию слабого и электромагнитного взаимодействия лептонов. Вслед за этим теория была распространена на кварки; важную роль здесь сыграла работа Ш. Глэшоу, Дж. Иллиопулоса и Л. Майяни (1970).

Построенная таким образом теория содержала взаимодействие нейтральных токов, до этого времени, как упоминалось выше, ускользавшее от наблюдения; большим триумфом теории было их обнаружение в 1973 г. С тех пор область явлений, вызванных нейтральными токами, широко исследована, и было установлено количественное согласие теории с опытом². Одним из самых ярких подтверждений теории стало обнаруженное в Новосибирске несо-

¹ Об этом см.: Кобзарев И. Ю. Спонтанное нарушение симметрии и его космологические следствия. — «Природа», 1975, № 11; Киржниц Д. А., Линде А. Д. Фазовые превращения в микромире и во Вселенной. — «Природа», 1979, № 11.

² Смолдырев М. А. Экспериментальная проверка модели Вайнберга — Салама. — «Природа», 1979, № 4.

хранение четности при взаимодействии света с атомами (Л. М. Барков, М. С. Золотарев, ИЯФ СО АН СССР). Результат хорошо согласуется со сделанными до опыта вычислениями И. Б. Хрипловича³.

Сейчас, по-видимому, можно также утверждать, что мы знаем и теорию сильных взаимодействий — хромодина-

мику (QCD); они, по-видимому, также связаны с янг-миллсовскими полями. Структурное сходство QCD и теории электро-слабого взаимодействия порождает надежду на возможность построения единой теории, объединяющей все три взаимодействия, и варианты таких теорий уже построены. Воскресли надежды и на включение во всеединство взаимодействий также и гравитации, но здесь трудности оказываются очень большими.

Во всяком случае, как бы ни развивались события дальше,

создание теории, позволяющей единым и простым образом описать всю имеющуюся массу фактов, относящихся к слабым взаимодействиям (в значительной части самой теорией и предсказанным), и явно демонстрирующей связь между электромагнитным и слабым взаимодействиями, является уже сейчас замечательным успехом.

И. Ю. Кобзарев,

доктор физико-математических наук

Институт экспериментальной и теоретической физики
Москва

³ Хриплович И. Б. Несокращение четности можно наблюдать в макроскопических процессах. — «Природа», 1978, № 1.

По химии — Г. Браун и Г. Виттиг

Нобелевская премия по химии за 1979 г. присуждена американскому исследователю Герберту Чарльзу Брауну и западногерманскому исследователю Георгу Виттигу за разработку новых методов органического синтеза сложных бор- и фосфорсодержащих соединений.

Г. Браун (Herbert Charles Brown) родился 22 мая 1912 г. в Лондоне (Англия) и с двухлетнего возраста живет в США. Его научные интересы сформировались в Чикагском университете, где он работал под руководством крупнейших американских химиков того времени Г. И. Шлесинджера и М. С. Караша. У первого из них с 1936 по 1938 г. он получил подготовку по неорганической химии и выполнил диссертационную работу, за которую получил степень доктора философии, у второго (1938—1939 гг.) — изучал основы органической химии. С тех пор в трудах Брауна постоянно переплетаются эти два направления современной химии, весьма пло-



Герберт Браун.

Фото ЮПИ — ТАСС.

дотворно влияющих на развитие обеих областей химической науки (и особенно на развитие пограничной области — элементоорганической химии).

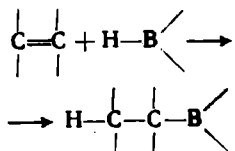
С 1939 по 1943 г. Браун вновь работает у Шлесинджера, посвятив себя химии бора, которой он остался верен на всю жизнь. По словам самого Брауна, в молодости, еще не зная, какой области химии себя посвятить, он получил в подарок книгу известного немецкого химика А. Штока «Гидриды бора и кремния». Вполне возможно, что это и определило научную судьбу Брауна.

Чикагский период научной деятельности Брауна связан с изучением взаимодействия диборана с разнообразными карбонильными соединениями (альдегиды, кетоны, сложные эфиры). Один из важнейших результатов, полученных Брауном за время работы в лаборатории Шлесинджера, — это открытие боргидрида натрия, NaBH_4 , широко используемого в настоящее время в органической химии в качестве восстановительного агента.

С 1943 г. Браун начинает самостоятельную научную деятельность в университете Вейн (1943—1947 гг.), а с 1947 г. по настоящее время работает в университете Пердью. Здесь он провел широкий комплекс исследований по созданию новых восстановителей органических и неорганических соединений, селективно действующих на определенные типы функциональных групп без затрагивания других. Он изучил восстановительную способность таких соединений, как диборан, гидрид алюминия, алюмогидрид лития, боргидрид натрия и многие их производные. Исследования в этой области с тех пор широко проводятся и во многих других лабораториях различных стран, а полученные результаты широко используются как в лабораторной практике, так и в промышленности.

Наибольшую известность Брауну принесли его работы в области гидробори-

рования. Известную химикам теперь со студенческой скамьи реакцию присоединения диборана к олефинам долгое время удавалось проводить только в жестких условиях при высоких давлениях и температурах. Применяв эфиры в качестве растворителя, Браун и С. Рао в 1956 г. нашли мягкие условия получения борорганических соединений по этой реакции с высокими выходами:



Развитая далее как самим Брауном и его учениками, так и многими исследователями в США и других странах, реакция гидроборирования прочно вошла в органическую химию. Замена борсодержащей части молекулы на функциональные группы приводит к различным производным. Благодаря ее применению в органическом синтезе удалось получить большое число ранее неизвестных или труднодоступных органических соединений, природных и лекарственных препаратов¹.

Браун является одним из самых плодовитых химиков-органиков. Им опубликовано около 700 статей, 4 книги и 60 обзорных статей. Не изменяя химии бора, он занимался вопросами стереохимии, ориентацией при реакциях замещения в ароматических системах, карбониевыми ионами, реакцией оксимеркурирования. Браун воспитал более 200 учеников, работающих сейчас как в США, так и в других странах.

Кипучая энергия, интерес к научным новинкам, настроенность на дискуссию — главные

черты брауновского характера, сразу заметные при встречах с ним на международных конференциях. На последней конференции по химии бора в США в июле 1979 г. Браун так увлекся дискуссией, что не заметил конца конференции. Он мог опоздать на самолет, если бы не его заботливая жена.

Американские профессора по существующим в США законам в возрасте 65 лет покидают административные должности. Год назад это сделал и Браун. Однако он продолжает плодотворные научные исследования, много ездит по свету, активно участвует в дискуссиях на конференциях.

В. И. Брегадзе,
кандидат химических наук
Москва

●

Георг Виттиг (Georg Wittig) родился 16 июля 1897 г. Учился в Кассельском и Марбургском университетах. С 1926 по 1932 г. доцент Марбургского университета, с 1932 по 1937 г. руководитель технического отделения Высшей школы в Брансуике, с 1937 г. профессор университета во Фрейбурге, с 1944 по 1956 г. профессор и директор Тюбингенского университета, с 1956 по 1967 г. профессор Гейдельбергского университета, с 1967 г. почетный профессор.

В последние годы Нобелевский комитет присудил премии по химии нескольким выдающимся ученым за исследования элементоорганических соединений². Георг Виттиг — один из основателей современного органического синтеза, теперь особенно широко базирующегося на использовании элементоорганических соединений, заслуженно отмечен высшей научной

¹ Подробнее см.: Михайлов Б. М., Бубнов Ю. Н. Борорганические соединения в органическом синтезе. М., 1977.

² Об этом в частности, см.: Бубнов Ю. Н. Лауреаты Нобелевской премии по химии — У. Н. Липскомб. — «Природа», 1977, № 1.



Георг Виттиг.

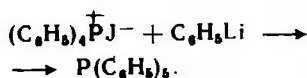
Фото ЮПИ — ТАСС.

наградой. Нобелевской премией отмечены его работы по развитию синтетических методов в области химии фосфорорганических соединений.

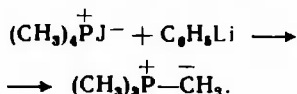
Вся научная деятельность Г. Виттига посвящена синтезу сложных, часто необычных соединений. Как правило, решить очередную задачу, используя существующие методы органической химии, оказывалось невозможно; в этом случае автор предлагал новый метод или подход и добивался своей цели. Он шел дальше и работал над новыми проблемами, а найденные им реакции получили широкое применение в химическом синтезе.

Работы Виттига по фосфорорганическим соединениям начались с исследования реакции фосфоневых солей с фениллитием. Оказалось, что это превращение очень специфично. Так йодистый тетрафенилфосфоний при взаимодействии с фе-

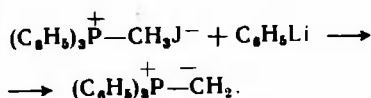
ниллитием дает пентафенилфосфор:



Практически одновременно с этим Виттиг показал, что алифатические фосфониевые соли реагируют с фениллитием иначе. Так, йодистый тетраметилфосфоний отщепляет йодистоводородную кислоту:



Образующийся продукт в чистом виде выделить не удалось, и поэтому автор получил его более стабильные аналоги, например:



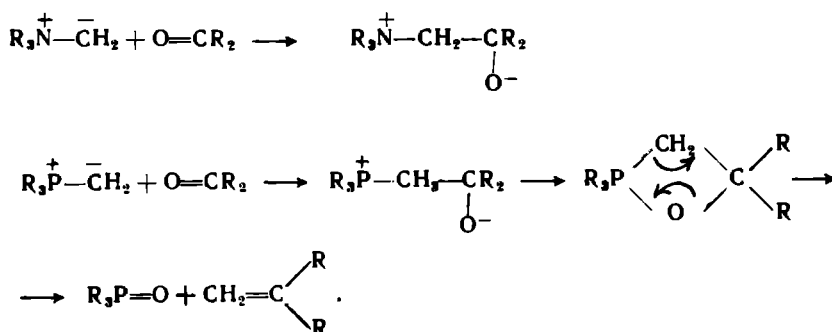
Синтезированные поллярные фосфорорганические соединения Виттиг отнес к илидам — системам, в которых отрицательно заряженный атом углерода соединен ковалентно с центральным атомом другого элемента (в данном случае с фосфором), несущим положительный заряд.

Исследуя илиды, он установил, что химическое поведение илидов фосфора и формально родственных им илидов азота существенно различается. Так, илиды азота с кетонами реагируют подобно обычным карбанионам, а илиды фосфора — необычно (1).

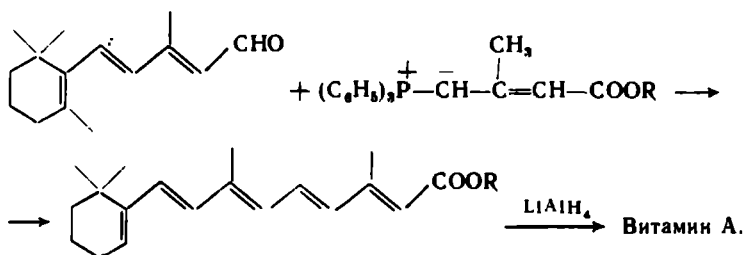
Вероятно, обе реакции начинаются одинаково, но фосфорная система, центральный атом которой имеет возможность образовывать пять ковалентных связей, превращается в фосфоран. Последний распадается до фосфиноксида и олефина (круглыми стрелками показан перенос электронов в цикле).

Приведенная реакция интересна не только в теоретическом отношении. Она демонстрирует оригинальную возможность использования фосфоилидов как реагентов для «олефинирования» альдегидов и кетонов, т. е. для превращения их в олефины.

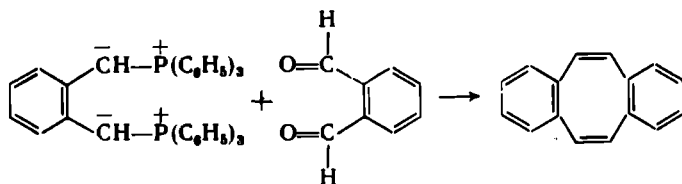
Столкнувшись с данной реакцией Виттиг оценил ее значение и широко использовал в синтезе различных соединений. В этом состоит его огромная научная заслуга. Необходимо отметить, что еще в 1919 г. Штаудингер (Германия) осуществил взаимодействие одного из сложных фосфоилидов с изоцианатом и наблюдал замену в последнем атома кислорода на алкильный радикал. К сожалению, ни Штаудингер, ни другие химики не оценили значения этой реакции. Олефинирование карбонильных соединений как препаративный метод после 1953 г. необычайно широко вошло в химию благодаря работе Виттига. В последующем этот метод получил мировую литературу получил название «реакции Виттига», ставшей одной из основных реак-



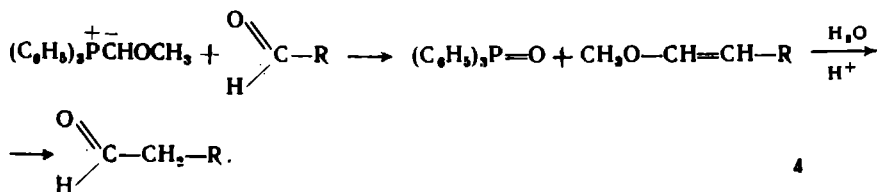
1



2



3



4

ций современного органического синтеза.

Синтез Виттига имеет чрезвычайно широкое значение. На его основе можно получить не только простейшие, но весьма сложные полинепредельные системы, например витамин А (2).

Диилиты можно использовать для создания важных полициклических систем, например (3).

Интересно, что Виттиг использовал свою реакцию для превращения альдегидов в их высшие гомологи³. Для этого он применил илиды, содержащие в карбанионном центре алкоксильную группу (4).

Стараниями многих химиков и технологов реакция Виттига нашла широкое при-

менение в практике, а ее автор занят новыми проблемами. Он синтезирует сложные полициклические углеводороды типа пропеллана, ставит оригинальные стереохимические задачи, использует в своей лаборатории новые элементоорганические реагенты.

Э. Е. Нифантьев,
доктор химических наук
Москва

Levin S. «J. Am. Chem. Soc.», 1958, v. 80, p. 6150.

По медицине — Г. Н. Хаунсфилд и А. М. Кормак

В 1979 г. английскому инженеру Годфри Ньюболду Хаунсфилду (Godfrey Newbold Hounsfield) и американскому ученому Аллану Маклеоду Кормаку (Allan MacLeod Cormack) присуждена Нобелевская премия по медицине за разработку компьютерного рентгеновского сканирующего томографа. Независимо друг от друга эти исследователи работали над созданием принципиально новых рентгеновских аппаратов для реконструктивной томографии — рентгеновского сканирования внутренних органов.

Разработка ЭВМ-томографов является триумфом содружества медицинской и инженерной мысли, имеющим огромное значение для рентгенологии и, возможно, всей медицины. Эти диагностические приборы позволяют получать послойное изображение исследуемых областей организма человека за счет сканирования узким пучком рентгеновских лучей поперечного сечения тела и последующей цифровой обработки полученных данных. Еще в 1961 г. В. Олдендорф описал метод, с помощью которого можно получить изображение головного мозга¹. В 1963 г. Кормак впервые применил компьютерный метод реконструкции изображения для рентгеновских томографов. (Сейчас профессор Аллан Кормак работает в Тафтском университете штата Массачусетс.) Однако в силу несовершенства компьютеров эта идея оставалась нереализованной, пока в 1969 г. Хаунсфилд в физической лаборатории фирмы ЭМИ (EMI) разработал систему, годную к при-

менению. На конгрессе Британского института рентгенологии этот аппарат получил название ЭМИ-сканера. В 1972 г. англичанин Дж. П. Амброс впервые сообщил о клиническом использовании ЭВМ-томографии. С этого времени началось интенсивное развитие этого направления рентгено-техники, ознаменовавшее новую эру в клинической рентгенологии.

В ЭВМ-томографии использован компьютерный принцип реконструкции изображения. Принцип работы компьютерного рентгеновского томографа типа ЭМИ-сканера состоит в том, что при прохождении через исследуемые ткани различной плотности интенсивность первичного коллимированного пучка рентгеновского излучения ослабевает. Этот процесс регистрируют высокочувствительные сцинтилляционные детекторы, в состав которых входит йодистый натрий, обладающий высокой чувствительностью и линейной характеристикой. Полученная информация, состоящая из суммы коэффициентов поглощения рентгеновских лучей тканями, записывается на магнитной ленте и обрабатывается ЭВМ.

Реконструкция анатомических объектов осуществляется путем оценки интенсивности рентгеновского излучения, регистрируемого каждым детектором. В силу неодинакового поглощения рентгеновского излучения тканями и органами человека и различий коэффициентов поглощения для патологических и нормальных тканей, можно выявлять патологические процессы в организме.

Обычные рентгеновские аппараты фиксируют разницу плотностей в 2%. Чувствительность компьютерного томогра-

фа в десять раз выше, что позволяет улавливать перепады плотности, которые ранее были недоступны рентгенологическому методу. Шкала компьютерного томографа различает тысячу градаций плотностей выше плотности воды и столько же ниже воды (от плотности воздуха до плотности кости), исчисляемых в единицах, носящих имя одного из Нобелевских лауреатов, Хаунсфилда. Коэффициент поглощения нормальной печени колеблется между 30 и 60, поджелудочной железы между 35 и 60, почек между 30 и 60, а селезенки между 45 и 70. Плотность воспалительных очагов, опухолей и кисты меньше, чем плотность здоровых тканей. Однако эта разница столь незначительна, что на обычном аппарате без дополнительного контрастирования ее уловить невозможно. Детекторы компьютерного томографа регистрируют эту разницу по изменению плотности, а вычислительная техника преобразует ее в картину томограммы. ЭВМ выдает на экран телевизионного устройства величину поглощения рентгеновского излучения каждой точкой исследуемого слоя, трансформированную в соответствующую градацию яркости. Изображение получают в черно-белом или в условных цветах и оно регистрируется с помощью поляроидного фотоаппарата.

Интенсивные исследования зарубежных фирм привели к созданию десятков типов аппаратов для ЭВМ-томографии. У аппаратов первого поколения на каждый выделяемый слой был всего один детектор. Время исследования с помощью таких аппаратов составляло 1,5—4 мин, а время машинной обработки данных для восстановления изображения — десятками минут.

¹ «IRE Trans. Bio — Med. Electron», 1961, № 8, p. 68—72.



А. М. Кормак.
Фото ЮПИ—ТАСС.



Г. Н. Хаунсфилд.
Фото АП—ТАСС.

ЭВМ-томографы первого поколения, и в частности английской фирмы «ЭМИ», широко используются для быстрого и безопасного исследования структур головного мозга человека.

В последние годы за рубежом разработаны томографы второго и третьего поколения с большим количеством детекторов (до нескольких тысяч). В аппаратах второго поколения длительность исследования сократилась до 1,3 мин, а для наиболее совершенных ЭВМ-томографов третьего поколения — до 2—5 секунд (время восстановления изображения в этом случае — десятки секунд). Самые последние аппараты насчитывают несколько тысяч детекторов; в них, помимо детекторов на основе йодистого натрия или фтористого каль-

ция, используются ксеноновые датчики высокого давления.

В связи с созданием компьютерных томографов второго и третьего поколений расширилась область их диагностического применения. С 1975 г. ЭВМ-томографию широко используют для диагностики заболеваний грудной и брюшной полости. Наиболее перспективно применение компьютерной томографии при таких поражениях грудной клетки, как опухоли средостения, очаги поражения в легких и т. д. Этот метод исследования позволяет количественно оценивать состояние легочной вентиляции за счет измерения плотности и объема легочной ткани в разные моменты времени. В рентгенодиагностике заболеваний легких ЭВМ-томография значительно улучшила выявление

небольших метастазов и опухолей. Компьютерную томографию пока еще ограничено используют в диагностике сердечных заболеваний из-за слишком высокой двигательной активности этого органа. Использование компьютерной томографии для исследования молочной железы позволяет надеяться на решение вопроса ранней диагностики опухолей, а также других предраковых заболеваний. Компьютерная томография имеет существенные преимущества перед другими методами в диагностике таких труднодоступных органов, как поджелудочная железа и надпочечники.

При исследовании печени ЭВМ-томография превосходит диагностические возможности радиоизотопов. Компьютерная томография выявляет в 84—93% случаев очаговые

изменения в печени, в том числе метастазы, абсцессы и гематомы. Так, при ЭВМ-томографии выявляются первичные опухоли и метастазы диаметром не менее 1 см. В трудных случаях возможность метода повышает внутривенное введение контрастных веществ, которые увеличивают разницу в показателях плотности исследуемых органов. Чувствительность этого метода столь высока, что в принципе можно даже говорить о гистологическом строении опухолей. Компьютерная томография открывает большие возможности и в исследовании почек. Она позволяет отличать доброкачественные кисты почек от злокачественных опухолей почек, а также диагностировать гидронефроз.

В исследовании костей высокая разрешающая способность ЭВМ-томографии дает возможность четко определить топографические взаимоотношения костного опухолевого процесса с окружающими органами и его анатомическую структуру.

Широко применяется сегодня ЭВМ-томография в неврологии, о чем свидетельствуют материалы первого Международного симпозиума в 1976 г. в Бетезде (США), посвященного компьютерной томографии неопухлевых заболеваний головного и спинного мозга и глаз. Вышедшая в 1977 г. монография Л. Кетоне-на по компьютерной томографии мозга, а также многочисленные журнальные публикации говорят о высокой диагностической информативности этого метода исследования, особенно для диагностики внутримозговых опухолей. ЭВМ-томография позволяет выявлять внутримозговые опухоли в 99% случаев, что на 12% превосходит возможности радиоизотопного метода. Новый метод показал высокую информативность в диагностике неопухлевых заболеваний мозга (внутримозговых кровоизлияниях, субдуральных гематомах). Широкое внедрение нового метода значительно сузило показания к контрастным методам исследования. Простота, высокая диагности-

ческая эффективность метода позволяют рекомендовать компьютерную томографию для исследования больных с патологией мозга в амбулаторных условиях.

Результаты компьютерной томографии представляют большой интерес для планирования лечения, в частности для лучевой терапии, так как они позволяют внести необходимые коррективы в распределение доз за счет более точной регистрации искажений вследствие негетерогенности объекта.

Компьютерная томография перспективна для выявления опухолей забрюшинного пространства и таза, особенно лимфом. Этот метод открывает новые возможности в диагностике рака яичников, при котором другие методы исследования часто дают отрицательные результаты. Компьютерная томография все шире используется в педиатрии для диагностики самых разных заболеваний. Таким образом, внедрение в медицину компьютерной томографии ознаменовало качественно новый этап в диагностике многих заболеваний человека.

Компьютерная томография привлекала широкое внимание исследователей во всем мире. Об этом свидетельствует постоянно растущее число публикаций и патентной литературы по различным аспектам реализации этого метода исследования. Большая часть статей по клиническому применению ЭВМ-томографии помещается в американских журналах «Radiology», «Am. J. Roentgenology» и «Investigative Radiology». В 1977 г. был основан специальный журнал по компьютерной томографии — «Journal of computer assisted tomography». В разных странах издано более 10 монографий по компьютерной томографии. Проводятся национальные и международные симпозиумы по компьютерной томографии мозга и всего тела. В 1979 г. вышел солидный труд по общей компьютерной томографии, представляющий собой доклады на международном симпозиуме по компьютерной

томографии всего тела. В работе этого симпозиума участвовало около 700 делегатов из 10 стран.

В нашей стране также ведутся работы по созданию отечественных аппаратов ЭВМ-томографии. Так, Синицын Р. Р., Тихонов К. Б. и Васильева Э. В. предложили оригинальный способ поперечной томографии².

Устройства для ЭВМ-томографии существенно обогатили арсенал современных аппаратов в практике медицины, а их создатели — Хаунсфилд и Кормак заслуженно получили высокое звание лауреатов Нобелевской премии по медицине.

П. В. Власов,

доктор медицинских наук

Н. К. Свиридов,

доктор биологических наук

Институт рентгено-радиологии

Министерства здравоохранения СССР

Москва

² Бюллетень «Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки», 1975, № 41. Авторское свидетельство № 430569.

Космические исследования

Запуски космических аппаратов в СССР (сентябрь — октябрь 1979 г.)

В сентябре — октябре 1979 г. в Советском Союзе запущено 20 спутников, в том числе 17 спутников серии «Космос»; на некоторых из них установлена научная аппаратура, предназначенная для продолжения исследований космического пространства. Научная аппаратура «Космос-1127» предназначена для продолжения исследований природных ресурсов Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства СССР и международного сотрудничества. Информация с этого спутника поступает в Государственный научно-исследовательский и производственный центр «Природа» для обработки и использования.

С помощью биоспутника «Космос-1129» продолжают исследования воздействия факторов космического полета на живые организмы; среди научных приборов — радиационно-физическая аппаратура, изготовленная спе-

циалистами СССР, ЧССР, США и Франции. В дальнейшем исследовании экспериментального биологического материала примут также участие специалисты НРБ, ВНР, ГДР, ПНР и СРР.

Спутник связи «Экран» (международный регистрационный индекс «Стационар-Т»), выведенный на близкую к геостационарной круговую орбиту, оборудован бортовой ретрансляционной аппаратурой, обеспечивающей в дециметровом диапазоне волн передачу программ Центрального телевидения СССР на сеть приемных устройств коллективного пользования.

Очередной спутник связи серии «Молния-1» предназначен для обеспечения эксплуатации системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи, а также передачи программ Центрального телевидения СССР на пункты сети «Орбита».

На очередном метеорологическом спутнике серии «Метеор-2» установлены комплексы аппаратуры для получения глобальных изображений облачности и подстилающей поверхности в видимом и ИК-диапазонах спектра,

радиометрическая аппаратура для непрерывных наблюдений за потоками проникающих излучений в околосреднем космическом пространстве, а также необходимые служебные системы.

Космические исследования

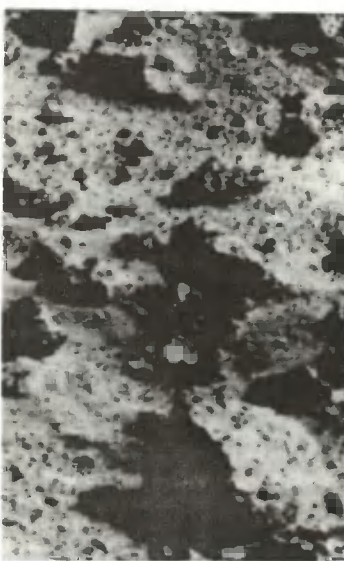
Атмосферные процессы на Марсе

Наблюдения, выполненные автоматическими станциями «Викинг-1 и -2», показали, что определяющий фактор марсианского климата — глобальные пылевые бури. Они происходят обычно летом в Южном полушарии. В «викинговский» год (с осени 1976 г. по конец лета 1978 г.) было две глобальных бури. Как отметил К. Снайдер (Лаборатория реактивного движения, США), этим глобальным явлениям предшествовали локальные бури, охватывавшие территорию до 3000 км в поперечнике. Возможно, они представляли собой зарождение глобальной бури. Около половины локальных бурь происходило у края южной полярной шапки. Ветры в этом районе возникают из-за большой разницы температур между шапкой и окружающей ее свободной от снега поверхностью. Другая половина локальных бурь начиналась в районах, где из-за большого перепада высот рельеф благоприятен для образования восходящих от поверхности потоков воздуха. Большинство этих районов также расположено в Южном полушарии Марса.

Панорамные изображения, полученные посадочными блоками «Викинга», показали, что единственный признак пылевых бурь — слабое «размывание» линии горизонта из-за небольшого ухудшения ви-

Параметры начальной орбиты

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей, км	апогей, км	наклонение, град	период обращения, мин
«Космос-1127»	5.IX	226	300	81,4	89,4
«Космос-1128»	14.IX	184	352	62,8	89,6
«Космос-1129»	25.IX	226	406	62,8	90,5
«Космос-1130—1137»	26.IX	1446	1515	74	115
«Космос-1138»	28.IX	210	398	72,9	90,2
«Экран»	3.X	35 557	35 557	0,45	1424
«Космос-1139»	5.X	212	357	72,9	89,9
«Космос-1140»	11.X	781	818	74	101
«Космос-1141»	16.X	976	1014	82,9	104,7
«Молния-1»	20.X	640	40 640	62,8	736
«Космос-1142»	22.X	208	408	72,9	90,3
«Космос-1143»	26.X	625	665	81,2	97,4
«Метеор-2»	31.X	877	904	81,2	102,6



Участок поверхности Марса около посадочного блока «Викинга-2» осенью (слева) и весной (справа). За зиму поверхность грунта и камней покрылась тонким (в несколько микрон) слоем светлой пыли, осевшей после глобальной бури.

димости. За все время работы посадочных блоков на поверхности не было сфотографировано ничего похожего на клубящуюся стену надвигающейся пыли (так обычно представлялась картина пылевой бури на Марсе). Однако буря над посадочными блоками четко фиксировалась метеоприборами по изменению температуры и давления.

Измерения, проведенные с орбиты, показали, что водяной пар равномерно распределен в нижнем 10-километровом слое атмосферы. После глобальной пылевой бури его количество уменьшилось в четыре раза¹.

¹ Аналогичная «сухость» атмосферы Марса отмечалась и после глобальной пылевой бури 1971 г. по измерениям с советской автоматической станции «Марс-3». См.: Моброзов В. И. Физика планеты Марс. М., 1979.

Над Великой Северной равниной обнаружен регулярный ветровой поток в направлении с запада на восток. Серии циклонов и антициклонов проходили севернее района посадки «Викинга-2» в течение осени и весны в Северном полушарии². Южнее, в месте посадки «Викинга-1» подобного явления не отмечено.

Установлено, что в одни и те же сезоны разных лет атмосферное давление примерно одинаковое. Его изменение в течение года связано с вымораживанием зимой из атмосферы в полярные шапки углекислого газа и высвобождением его в более теплые сезоны. По изменению давления в течение марсианского года было вычислено, что количество углекислого газа, замороженного в сезонной южной полярной шапке, достаточно, чтобы покрыть всю ее площадь слоем «сухого» льда толщиной около 23 см. Поскольку толщина этого слоя неодинакова на различных широтах, то в районах около полюса она может достигать нескольких метров. Сравнение снимков, сделанных зимой и весной в районе посадочного блока

«Викинга-2» на равнине Утопия, показало, что в течение зимы район покрылся слоем светлой пыли толщиной в несколько микрон. По мнению С. Уолла, К. Джонса и Р. Арвидсона (Лаборатория реактивного движения и Университет им. Дж. Вашингтона, Сент-Луис, США), снег, покрывавший тонким слоем поверхность в зимний период, был принесен из Южного полушария в конденсированном виде на поверхности пылевых частиц, которые оседали после глобальных бурь.

Э. Гуинесс, Р. Арвидсон и С. Ли (Университет им. Дж. Вашингтона, США) считают, что в районе посадки «Викинга-1» на равнине Хриса ветровая эрозия «срезает» за год около 0,001 мкм материала поверхности, а в районе посадки «Викинга-2» на равнине Утопия — около 0,1 мкм. Ранее считалось, что эрозия марсианской поверхности достигает нескольких сантиметров в год. По данным «Викингов», интенсивность ветровой эрозии в течение последних 3 млрд лет была примерно такой же низкой, как и в настоящее время.

Second International Colloquium on Mars. NASA Conference Publication 2072, 1979, p. 3, 6, 33, 45—46, 78—79, 82, 85 (США).

Планетология

Новые данные по геологии Марса

По снимкам, полученным с орбитальных блоков «Викинга-1 и -2», выявлен целый ряд новых фактов геологического строения Марса. На некоторых кадрах высокого разрешения видны участки поверхности, насыщенные кратерами очень малых размеров, что противоречит существовавшим до сих пор представлениям, что атмосфера Марса, разрушая малые метеориты, препятствует образованию кратеров диаметром менее 40 м.

Установлено, что объем лавы, излитой тремя гигантскими вулканами в области Фарсида и горы Олимп, гораздо больше, чем считалось

² «Природа», 1979, № 11, с. 19.

до сих пор. По толщине потоков и размерам лавовых каналов определена вязкость лавы в отдельных районах. Потоки на горе Олимп и горе Арсия, расстояние между которыми всего ~ 1800 км, различаются по вязкости в 100 раз, что свидетельствует, по-видимому, о различном составе лав этих вулканов. В стенках крупных каньонов долины Маринер обнаружена слоистость, указывающая на многоэтапность излияния лав и накопление отложений в результате других геологических процессов. На основании измерений с орбиты температуры поверхности в ИК-диапазоне Г. Киффер (Геологическая служба США) считает, что днища каньонов покрыты мелкораздробленным материалом, а не сплошными скальными породами.

По снимкам, сделанным с орбиты, установлено, что на поверхности слоистых отложений в районе Северного полюса почти нет кратеров, поэтому эту область планеты можно считать геологически наиболее молодой. Вокруг северной полярной шапки обнаружено гигантское по площади скопление дюн, равного которому нет на Земле¹.

Наблюдения за скоростью движения орбитальных блоков «Викингов» на низких участках орбиты позволили У. Сьогрену и Р. Уимберли (Лаборатория реактивного движения, США) выделить области гравитационных аномалий. Наибольшая из положительных аномалий связана с горой Олимп, указывая на то, что кора Марса достаточно толстая, поскольку массы этого гигантского вулкана оказалось недостаточно, чтобы прогнуть кору и привести к изостатической компенсации горы Олимп². Крупнейшей на Марсе кольцевой структуре — равнине Эллада — соответствует значительная отрицательная гравитационная аномалия.

Уточнено содержание микроэлементов в марсианском грунте в местах посадок блоков «Викингов». Как отмечает К. Снайдер, брома в грунте содержится около 100 частей $\cdot 10^{-1}$, что в десять раз выше, чем ожидалось. Отмечено также высокое содержание хлора, свидетельствующее о значительной засоленности поверхностного слоя грунта. Повторный эксперимент по определению магнитных свойств грунта подтвердил заключение о том, что в нем имеется несколько процентов высокомагнитного вещества, равномерно распределенного в мелкозернистом материале.

Анализ результатов измерений температуры поверхности ИК-датчиками орбитальных блоков, выполненный Киффером, показал, что оба места посадки «Викингов» имеют высокую тепловую инерцию, не характерную для большей части поверхности планеты. Поэтому геологические характеристики, полученные по панорамам посадочных блоков, скорее всего, нетипичны для планеты в целом. Высокая тепловая инерция районов посадок может быть связана с наблюдаемой на панорамах высокой каменистостью поверхности.

Second International Colloquium
on Mars, NASA Conference
Publication 2072, 1979, p. 76—79
(США).

Физика

Поиск электрического дипольного момента нейтрона

Группой экспериментаторов Института ядерной физики им. Б. П. Константинова АН СССР (Ленинград) проведены измерения электрического дипольного момента нейтрона: $|d_n| = (4 \pm 7,5) \cdot 10^{-24}$ е $\cdot$ см. В экспериментах использовался магнитно-резонансный метод: нейтроны помещались в параллельные магнитное и электрическое поля и наблюдалось влияние изменения знака электрического поля на энергию уровней свободного

нейтрона в магнитном поле. Использовались ультрахолодные нейтроны, которые большее время способны находиться в регистрирующей установке, что повышает точность эксперимента¹.

Источником нейтронов служил бериллиевый конвертор, охлаждаемый до температуры 30 К с помощью газообразного гелия. Конвертор помещался в поток тепловых нейтронов в центре активной зоны реактора. По нейтроноводу из нержавеющей стали нейтроны поступали в магнитно-резонансный спектрометр. Поток ультрахолодных нейтронов со скоростями меньшими 6,8 м/с на входе в спектрометр составлял $1,2 \cdot 10^4$ частиц/с. В течение примерно 5 с ультрахолодные нейтроны удерживались в ловушках спектрометра. Процесс измерений, а также управление экспериментом были полностью автоматизированы с использованием ЭВМ. Контрольная обработка результатов подтвердила надежность полученных данных.

Интерес к поискам дипольного момента нейтрона связан с тем, что дипольный момент может появиться только за счет влияния на распределение плотности заряда в нейтроне взаимодействий, неинвариантных относительно обращения времени Т и операции комбинированной инверсии СР (произведение инверсии Р и зарядового сопряжения С)². Хотя полный электрический заряд нейтрона равен нулю, плотность заряда может отличаться от нуля; единственный вектор, по которому может быть направлен

¹ Идея экспериментов такого рода была впервые высказана в 1968 г. Ф. Л. Шапиро (ОИЯИ, Дубна), использовавшим предложение Я. Б. Зельдовича (ИПМ АН СССР) о хранении ультрахолодных нейтронов в замкнутой полости. См., Шапиро Ф. Л. — «УФН», 1968, т. 95, с. 145; Зельдович Я. Б. — «ЖЭТФ», 1959, т. 36, с. 1952.

² Варденга Г. Л., Оконов Э. О. Зарядовая симметрия и Вселенная. — «Природа», 1971, № 10.

¹ «Природа», 1977, № 10, с. 148.

² О толщине коры Марса см.: «Природа», 1978, № 5, с. 129.

вектор дипольного момента $\vec{d}$, есть вектор спина $\vec{s}$, т. е. должно выполняться равенство $\vec{d} = e\vec{s}$, где $e\vec{s}$ — скалярная величина дипольного момента, e — заряд электрона, который принято выделять в виде множителя. Такое соотношение невозможно, если справедливы требования Т- и СР-инвариантности, так как тогда левая и правая части этого соотношения ведут себя по-разному. Сейчас установлено, что и Т-, и СР-инвариантности могут нарушаться, но пока это наблюдается только в распадах K^0 -мезонов. Обнаружение дипольного момента нейтрона было бы вторым независимым источником сведений о нарушении СР-инвариантности; но даже и ограничение на величину дипольного момента сужает круг возможных теоретических моделей нарушения СР-инвариантности.

Еще в 1950—1957 гг. Дж. Смит, Е. Парселл и Н. Рамзей³ получили первые ограничения на величину дипольного момента нейтрона: $\mu_D < 5 \cdot 10^{-20}$ см. Подобные опыты очень трудны и их точность растет медленно. Последние данные по экспериментальному определению дипольного момента нейтрона, предшествовавшие измерениям ленинградских физиков, были получены в Гренобле⁴ в 1976 г.: $\mu_D < 3 \cdot 10^{-24}$ см; по-видимому, возможности использованного в них метода были исчерпаны. Данные ленинградских физиков являются первыми, полученными новым методом — с использованием ультрахолодных нейтронов; они начинают новый этап поисков дипольного момента нейтрона.

Необходимо отметить, что теоретические оценки ожидаемой величины μ_D сильно отличаются, так как сейчас нет рациональной основы для выбора модели нарушения СР-инвариантности, да и после выбора модели неопределенности в расчетах остаются. В литературе име-

ются разные варианты⁵, дающие значения $|\mu_D|$ от $3 \cdot 10^{-25}$ см до 10^{-32} см.

«Письма в ЖЭТФ», 1979, т. 29, вып. 12, с. 794.

Физика

γ -излучение при каналировании релятивистских позитронов

Совместный советско-американский эксперимент (И. И. Мирошниченко, Д. Мерри, Р. О. Авакян, Т. Фигут) подтвердил существование предсказанного теоретически γ -излучения при плоскостном и аксиальном каналировании релятивистских позитронов в монокристаллах. Эксперимент выполнен на пучке позитронов с энергией 4; 6; 10 и 14 ГэВ линейного ускорителя SLAC в Станфорде (США).

Пучок позитронов интенсивностью ~ 1 позитрон/имп и расходимостью $\sim 10^{-5}$ рад пронизывал монокристалл алмаза перпендикулярно его кристаллографической плоскости (100). Когда угол θ между направлением импульса позитронов и направлением кристаллографической плоскости (010), (001) или кристаллографической оси (100) алмаза оказывался $\sim 10^{-5}$ рад, детектор из иодистого натрия, легированного таллием, регистрировал мощное γ -излучение с интенсивностью, в сотни раз большей интенсивности обычного тормозного излучения. Эффект исчезал, когда угол θ превышал критическое значение $\sim 10^{-4}$ рад.

Был сделан вывод, что наблюдавшееся γ -излучение связано с плоскостным и аксиальным каналированием релятивистских позитронов в моно-

кристалле. Траектория движущегося в канале позитрона имеет форму, близкую либо к синусоиде (плоскостное каналирование), либо к винтовой линии (аксиальное каналирование). В обоих случаях движение позитрона сопровождается интенсивным синхротронным излучением. Поскольку радиус кривизны мал ($\sim$ несколько ангстрем) и позитрон релятивистский, то частота и интенсивность излучения оказываются очень большими. Кроме того, за счет эффекта Доплера происходит многократное увеличение наблюдаемой в лабораторной системе отсчета частоты излучения и его направленности вперед по ходу полета позитрона.

Интенсивность γ -излучения при аксиальном каналировании в несколько раз превышала соответствующую величину при плоскостном каналировании. Выход γ -квантов во всех случаях оказался очень высоким: так, при энергии позитронов 10 ГэВ и толщине кристалла $5,2 \cdot 10^{-3}$ радиационных единиц число квантов в спектре приближенно равнялось числу позитронов, прошедших сквозь кристалл.

По мнению авторов, большая спектральная плотность, высокая степень монохроматичности и поляризации γ -излучения могут открыть самые неожиданные возможности для его практического использования.

«Письма в ЖЭТФ», 1979, т. 29, вып. 12, с. 786.

Физика

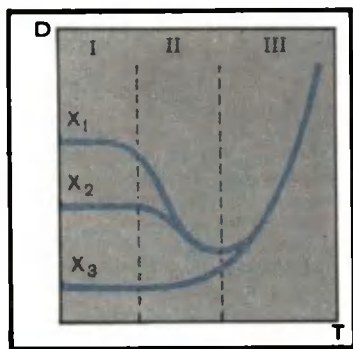
Квантовая диффузия в кристаллах

В Государственном реестре СССР под № 206 зарегистрировано открытие квантовой диффузии в кристаллах. Это явление еще в 1969 г. было предсказано И. М. Лифшицем и А. Ф. Андреевым (Институт физических проблем АН СССР). Для небольшой группы твердых тел — так называемых квантовых кристаллов — вблизи 0 К становятся существенными отклонения от классической теории кристаллов, т. е. на первый

³ Подробнее об этом см.: Миллер П. Поиски электрического дипольного момента нейтрона. — «УФН», 1968, т. 95, с. 470.

⁴ Dress W. B., Miller P. D. et al. — «Phys. Rev.», 1977, D15, № 1.

⁵ Ансельм А. А. СР-нарушение в калибровочных теориях. — В кн.: Материалы XIII школы ЛЯФ, 1978, с. 42; Шебакин Е. П. О влиянии радиационных поправок на величину электрического дипольного момента кварка. — Пре-ринт ИТЭФ, 1979, ИТЭФ-87.



Температурная зависимость коэффициентов диффузии D примесей при $x_1 < x_2 < x_3$, где x — относительная концентрация дефектонов.

план выступают квантовые эффекты делокализации частиц вследствие нулевых колебаний и подбарьерных туннельных переходов. В отличие от классических локализованных дефектов (вакансий, примесных атомов) соответствующие им делокализованные квазичастицы, подчиняющиеся законам квантовой механики, названы волнами флуктуации массы, или дефектонами (вакансионными, приме-сонами).

Вероятность туннельных переходов не зависит от температуры и равна $e^{-1/\lambda}$, где λ (квантовый параметр де Бурэ) $\sim \hbar/a\sqrt{m\epsilon}$. Отсюда видно, что квантовые эффекты могут быть существенными только в кристаллах легких атомов с массой m при малой энергии межатоминого взаимодействия ϵ и малом значении параметра решетки a . Например, для изотопов гелия $\lambda=0,49$ (He-4), $\lambda=0,43$ (He-3); для водорода $\lambda=0,28$, а для неона $\lambda=0,07$ и квантовые эффекты уже неощутимы.

Согласно модели Лифшица—Андреева, делокализованные квазичастицы свободно движутся в объеме кристалла, как в газе. Простые точечные дефектоны могут образовывать комплексы, для которых свободное перемещение возможно лишь вдоль определенных плоскостей или осей кристаллической решетки. В квантовой диффузии могут участвовать также дислокации. Во время движения дефектоны испытывают различные столкновения. При темпе-

ратурах, близких к 0 K, когда в кристалле «выморожены» фононы, дефектоны соударяются лишь друг с другом. При этом коэффициент диффузии обратно пропорционален относительной концентрации дефектонов (x) и не зависит от температуры (область I на рис.). С повышением температуры, когда «оживает» тепловое движение в кристаллах, дефектоны могут сталкиваться также с фононами. При температурах ниже дебаевской в столкновениях участвуют главным образом длинноволновые акустические фононы, соударения с которыми приводят к рассеиванию дефектонов и уменьшению их коэффициента диффузии. Так как концентрация фононов резко увеличивается при нагреве, то коэффициенты квантовой диффузии D в фононной области (область II) уменьшаются с ростом температуры по закону $D \sim T^{-2}$. Поскольку коэффициенты квантовой диффузии зависят от концентрации дефектонов, область II суживается с увеличением дефектности кристалла и может полностью исчезнуть, если и в фононной области главную роль продолжают играть столкновения дефектонов друг с другом. Тогда область I непосредственно переходит в область экспоненциального роста коэффициента диффузии (область III). Переход может быть связан с тем, что при нагреве преобладающими становятся термоактивированные перескоки локализованных частиц, т. е. классическая диффузия. Однако и при квантовой диффузии возможна экспоненциальная зависимость коэффициента диффузии от температуры, если процесс переноса, например приме-сонов, инициируется вакансионными, образующимися термически.

Экспериментальное изучение переноса примесей He-3 в квантовых кристаллах He-4, проведенное в Харьковском физико-техническом институте низких температур АН УССР, подтвердило теоретические прогнозы, в частности аномальный нетермический характер температурной зависимости коэффициентов диффузии.

Полученные результаты имеют большое практическое

значение для разработки новых способов растворения водорода в кристаллических решетках тяжелых металлов при низких температурах. Эти способы основаны на квантовом эффекте делокализации и свободном переносе легких примесных атомов (например, водорода), слабо взаимодействующих с металлами (Zr, Nb), в металлических матрицах, остающихся при этом классическими.

Бюллетень «Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки», 1979, № 13, с. 1.

Физика

Охлаждение атомного пучка резонансным лазерным излучением

В Институте спектроскопии АН СССР разработан метод адиабатического охлаждения атомов в атомном пучке с помощью резонансного поля. Идея радиационного охлаждения в атомных пучках была выдвинута в 1975 г. Т. Хэншем и А. Шавловым¹: атомы тормозятся в результате воздействия на них радиационным давлением резонансного встречного лазерного излучения. Радиационное давление принимает наибольшее значение, когда атомы поглощают падающее на них излучение, причем поглощение происходит наиболее интенсивно, когда частота фотона совпадает с частотой атомного перехода (так называемое резонансное поглощение). Возникающая тормозящая сила пропорциональна импульсу фотона и обратно пропорциональна времени жизни атома в возбужденном состоянии. Существенный недостаток метода заключался в том, что по мере замедления атомы пучка выходят из резонанса вследствие эффекта Доплера. Эту трудность и удалось обойти специалистам Института спектроскопии: идея предложенного ими метода заключалась в непрерывной подстройке лазерной частоты под изменяющуюся за счет эффекта Доплера ча-

¹Hänsch T. W., Schawlow A. L. «Optics Communications», 1975, B. 13, S. 68.

стоту атомного перехода между двумя выделенными уровнями. Для эффективности замедления существенно, чтобы скорость подстройки (или сканирования лазерной частоты) совпадала со скоростью изменения частоты перехода. При скорости сканирования, близкой или совпадающей со скоростью изменения частоты атомного перехода, должно наблюдаться уменьшение доли быстрых и увеличение доли медленных атомов. Это, в свою очередь, должно приводить к заметной деформации контура спектральной линии резонансной флуоресценции замедляющихся атомов. Именно такая деформация и наблюдалась в эксперименте.

Использовались два атомных пучка натрия: соосный с встречным лазерным лучом пучок был основным, его атомы замедлялись; второй пучок, перпендикулярный лазерному лучу, был опорным. Максимум кривой резонансной флуоресценции, снимаемой с помощью второго пучка, соответствовал частоте атомных переходов для покоящихся атомов натрия. Источником фотонов со сканируемой частотой служил лазер на красителе непрерывного действия.

«Письма в ЖЭТФ», 1979, т. 29, № 10, с. 614.

Физика

Каналирование увеличивает интенсивность ядерных реакций

Ю. Л. Пивоваров и С. А. Воробьев (Институт ядерной физики при Томском политехническом институте) теоретически показали, что интенсивность ядерных реакций увеличивается, если участвующие в них релятивистские отрицательные частицы (π^- -мезоны, электроны) каналируются вдоль атомных плоскостей монокристалла (так называемое плоскостное каналирование), в которых расположены ядра-реагенты.

Эффект возникает в результате повышения плотности числа каналируемых частиц

вблизи ядер, с которыми эти частицы вступают в реакцию. При плоскостном каналировании частицы движутся внутри потенциальной ямы, параллельной атомной плоскости и симметричной ей относительно нее. Эта потенциальная яма характеризуется отрицательной энергией поперечного, перпендикулярного этой плоскости движения. Пролетая вдоль атомной плоскости, частица, подвергаясь каналированию, совершает колебания относительно этой плоскости и расположенных в ней ядер. Минимальной амплитуде колебаний (т. е. минимальной энергии поперечных колебаний) соответствует максимальная локализация частиц вблизи ядер.

Хотя амплитуда колебаний попадающей в монокристалл частицы вначале может оказаться большой, частица, согласно теоретическим расчетам, всегда может испустить один или несколько квантов света и перейти в состояние с минимальной энергией поперечных колебаний. Оценка характерного расстояния, которое должна пройти частица в монокристалле для реализации такого перехода, дает для π^- -мезонов с энергией 15 ГэВ в кристалле германия величину $\sim 10^{-1}$ см.

Другой характерный размер — величина пути частицы в кристалле, на котором заканчивается переход от однородной структуры падающего на кристалл потока частиц к неоднородной структуре потока частиц, каналируемых в кристалле. Для π^- -мезонов с энергией 15 ГэВ в германии этот путь составляет $\sim 10^{-4}$ см. Таким образом, эффект увеличения интенсивности ядерных реакций должен наблюдаться уже на глубине $\sim 10^{-1}$ см.

«Physics Letters», 1979, v. 71A, № 5—6, p. 446 (Нидерланды).

Физика

Магнитный изотопный эффект

В Институте химической физики АН СССР открыт магнитный изотопный эффект при

протекании в растворах химических реакций с участием радикалов. Эффект заключается в обогащении продуктов рекомбинации радикальных пар магнитными изотопами¹, когда радикалы содержат ядра-изотопы какого-либо элемента.

При столкновении в растворе двух радикалов происходит либо их рекомбинация с образованием стабильного продукта, либо радикалы снова расходятся в растворе. Рекомбинация радикальной пары возможна лишь в так называемом синглетном состоянии, когда спины неспаренных электронов антипараллельны. Рекомбинация сближающихся радикалов из триплетного состояния (с параллельными электронными спинами) невозможна, так как в этом случае радикалы отталкиваются друг от друга. Однако если сталкивающиеся радикалы содержат магнитные ядра-изотопы, то магнитное взаимодействие ядерных спинов со спинами неспаренных электронов (так называемое сверхтонкое взаимодействие) снимает запрет на рекомбинацию в триплетном состоянии.

В результате сверхтонкого взаимодействия происходит переключение триплетного и синглетного состояний; скорость перехода «триплет»→«синглет» тем больше, чем больше постоянная сверхтонкого взаимодействия, пропорциональная величине магнитного момента ядра-изотопа. Поскольку величина этой постоянной не одинакова для изотопов, обладающих различными ядерными магнитными моментами, скорость рекомбинации из триплетного состояния различна для различных магнитных изотопов.

Таким образом, за счет магнитного изотопного эффекта продукты рекомбинации обогащаются магнитными изотопами в целом, и, кроме того, обогащение происходит, в первую очередь, изотопами с большими значениями постоянной сверхтонкого взаимодействия.

Эффект исследовался

¹ Магнитные изотопы — ядра-изотопы с отличными от нуля магнитными моментами.

для изотопов ^{117}Sn и ^{119}Sn в реакции разложения триметилгидрида олова $(\text{CH}_3)_3\text{SnH}$ в присутствии азодизобутилонитрила, генерировавшего радикалы $[\text{Sn}(\text{CH}_3)_3]^\cdot$. Каждая радикальная пара либо рекомбинировала (А), давая стабильный продукт — триметилди-станнат $(\text{CH}_3)_3\text{SnSn}(\text{CH}_3)_3$, либо радикалы опять уходили в объем (Б). Суммарное содержание изотопов ^{117}Sn и ^{119}Sn составило 17,8% в случае А и 13,5% — в случае Б при исходном суммарном содержании этих изотопов в растворе ~16,2%. Изменяя содержание компонентов реакции, можно было повысить суммарное содержание магнитных изотопов до ~19%.

Эффект можно применять для разделения магнитных ядер-изомеров, т. е. долгоживущих возбужденных изотопов данного элемента, имеющих, как правило, различные спины.

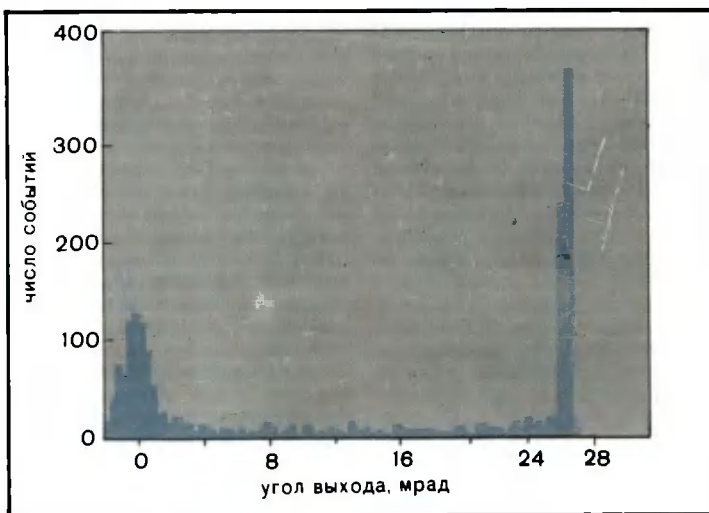
«Письма в ЖЭТФ», 1979, т. 29, вып. 7, с. 419.

Физика

Изогнутый кристалл может отклонять пучок заряженных частиц

В Объединенном институте ядерных исследований впервые экспериментально показано, что с помощью изогнутого монокристалла можно управлять траекториями заряженных частиц. Эксперимент выполнен интернациональной группой¹ спе-

¹ В работе принимали участие сотрудники ОИЯИ, Института ядерных исследований (Сверк, ПНР), Харьковского физико-технического научно-исследовательского института АН УССР, Научно-исследовательского института ядерной физики Томского политехнического института, Радиового института им. В. Г. Хлопина (Ленинград), Национальной ускорительной лаборатории им. Ферми (Батавия, США) и Университета штата Нью-Йорк (Олбани, США).



Угловое распределение частиц, участвующих в процессе каналирования, на выходе из кристалла, изогнутого на угол 26 мрад. При этом значении угла и наблюдается максимум в распределении частиц (пик справа), всего зарегистрировано 2225 событий. Левый пик соответствует частицам, не участвующим в процессе каналирования.

циалистов, возглавляемой Э. Н. Цыгановым. Еще в 1976 г. Цыганов высказал предположение², что в деформированных кристаллах траектории заряженных частиц, захваченных в процесс каналирования, повторяют геометрию изгиба кристаллографической плоскости. Предельный радиус кривизны, при котором еще можно удерживать частицы изогнутой кристаллической пластинкой, определяется выражением:

$$R = Mv^2/E_c Z_e,$$

где M — релятивистская масса частицы, v — ее скорость, Z_e — заряд частицы, E_c — значение напряженности усредненного электрического поля кристалла. Поскольку в реальных кристал-

лах $E_c \sim 10^{10}$ В/см, то способность кристаллов отклонять пучок заряженных частиц в несколько тысяч раз больше, чем у существующих в настоящее время магнитов.

Эксперимент проводился на пучке протонов с энергией 8 ГэВ синхрофазотрона Лаборатории высоких энергий ОИЯИ. Угловая расходимость пучка составляла $\pm 0,3$ мрад, его поперечный размер в месте расположения кристалла ~2 см. Для определения траектории частиц, падавших на кристаллическую мишень, использовались 20 дрейфовых камер³. Установка общей длиной 18 м работала в линии связи с ЭВМ. Пучок протонов проходил через монокристалл кремния длиной 20 мм, причем часть монокристалла могла подвергаться контролируемому изгибу по кристаллографической плоскости (111); длина изгибаемой части составляла 10 мм. Входная часть монокристалла представляла собой полупроводниковый детектор, идентифицирующий частицы по их ионизационным потерям.

Измерения проводились при углах изгиба кристалла в вертикальной плоскости: 0,0;

² Tsyganov E. N. Some aspects of the mechanism of a charged particle penetration through a monocrystal. — Preprint Fermilab TM-682, TM-684, Batavia, 1976.

³ О дрейфовых камерах см.: Хабашев А. Г. Многоканальные детекторы рентгеновского излучения. — «Природа», 1980, № 1.

0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,5; 12,5; 26,0 мрад ($\sim 1,5$ угловых градуса). Во всех случаях часть пучка, участвующая в процессе каналирования, отклонялась на тот же угол, причем количество частиц, выбывающих из режима каналирования, существенно не менялось с увеличением угла изгиба кристалла. В последнем случае (26 мрад) радиус траектории частицы составлял 38 см. Магнитное поле, с помощью которого можно добиться такого же эффекта, должно обладать индукцией 72 Т. (Используемые в настоящее время в ускорительной технике магнитные поля имеют напряженность около 2Т.)

Препринт ОИЯИ Д1-12716, 1979.

Физика

Растровый оптический микроскоп на основе полупроводникового лазера

Наиболее эффективны растровые оптические микроскопы с лазерными источниками излучения, так как чем выше яркость сканирующего луча, т. е. его интенсивность в единице телесного угла, тем больше информативные способности такого микроскопа. Известны растровые оптические микроскопы на основе газовых или твердотельных лазеров. Сканирование лазерного луча в них осуществляется как механически, так и с помощью внешних оптических дефлекторов. Основные недостатки таких методов сканирования — инерционность, ограничивающая предельную частоту развертки, или малые значения углов отклонения луча. Кроме того, весьма ограничен выбор длин волн излучения, что сужает круг исследуемых объектов.

Во Всесоюзном научно-исследовательском институте метрологической службы Госстандарта СССР создан растровый оптический микроскоп, в котором источником оптического излучения служит полупроводниковый лазер на основе CdS с электронным возбуждением. По принципу работы он аналогичен растровому оп-

тическому микроскопу на основе электронно-лучевой трубки, в котором сфокусированный электронный луч сканирует по покрытому люминофором экрану трубки, а возникающее световое пятно проецируется с помощью оптической системы на объект. В таком лазерном микроскопе вместо люминофора применен полупроводниковый кристалл, в котором под действием электронного пучка генерируется монохроматический свет. Замена люминофора полупроводниковым кристаллом дает большой выигрыш в яркости, направленности и когерентности излучения, существенно увеличивает скорость сканирования луча и заметно облегчает достижение предельного разрешения микроскопа.

Разрешающая способность составляет около 1 мкм. В экспериментах использовался как стандартный телевизионный растр (625 строк), так и более медленная развертка. Размеры растра на полупроводниковом кристалле могут быть сделаны достаточно малыми (площадь в несколько квадратных миллиметров), поэтому, используя проекционный объектив с уменьшением всего в 10—15 раз, можно достичь увеличения более 1000, причем диапазон увеличений от 100 до 1000 можно перекрыть без замены объектива, управляя лишь параметрами электронного пучка.

Описанный растровый оптический микроскоп на основе полупроводникового лазера позволяет исследовать структуру самого лазерного кристалла, проводить отбор наиболее совершенных кристаллов и контролировать качество зеркальных покрытий, образующих плоский резонатор лазера. Кроме того, модулируя ток пучка электронов, можно обеспечить модуляцию интенсивности светового луча в диапазоне частот вплоть до гигагерц. Поэтому такой микроскоп сможет работать в стробоскопическом режиме и позволит исследовать временные параметры переходных процессов в микрообъектах.

«Квантовая электроника», 1979, т. 6, № 7, с. 1525—1528.

Физика

Ударные волны в сжатом ядерном веществе

Ф. Сименс и Дж. Расмуссен (Лоуренсовская лаборатория, Беркли, США), используя экспериментальные данные по взаимодействию ядер неона с энергией 0,8 ГэВ/нуклон (в лабораторной системе) с мишенью из NaF, оценили скорость распространения ударной волны в ядерном веществе. При центральном столкновении тяжелых ядер высоких энергий образуются так называемые огненные шары, состоящие из плотной ядерной материи. В дальнейшем каждый огненный шар взрывается, образуя ударную волну из нуклонов и пионов. Как показали Сименс и Расмуссен, энергия такой ударной волны составляет примерно половину энергии соударения. Другая половина энергии переходит в энергию теплового движения образующихся при взрыве частиц.

Авторы предлагают использовать такое разделение энергии соударения на волновое и хаотическое движение ядерных частиц для определения свойств сверхплотной ядерной материи.

«Physical Review Letters», 1979, v. 42, № 14, p. 880—883 (США).

Физика

Сверхпроводимость поваренной соли

В Институте физики высоких давлений АН СССР впервые получено сверхпроводящее состояние поваренной соли (NaCl). Перевод NaCl в проводящее¹, а затем в сверхпроводящее состояние выпонен путем сжатия слоя NaCl толщиной $\sim 0,1$ мм между пуансонами

¹Металлическое состояние NaCl получено в том же институте в 1974 г. «Письма в ЖЭТФ», 1974, т. 20, с. 540.

винтового пресса. Применявшаяся методика не позволяла измерять давление в камере сжатия; по мнению авторов работы, необходимое для сверхпроводимости NaCl давление должно быть ~ 400 кбар. Сверхпроводящая модификация возникла при температуре ~ 7 К, электрическом токе через образец ~ 500 мкА и внешнем магнитном поле ~ 24 кЭ. Температурная ширина сверхпроводящего перехода составила ~ 5 К.

«Письма в ЖЭТФ», 1979, т. 29, вып. 8, с. 460.

Молекулярная биология

Преждевременное старение клеток, взятых от больных муковисцидозом

Клетки, культивируемые вне организма на искусственных питательных средах, сохраняют свойства того организма, от которого они взяты. Эти свойства определяют наследственной информацией, содержащейся в клеточном ядре. Для успешного культивирования клеток имеет значение возраст организма, от которого они получены: чем моложе организм, тем более продолжительное время клетки сохраняют способность размножаться в условиях культуры ткани.

Как показали исследования сотрудников Университета Миннесоты (США), фибробласты (клетки соединительной ткани) кожи, взятые от больных муковисцидозом и культивируемые в стандартных условиях, сохраняют нормальную способность к размножению лишь в течение 13 последовательных делений. Затем они начинают делиться медленнее, чем клетки контрольной культуры, и через 6 недель вообще прекращают делиться. Контрольные культуры, взятые от нормальных людей того же возраста, что и больные, продолжали размножаться в течение 27 клеточных поколений.

Муковисцидоз — наследственное заболевание, заключающееся в нарушении функции секреторных клеток ряда желез: поджелудочной, слю-

нных и потовых желез, бронхиальной системы, желчного пузыря. Фибробласты кожи не имеют никакого отношения к процессам секреции, однако патологический ген муковисцидоза, имеющийся в ядре фибробласта, очевидно, обладает и более широким диапазоном влияния, ограничивая способность клеток к размножению и имитируя их возрастные изменения.

«Science», 1979, v. 203, № 4386, p. 1251—1252 (США).

Молекулярная биология

Определение мутагенной опасности для клеток плода

Весьма возможно, что при химическом загрязнении окружающей среды существует опасность вредного воздействия на наследственные структуры человека. Причем считается, что наибольший вред химические загрязнители приносят клеткам развивающегося плода. Однако химические вещества могут проявлять общетоксическое воздействие на клетку, не затрагивая генетического аппарата.

В экспериментах, проведенных в Национальном институте здоровья (Балтимор, США) группа исследователей во главе с Д. Крамом попыталась установить степень мутагенной опасности для клеток плода. Беременным мышам вводили внутривенно циклофосфамид и митомицин — вещества, обладающие как мутагенной активностью, так и тератогенной¹ способностью. После введения этих соединений у беременных животных в клетках костного мозга наблюдалось повышение частоты сестринских хроматидных обменов хромосом, что говорит о мутагенном воздействии введенных веществ на организм матери.

¹Тератогенами называются вещества, вызывающие нарушения внутриутробного развития плода и приводящие к врожденным уродствам.

Увеличение этой частоты наблюдалось также и в клетках плода, извлеченного из матки беременной мыши. Когда же беременным мышам вводили мутаген адриамицин — вещество, не обладающее тератогенным эффектом, отмечалось лишь учащение сестринских хроматидных обменов в клетках матери, но не наблюдалось у плода. По-видимому, плацента представляла собой достаточный барьер, надежно защищающий плод от мутагенного воздействия адриамицина.

Довольно продолжительное время в акушерской практике используется пренатальная диагностика плода, при которой берут образец околоплодной жидкости, содержащей достаточное для генетического анализа количество клеток развивающегося плода. Если обнаруживаются серьезные нарушения хромосом, беременность можно прервать. До сих пор этот метод не применялся для изучения мутагенной опасности для клеток плода.

«Nature», 1979, v. 279, № 5713, p. 531 (Великобритания).

Биохимия

Исследуется фенилкетонурия

Дж. Ласала и К. Косчия (кафедра биохимии Сент-Луисского университета, США) обнаружили в моче больных фенилкетонурией и крови крыс с экспериментальной гиперфенилаланинемией значительные количества дезоксинорлауданозолинкарбоксимой кислоты (ДНЛКК). Фенилкетонурия — наследственное нарушение аминокислотного обмена, характеризующееся накоплением в организме аминокислоты фенилаланина и продуктов его метаболизма (фенилпропионовой, фенилуксусной и фенилмолочной кислот и т. д.). Заболевание обусловлено врожденной недостаточностью печеночного фермента фениланингидроксилазы, превращающей фенила-

ланин в тирозин. При заболевании не наблюдается серьезных нарушений физического развития ребенка, однако его умственное развитие резко замедлено. Причины — в глубоком нарушении структур головного мозга, особенно коры и мозжечка. В частности, в них снижается уровень нейромедиаторов — агентов, осуществляющих передачу нервного возбуждения и торможения. Механизм поражения мозга при фенилкетонурии неясен. Предполагается, что сам фенилаланин или какое-то другое вещество из тех, что присутствуют в тканях организма в повышенной концентрации, может ингибировать некоторые ферментные системы или блокировать определенные процессы транспорта и изменять внутриклеточную среду в тканях мозга таким образом, что нормальные биохимические процессы в нем нарушаются.

ДНЛКК, обнаруженная американскими биохимиками в мозге больных фенилкетонурией, является продуктом взаимодействия одного из нейромедиаторов — дофамина — и фенилпировиноградной кислоты, метаболита фенилаланина, образующегося в избытке при фенилкетонурии. Меченная тритием ДНЛКК после внутривенного введения животным прочно связывается с мозговой тканью, что свидетельствует об особом сродстве этого соединения. ДНЛКК представляет собой ингибитор дофамин β -гидроксилазы и препятствует образованию дофамина и таких медиаторов, как норадреналин и серотонин. Снижение уровня медиаторов не может не отразиться на функциональных возможностях мозга больных.

«Science», 1979, v. 203, № 4377, p. 283—284 (США).

Медицина

Ацетальдегид не является нейротоксическим агентом

После приема алкоголя развивается последовательное

возбуждение, а также угнетение центральной нервной системы. Соответственно на электроэнцефалограмме (ЭЭГ), отведенной от коры мозга человека, после приема алкоголя наблюдается вначале картина активации, а затем синхронизации колебаний (как во сне). Известно также, что этиловый спирт при окислении в организме образует ряд метаболитов, в том числе и ацетальдегид. При внутривенном однократном введении этого вещества крысам наблюдаются изменения ЭЭГ, аналогичные тем, которые бывают у них после введения алкоголя; при малых дозах ацетальдегида наблюдается активация ЭЭГ, при больших дозах — активация, а затем — синхронизация.

Поэтому долгое время считали, что нейротоксическое действие алкоголя обуславливается действием ацетальдегида. Однако эксперименты Дж. Микешки и У. Клемма (кафедра биологии Университета штата Техас, США) опровергают это предположение. Ацетальдегид вводили крысам внутривенно путем длительной инфузии для имитации накопления «метаболического» ацетальдегида, т. е. продукта окисления спирта. На ЭЭГ животных наблюдалась только синхронизация, да и то лишь при введении высоких доз ацетальдегида. При введении низких доз ЭЭГ не менялась, хотя концентрация метаболита в крови была такой же или даже большей, чем при алкогольной интоксикации животных.

Таким образом, по-видимому, ацетальдегид сам по себе не способен вызывать такие же функциональные изменения центральной нервной системы, как алкоголь.

«Science», 1979, v. 203, № 4377, p. 276—278 (США).

Физиология растений

Причины гибели клеток при замораживании

До недавнего времени считалось, что главная причи-

на повреждения клеток при замораживании — образование в них льда. Однако сейчас установлено, что существует и другой механизм повреждения, связанный с осмотическим сжатием протопластов при охлаждении и последующим их расширением при оттаивании.

Американские исследователи А. Тоул и П. Мазур¹ очень медленно замораживали культивируемые в суспензии клетки клена и травянистого растения гаглопаппус, снижая температуру со скоростью 0,1° С/мин, чтобы вода успевала выходить из клеток и затем замерзать. Таким образом, образование льда внутри клеток было исключено. Тем не менее клетки гибли даже при небольших отрицательных температурах, причем гибель была одинаковой как в питательной среде, так и в дистиллированной воде. Следовательно, она не была вызвана токсическим действием солей и других веществ, концентрация которых в растворе повышается при его частичном замерзании. Вместо этого оказалось, что существует хорошая корреляция между выживаемостью клеток при замораживании (до определенных температур) и их выживаемостью (без охлаждения) в растворах, чье осмотическое давление равно повышенному давлению частично замерзших растворов².

Эти данные обратили внимание на значение «осмотического стресса», но наиболее четкие доказательства его роли при замораживании были получены в работах С. Виста и П. Степонкуса (Корнеллский университет, США)³. Использо-

¹To will L. E., Mazur P. «Plant Physiol.», 1976, v. 57, p. 290—296.

²Осмотическое давление зависит от концентрации частиц всех растворенных веществ и при наличии полупроницаемой мембраны вызывает движение воды через эту мембрану в сторону большей концентрации.

³Wiest S. C., Steponkus P. L. «Plant Physiol.», 1978, v. 62, p. 699—705.

зовались изолированные протопласты из листьев шпината, что позволило провести точные измерения их объема и площади поверхности, поскольку такие протопласты имеют правильную сферическую форму. Измерения были проведены как при замораживании, так и при действии гипертонических растворов. В одной из серий опытов протопласты сжимались до различной степени в соответствующем растворе, а затем раствор разбавляли. Протопласты гибли, причем гибель наступала при разной концентрации солей в растворе в зависимости от степени предварительного сжатия. Главную роль играло абсолютное увеличение поверхности. Независимо от степени сжатия 50%-ная гибель наступала при увеличении площади поверхности на 900 мкм². Принимая во внимание также последние результаты, полученные Г. Мериманом и др.⁴ при электронно-микроскопических и других наблюдениях, можно предполагать, что при сжатии протопласта полупроницаемая мембрана необратимо утрачивает часть своего материала. Поэтому при последующем расширении протопласта как при оттаивании, так и при разбавлении гипертонических растворов полупроницаемая мембрана разрушается после превышения предела ее растяжения и клетка гибнет. В то же время особо морозостойкие растения, как например озимая пшеница сорта «Харьков», с которой работала группа Меримана, по-видимому, развили механизм, обеспечивающий обратное встраивание материала мембраны и ее эффективное восстановление даже при значительном сокращении.

Таким образом, если клетки при замораживании — оттаивании не гибнут в результате образования льда, они могут погибнуть из-за обезвоживания и чрезмерного осмотического стресса. Становится понятным, почему глубокое ох-

лаждение клеток растений наталкивается на значительные трудности по сравнению с клетками животных. Дело, очевидно, в самой специфике соматических клеток растений, характеризующихся большими размерами и обилием воды. В такой ситуации значение осмотического стресса, естественно, возрастает, тем более, что одновременно нужно уменьшить объем образующегося льда, т. е. необходима дегидратация.

Среди механизмов, обеспечивающих естественную устойчивость к морозам зимостойких растений и некоторых животных, первостепенное значение имеет накопление в их клетках и тканях в осенний период природных криопротекторов — веществ, ослабляющих повреждения клеток при замораживании. Приведенные данные еще раз обращают внимание на роль криопротекторов, не только уменьшающих повреждение в результате образования льда, но и снижающих размеры осмотического стресса⁵. Необходим поиск новых легкопроникающих, нетоксичных и стабилизирующих мембраны криопротекторов, ибо только они могут ослабить осмотические повреждения, кроме того необходимо использовать смеси криопротекторов. Некоторые положительные результаты в этом направлении уже имеются⁶.

А. С. Попов,
кандидат биологических наук
Москва

Зоология

Обоняние у птиц

До сих пор считалось, что у птиц, обладающих, как правило, отличным зрением

и слухом, весьма слабо развиты обоняние и вкус. И действительно, отвечающий за обоняние участок мозга у них невелик, а опыты, поставленные, например, со снегирями, показали, что дурные запахи их не отпугивают.

Недавно Дж. К. Снайдер и Т. Т. Питерсон (Университет штата Колорадо, США) провели эксперименты с сороками (*Pica pica*) и голубями (*Columba livia*), которые, как полагали, отличаются совсем слабым обонянием.

Аппетит сорок возбуждали запахом тухлого мяса (падаль, как известно, составляет существенную часть их корма), и они охотно реагировали на этот запах, тогда как голуби его игнорировали. Затем экспериментаторы заменили падаль этанзтиолом — химическим веществом, частично ответственным за запах разлагающегося мяса, что сделало опыт более строгим. Сороки продолжали активно реагировать и на него, а голуби реагировали лишь при высоких концентрациях.

Надо полагать на основе этих опытов, что обонятельный аппарат у птиц не столь уж слаб, однако проявляет он себя лишь в определенных условиях.

«Comparative Biochemistry and Physiology», 1979, v. 62 A, p. 921 (США).

Зоология

Животные приспосабливаются к яду

Д. Р. Кинг, А. Дж. Оливер и Р. Дж. Мид (Университет штата Западная Австралия) установили, что одна из популяций крысы *Rattus fuscipes*, живущая в кустарниковых зарослях штата Западная Австралия, обладает уникальной способностью: она переносит в 30 раз большую дозу яда (монофторацетат натрия) по сравнению с той, что достаточна для гибели половины особей этого же вида, населяющих другие районы страны. Этот яд высокотоксичен и широко применяется в Австралии

⁴Merymann H. T., Williams R. J., Douglas M. S. «Cryobiology», 1977, v. 14, N 3, p. 287—302.

⁵Бутенко Р. Г., Попов А. С. — «Природа», 1979, № 4, с. 2.

⁶Withers L. A. «Plant Physiol.», 1979, v. 63, N 3, p. 460—467; Sala F., Cella R., Rollo F. «Physiologia plantarum», 1979, v. 45, N 1, p. 170—176.

против грызунов. Оказалось, что в организме крысы осуществляется дефторирование попавшего в него вещества, и поэтому процесса накопления яда не происходит.

Аналогичная способность открыта и у *Trichosurus vulpecula* (лисий кузу), также обитающего в Западной Австралии.

Дальнейшие наблюдения с участием экологов и специалистов по физиологии растений показали, что в районе распространения этих животных встречаются некоторые виды растений, которые очень сочны и содержат много питательных веществ, однако наряду с этим в них обнаружены такие количества фторацетата, которые, казалось, должны быть смертельными для любого травоядного небольших размеров. И все же представители местных популяций кустарниковой крысы и лисьего кузу настолько сумели приспособиться к этому яду, что указанные растения составляют до 10% их пищи, не принося никакого вреда.

«Australian Journal of Zoology», 1979, т. 26, № 696, р. 17 (Австралия).

Охрана природы

Моржи на островах Земли Франца-Иосифа

Летом 1979 г. группа биологов Северного отделения Полярного института рыбного хозяйства и океанографии

(ПИНРО) обследовала места летне-осеннего нагула гренландского тюленя в районе архипелага Земли Франца-Иосифа. 13 августа около о-ва Нортбрук, в заливе Гунтера, были обнаружены на воде 10 групп моржей (*Odobenus rosmarus*); каждая группа включала от 2 до 11 особей (подсчитывались животные, одновременно находившиеся на поверхности воды). На берегу большой мелкой лагуны, отделенной от залива Гунтера высокой каменистой грядой с нешироким проходом, обнаружено лежбище, на котором мы насчитали 44 моржа; рядом с лежбищем и севернее в заливе спокойно плавали еще несколько животных. Сам факт встречи этого вида, включенного в «Красную Книгу СССР»¹, — очень отрадный и обнадеживающий, поскольку на протяжении многих лет подобных сведений с островов Земли Франца-Иосифа не поступало.

Когда мы подошли вплотную к лежбищу, моржи, спокойно отойдя в воду на 2—3 м, дружно повернули головы к берегу: все животные проявляли удивительное миролюбие и явное любопытство. Они подпускали человека буквально на расстояние вытянутой руки, плавали возле самого катера. По-видимому, животные уже давно не встречались с человеком и не чув-

ствовали в его присутствии никакой опасности. Среди моржей выделялись несколько старых крупных самцов (шишкарей), основную же массу составляли животные обычных средних размеров. Отмечено несколько детенышей, державшихся на воде в окружении взрослых. Интересно, что даже у крупных особей клыки сравнительно небольшие.

В сентябре 1979 г. мы вновь обследовали лежбище на о-ве Нортбрук и насчитали уже 300 животных. Очевидно, это лежбище, расположенное в лагуне с пологими чистыми песчаными берегами, следует считать одним из наиболее старых, больших и к тому же известных в прошлом (литературные источники говорят о том, что именно на этом острове — на м. Флора — размещались базы многих экспедиций, запасавшихся в необходимом количестве жиром и мясом, причем указывается, что добывали именно моржей²).

Надо отметить, что многие острова архипелага Земли Франца-Иосифа для моржей явно не подходят: слишком крутые берега, отсутствие террас, крупные валуны на береговой полосе, очень ча-

² Земля Франца-Иосифа. — Сб. «Тр. Ин-та по изучению Севера». 1930, вып. 47.

Моржи в лагуне о-ва Нортбрук (архипелаг Земли Франца-Иосифа).



¹ Красная Книга СССР, М., 1978.

сто отвесными стенами прямо в воду спускаются ледники. Тем не менее еще три лежбища нам удалось обнаружить в зал. Аспирантов (о-в Земля Георга); несколько моржей мы насчитали на лежбище о-ва Гемскерк (северная часть Новой Земли), а еще два — на льду (координаты $77^{\circ}40'$ с. ш. и $66^{\circ}30'$ в. д.). Эти факты, однако, несколько не уменьшают озабоченности за будущее атлантической популяции моржа. Очевидно, имеет смысл специально обследовать весь архипелаг по части моржей, а лежбище на о-ве Нортбрук, где можно проводить различные детальные исследования, взять под особое наблюдение.

Ю. И. Назаренко,
кандидат биологических наук
Архангельск

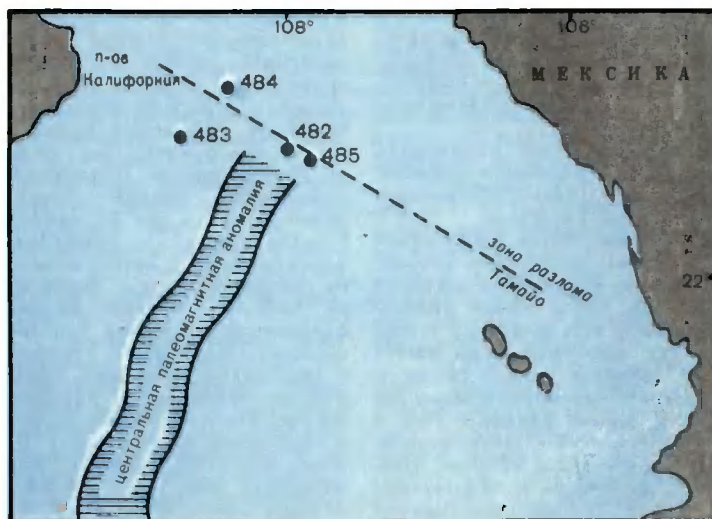


Схема расположения буровых скважин [цифры с точками] в 65-м рейсе «Гломара Челленджера». Центральная палеомагнитная аномалия проходит по Восточно-Тихоокеанскому поднятию.

Геология

65-й рейс «Гломара Челленджера»

В соответствии с Проектом глубоководного океанического бурения (Deep Sea Drilling Project) американское буровое судно «Гломар Челленджер» с 24 января по 12 марта 1979 г. вело буровые работы в Калифорнийском заливе¹. Научное руководство экспедицией осуществляли П. Робинсон (Университет штата Калифорния в Риверсайде) и Б. Льюис (Университет штата Вашингтон в Сиэтле); помимо американцев, на борту судна работали специалисты из Англии, Мексики, Франции, ФРГ; представителем СССР был автор этого сообщения.

Научная программа рейса предусматривала бурение серии скважин на продолжении Восточно-Тихоокеанского поднятия, уходящего в Калифорнийский залив и уступообразно смещенного по нескольким трансформным разломам субширотного простирания. Прежде всего буре-

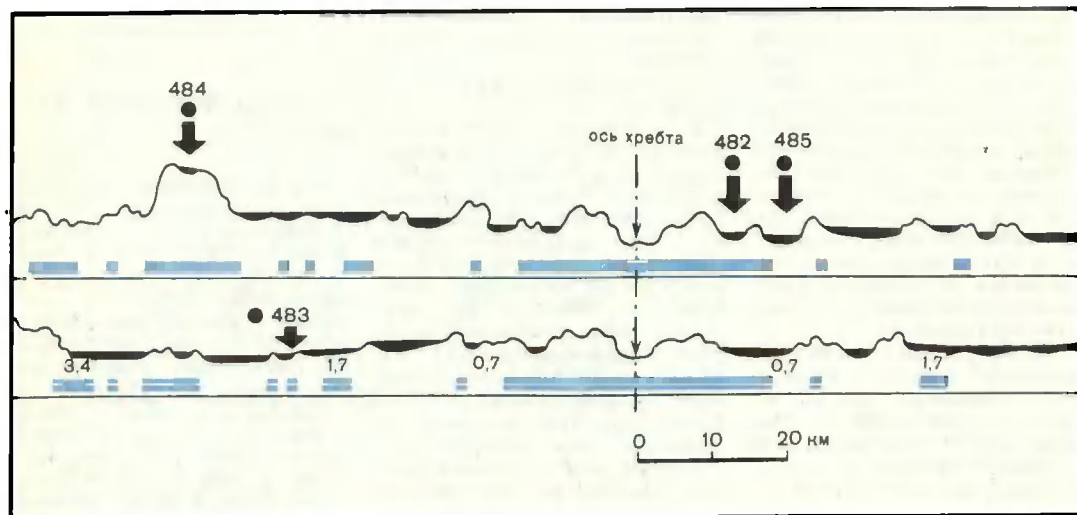
Характеристика скважин

Номер скважины	Глубина океана, м	Глубина скважины, м	Глубина проникновения в осадки, м	Глубина проникновения в базальты, м	Выход керна, %
482	2998	57,0	57,0	—	99
482A	2998	44,0	44,0	—	76
482B	2998	299,0	137,0	92,0	54
482C	2998	184,0	137,0	47,0	70
482D	3008	186,5	137,0	49,5	56
482E	3008	48,5	—	—	0
482F	3008	145,0	137,0	8,0	41
483	3070	204,5	107,0	97,5	54
483A	3070	60,0	60,0	—	0
483B	3070	267,0	150,0	117,0	52
483C	3070	114,0	107,0	7,0	70
484	2891	5,0	5,0	—	100
484A	2883	62,0	55,5	6,5	67
485	2981	50,5	50,5	—	73
485A	2981	331,0	153,0	178	49

ние предполагалось в осевой части поднятия — самой молодой по возрасту. Основная задача экспедиции — получить образцы горных пород, которые позволили бы воссоздать геологическую историю формирования океанической коры. Для этой цели был выбран профиль, в районе которого развиты молодые вулканические породы возрастом около 0,5 млн лет (по палеомагнит-

ным данным), перекрытые маломощным чехлом осадочных пород, однако толщиной не менее 80—100 м, ибо отсутствие осадков или слишком малая их мощность не позволяют при бурении в вулканических породах создать необходимое давление на инструмент в забое скважины. Две следующие задачи — бурение глубокой скважины с повторным входением в целях про-

¹ «Geotimes», 1979, v. 24, No 8, p. 1618.



Сейсмические профили районов бурения на Восточно-Тихоокеанском поднятии. Черным цветом показаны осадочные породы, лежащие на основании океанического дна; цветом — палеомагнитные аномалии; цифрами обозначен возраст пород в млн лет, определенный по палеомагнитным данным.

ведения геофизических экспериментов (различного рода карротажных работ, в том числе магнитного карротажа) и бурение в районе магнитной аномалии, предварительно интерпретированной как небольшой мантийный диапир², — выполнить не удалось из-за технических трудностей.

На выбранном профиле всего пробурено 15 скважин, характеристика которых приведена в таблице. Благодаря прекрасному оснащению судна различным оборудованием на корабле было изготовлено и описано 350 прозрачных шлифов, 500 препаратов осадочных пород, выполнено 183 полных силикатных химических анализа и ряда редких элементов, опреде-

лены физические свойства всех поднятых на борт горных пород и проведены другие исследования. Это позволило уточнить геологическое строение верхней части молодой океанической коры в Калифорнийском заливе.

В осевой части Восточно-Тихоокеанского поднятия существуют приподнятые участки дна, совершенно не закрытые осадочными породами; они сложены подушечно-базальтовыми лавами, сформировавшимися при подводных излияниях. В пониженных участках дна базальтовые лавы перекрыты осадками, как правило, небольшой мощности — от 110 до 153 м. Это в основном глинистый материал, отложившийся хотя и в глубоких частях океана, но на незначительном удалении от континента и потому включающий мелкие обломки минералов, сношенных с континента, а также карбонатные и силикатные остатки микроорганизмов. Осадочные породы встречаются также в верхней части второго слоя океанической коры в виде небольших прослоев, перемежающихся с базальтами (в некоторых скважинах осадочные породы составляют до 40% объема). Судя по характеру текстуры и составу, образование этих осадков в ряде случаев связано с подводными суспензионными потоками.

Все осадки имеют четвертичный возраст. Интересно, что возраст нижних частей осадочного чехла, определенный палеонтологическим методом, оказался во всех случаях ненамного меньше возраста подстилающих базальтов, датированных по палеомагнитным данным (в районе скв. 482, например, возраст нижней части осадков 0,25—0,4 млн лет, а базальтов — 0,5 млн лет; в районе скв. 483 — соответственно 1,51—1,65 млн лет и несколько более 1,7 млн лет). Это говорит об очень высокой скорости накопления осадков (60 м/1 млн лет в районе скв. 483, что на порядок выше средней скорости накопления пелагических глин, а в районе скв. 485 — около 625 м/1 млн лет, что на два порядка выше).

Базальтовый слой, лежащий под осадками, характеризуется чередованием вулканических пород, представленных подушечными лавами и массивными базальтами, и осадочных пород. Большая часть базальтов сложена порфировыми разновидностями с различным соотношением вкрапленников плагиоклаза, оливина и клинопироксена. По химическому составу эти базальты относятся к глубоководному толито-вому типу. Они обогащены FeO, TiO₂, P₂O₅ и содержат несколько пониженные концентрации MgO и K₂O по сравне-

² Геологически обособленное тело, предположительно сложное глубинными мантийными породами ультраосновного состава и поднятое к поверхности дна океана за счет тектонических процессов.

нию со средним составом океанического глубоководного толита. Такая специфика химизма базальтов вообще свойственна Восточно-Тихоокеанскому поднятию. В целом базальты отличаются малой пористостью, что свидетельствует либо о большой глубине океана в месте излияния магмы, либо о низкой насыщенности магмы газом. Вторичные изменения в базальтах слабо проявлены и относятся к низкотемпературным.

Осевая часть хребта на отдельных участках характеризуется высоким уровнем теплового потока (следствие гидротермальной разгрузки); в то же время вторичные изменения в базальтах (карбонатизация, образование смектита, сульфидов) не приводят к сколь-нибудь заметному увеличению содержания калия.

Исследованный район, как можно заключить из полученных данных, отличается относительно низкой скоростью расширения океанического дна.

Б. П. Золотарев,
кандидат геолого-минералогических наук
Москва

Геология

Геологическая карта Кавказа

Советские геологи составили среднемасштабную геологическую карту, охватывающую горы Малого и Большого Кавказа, Закавказские межгорные впадины и Предкавказскую равнину¹. Эта карта, состоящая из девяти листов, отличается большой детализацией строения геологических объектов, тщательностью проработки контуров

геологических комплексов, особенно в области горных хребтов.

На карте отражены различные по возрасту и составу магматические интрузивные породы, играющие существенную роль в строении Большого и Малого Кавказа. Выделены субвулканические образования и дайки² основного состава среднеюрского возраста. Показан состав вулканитов. Представлены генетические типы четвертичных отложений (морские, озерные, золовые и т. д.), сплошным чехлом перекрывающие Предкавказскую равнину. Легко читаются тектонические границы горных пород — расчлененные ими кавказские горные массивы выглядят словно опоясанные густой тонкой паутиной. На карте отражены также шлаковые конусы, грязевые вулканы, ледники.

На специальной врезке меньшего масштаба приведена геологическая карта Предкавказья и прилегающих районов со снятыми юрскими и более молодыми отложениями платформенного чехла. На ней показано распространение пород, большая часть которых представляет собой фундамент Скифской плиты.

Новая карта прекрасно отражает сложную складчато-разрывную структуру Большого и Малого Кавказа и, напротив, очень простой характер залегания пород в Закавказских межгорных впадинах и особенно на Предкавказской равнине (слагающие ее четвертичные отложения расположены практически горизонтально). Обобщая современные знания о геологическом строении Кавказа, карта служит хорошим ориентиром в поисках разного вида минерального сырья.

А. Е. Шлезингер,
доктор геолого-минералогических наук

Москва

Геология

Разломы Восточной Камчатки

М. В. Воробьев (Сахалинский комплексный научно-исследовательский институт ДВНЦ АН СССР) и А. А. Таракановский (Институт вулканологии ДВНЦ АН СССР) с помощью карты аномального магнитного поля, построенной по результатам гидромагнитных съемок в 1968—1978 гг., воссоздали в общих чертах особенности геологической структуры вблизи п-ова Камчатка, в зоне перехода материк — океан, давно привлекающей геологов и геофизиков.

Установлено, что подводная возвышенность Обручева имеет блоковое строение. Линеаменты, или разломы, которые можно отождествить с границами блоков земной коры (с ними совпадают аномалии магнитного поля), простираются на северо-запад и протягиваются в пределы Курило-Камчатского желоба и континентального склона. Блоковое строение имеет и сам полуостров (об этом свидетельствуют гравиметрические и сейсмические данные). Разломы, отделяющие блоки друг от друга, простираются здесь на северо-восток и в большинстве случаев проходят сквозь всю земную кору.

Особый характер имеют разломы широтного направления. Они пересекают Камчатку, ее континентальный склон, Курило-Камчатский желоб и входят в пределы возвышенности Обручева. Возможно, именно с этими зонами связаны наиболее сильные землетрясения, зарегистрированные восточнее Камчатки.

Таким образом, несмотря на различную ориентацию структурных элементов Восточной Камчатки и дна прилегающей части Тихого океана, для них характерна сходная блоковая структура земной коры и общая система широтных разломов. Район делится этими разломами на ряд широтных полос,

¹Геологическая карта Кавказа. Гл. ред. Д. В. Наливкин. Масштаб 1:500 000. М., «Аэрогеология», 1978.

²Дайки — стенообразные магматические тела, внедрившиеся в вертикальные или наклонные трещины в земной коре.

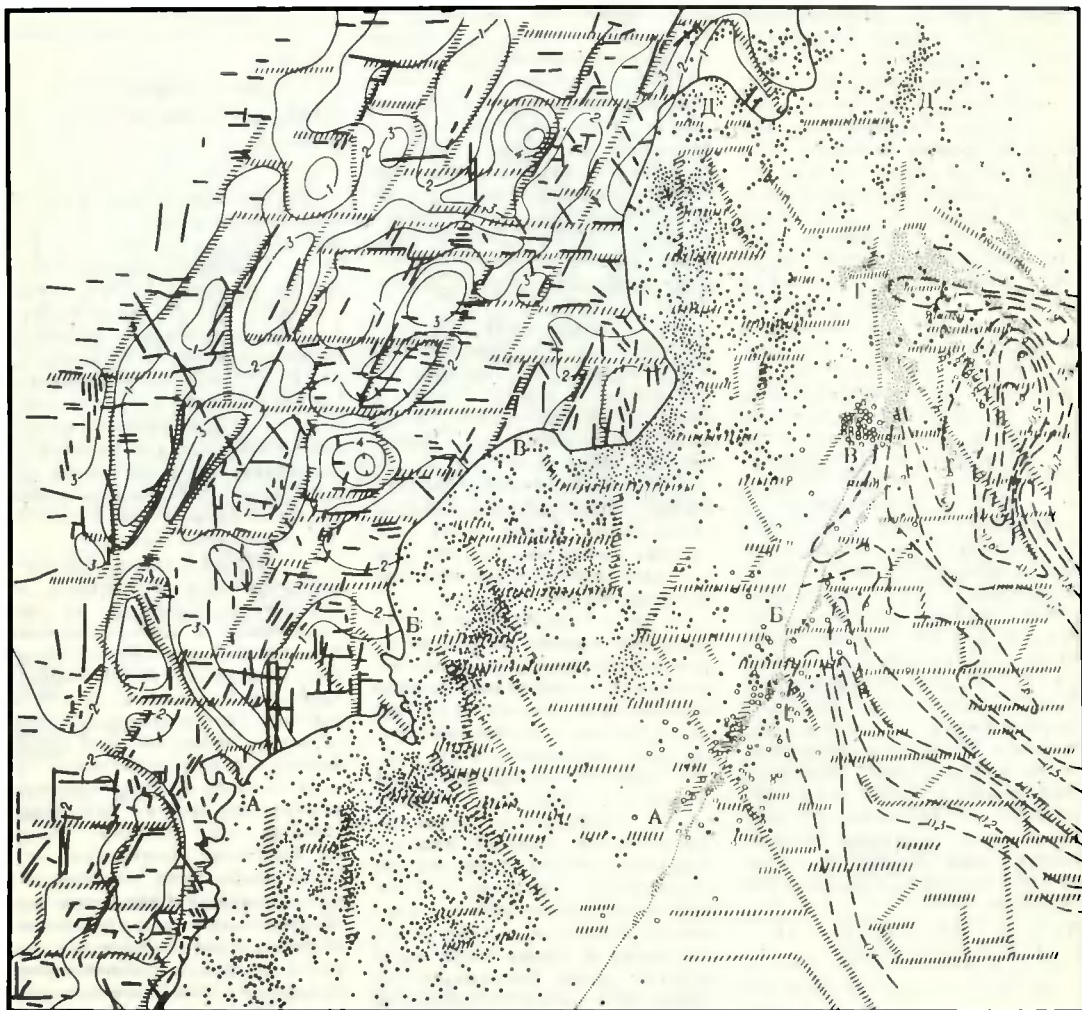


Схема разломов Восточной Камчатки и дна прилегающей части Тихого океана.

основные разломы (по геофизическим данным)

изогипсы мелового фундамента (по гравиметрическим данным)

разломы (по геологическим данным)

изопакеты [в условных единицах пробега сейсмических волн]

эпицентры землетрясений
[а — за 1973—1976 гг.,
б — за 1966—1972 гг.]

максимальные глубины глубоководных желобов

основные зоны разломов

которые, согласно некоторым геологическим данным, перемещаются друг относительно друга.

«Доклады АН СССР», 1979, т. 245, № 5. с. 1188—1191.

Физика атмосферы

Озон и парниковый эффект

Научные сотрудники Метеорологической службы Великобритании К. Гроувз и А. Так усовершенствовали математическую модель атмосферы, включив в нее данные о влиянии двуокиси углерода и связанных с ним температурных эффектов на ход 35 различных фотохимических реакций, поддерживающих баланс озона в тропосфере.

Как известно, поступающая в атмосферу двуокись углерода создает парниковый

эффект, препятствующий отводу тепла от поверхности земли. Лишенные этого источника тепла более высокие слои атмосферы, естественно, охлаждаются. Установлено, что незначительное снижение температуры в стратосфере нарушает фотохимический баланс таким образом, что в итоге способствует сохранению озона. В результате легко уязвимый слой озона, которому угрожает растущий выброс в воздушное пространство фторуглеродов, получает определенную возможность сохраняться и возобновляться.

Гроувз и Так определили, что если даже поступление в атмосферу фторуглеродов сохранится на уровне 1975 г., то к 2020 г. количество озона уменьшится лишь на 8,6%. До сих пор — без учета влияния двуокиси углерода — предполагалось, что сокращение озона может достичь 15—20%. С другой стороны, даже такое незначительное уменьшение общей концентрации озона может сопровождаться существенным смещением главного слоя сосредоточения озона в воздушном пространстве Земли, а также изменением всей его вертикальной температурной структуры. Специалистам пока неясно, к каким климатическим изменениям это приведет.

«Nature», 1979, v. 83, № 1163, p. 87 (Великобритания).

Геотектоника

Рождение нового океанического бассейна

На земном шаре известно не так много районов, где предполагаемое в соответствии с новой глобальной тектоникой раздвижение континентов и образование нового океанического бассейна не скрыто на морском дне, а может наблюдаться на поверхности. Это относится, например, к окаймленному рифтовыми структурами Афарскому¹ треугольнику, который расположен в Африке, на побережье Баб-эль-Мандеб-

ского пролива и Аденского залива. В геоморфологическом и структурном отношении этот район представляет собой полное подобие дна Красного моря. Недавно наблюдение сейсмических, вулканических и геохимических процессов, происходящих в Афарском треугольнике, провели П. Аллар, Г. Тазев и Д. Дайлевич (Центр изучения слабой радиоактивности, Иветт, Франция).

С ноября 1978 г. в этом районе, где, как предполагается, происходит отделение Аравийской плиты земной коры от Африканской, было зарегистрировано более 800 землетрясений; почти все они происходили в крайней южной части Афара. Здесь обнаружено более двух десятков разломов земной коры, направленных параллельно разлому Красного моря.

7—14 ноября 1978 г. в пределах одного из разломов произошло вулканическое извержение, сопровождавшееся выделением лавы и газов. Французским специалистам удалось наблюдать этот редкий случай извержения из трещины, полностью аналогичный подводным извержениям, но не скрытый водным покровом. Извержение носило взрывчатый характер. Хотя оно происходило вблизи морского побережья, в выброшенных газах и магне было мало воды и хлора. Высококристаллическая магма содержала относительно мало газов (3% объема). На основании этих данных специалисты делают вывод, что магматический резервуар представлял собой узкую закрытую систему, лежащую близко к поверхности.

Процессы предполагаемого превращения Красного моря в океанический бассейн продолжают привлекать внимание исследователей.

«Nature», 1979, v. 279, № 5608, p. 27 (Великобритания).

Океанология

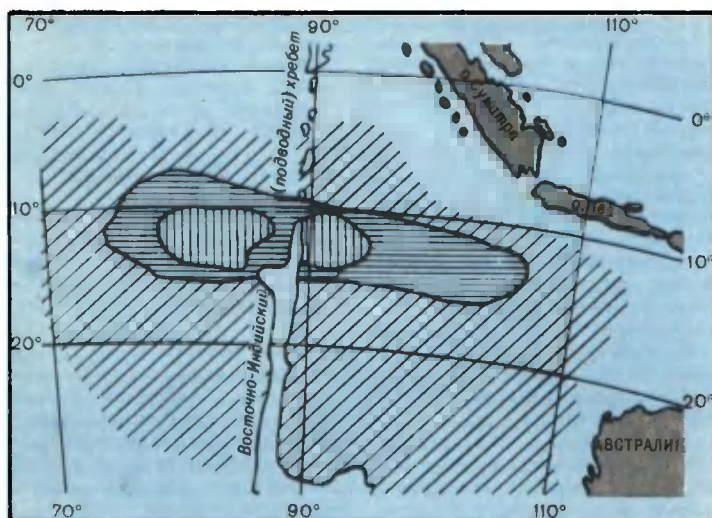
Железо-марганцевые конкреции Индийского океана

Железо — марганцевые отложения на дне Индийского океана менее изучены, чем в Тихом и Атлантическом. Новые данные, полученные Н. С. Скорняковой, П. Л. Безруковым, В. В. Гордеевым (Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР) и Е. С. Базилевской (Геологический институт АН СССР), существенно дополняют наши представления о размещении и химическом составе железо-марганцевых конкреций и корок в восточной части Индийского океана.

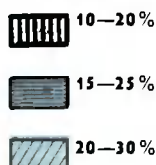
Общие закономерности распределения конкреций не отличаются здесь от их распределения в других океанах. В основном железо-марганцевые отложения приурочены к наиболее удаленным от континентов, глубоководным пелагическим областям. Они встречаются как на дне котловин, так и на склонах и вершинах подводных гор, причем преимущественно на глубине свыше 4,5 км (ниже критической глубины накопления карбонатов). На меньшей глубине конкреции обнаружены на карбонатных осадках, расположенных на участках дна с расчлененным рельефом. Основные же рудные поля конкреций связаны с пелагическими глинами и кремнистыми (диатомово-радиоляриевыми) илами; концентрация их, однако, резко меняется от десятков граммов до 100 кг на 1 м² и зависит от рельефа дна и темпов накопления осадков.

Конкреции могут формироваться только при очень низкой скорости седиментации (доли миллиметра в 1000 лет) — по существу, в условиях перерыва в осадконакоплении. В зависимости от местоположения меняются форма и размер конкреций. Обычно на вершинах подводных гор они имеют шаровидную форму, на склонах — округло-угловатую, а в депрессиях — лепешковидную. Фор-

¹Название дано по наименованию народности, населяющей эту территорию, — афары.



Размещение и содержание Mn в конкрециях восточной части Индийского океана (сходный характер распределения имеют Ni и Cu).



ма конкреций зависит и от характера вмещающих их осадков: в кремнистых илах преобладают лепешковидные, в пеллагических глинах — шаровидные и эллипсоидальные конкреции.

В соответствии с характером осадков и глубиной меняется и химический состав конкреций. Наиболее богатые рудными элементами (Mn, Ni, Cu и Co) конкреции обнаружены в восточной части Индийского океана, в широтной зоне к югу от экватора (между 5—6° и 15° ю. ш.) на глубине более 4700 м. Конкреции с максимальным содержанием Mn (20—30%), Ni (до 1,5%) и Cu (до 1,37%) локализованы в пределах зоны распространения радиолариевых илов в Центральной и Западно-Австралийской котловинах (между 78° и 95° з. д.). Максимальные содержания Mn достигают 0,68% и встречаются в конкре-

циях, находящихся на вершинах подводных гор.

В целом же содержание рудных элементов в конкрециях восточной части Индийского океана более низкое, чем в конкрециях Тихого океана, а площади их распространения значительно меньше.

«Литология и полезные ископаемые», 1979, № 3, с. 3—18.

Океанология

Интенсивность Западно-Шпицбергенского течения

Учитывая большую роль в тепловом балансе и гидрографии Северного Ледовитого океана Западно-Шпицбергенского течения (оно служит источником сравнительно теплых и соленых атлантических вод и прослеживается почти по всей протяженности Ледовитого океана на глубине от 200 до 500 м), американские исследователи установили в 1971—1972 гг. буйковые автоматические станции в проливе Фрама, отделяющем Шпицберген от Гренландии. Через этот пролив, шириной около 500 км, а глубиной местами до 2500 м, Западно-Шпицбер-

генское течение и вступает в Ледовитый океан.

Станции регистрировали движение водных масс на глубине от 120 до 1350 м на протяжении 4 мес. (один из самписцев — в течение 11 мес.). На основе полученных данных построена схема скорости Западно-Шпицбергенского течения на различных горизонтах. Расход воды достигает максимума в осенний период — среднемесячная величина близка к $10 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$; минимальный отмечен в феврале — $3 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$; среднегодовой расход $\sim 7,3 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$. Как оказалось, делавшиеся до сих пор оценки вдвое занижали реальную интенсивность течения.

Локальные ветры, дующие у побережья Шпицбергена, на это течение практически не влияют. Однако анализ карт атмосферного давления, выполненный Метеорологической службой ФРГ, показал, что крупномасштабные явления в атмосфере, охватывающие весь бассейн Гренландского моря, наоборот, играют в таких процессах важную роль; коэффициент корреляции между ветрами и течением достигает 0,79.

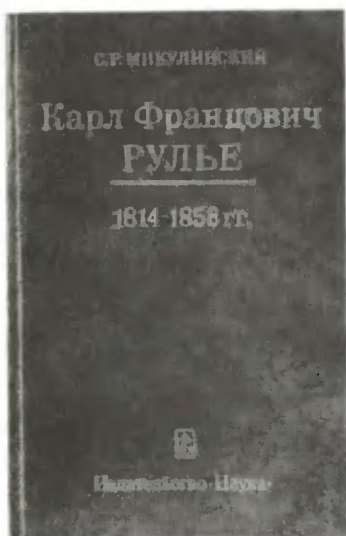
Руководители исследований П. Грейсман (США) и К. Оггед (Дания) полагают, что резкие колебания в интенсивности Западно-Шпицбергенского течения как раз связаны с обнаруженными (по наблюдениям в 1957—1976 гг.) регулярными изменениями характеристик ветров в районе Гренландского моря, а также, по-видимому, и над Норвежским морем. Эти факторы, по-видимому, приводят к крупномасштабным смещениям водных масс из центральной части Гренландского моря на север, чему способствует также рельеф его дна: резкий уклон на север «канализирует» поток в узкий каньон, находящийся между поднятием Мона и подводным шпицбергенским материковым склоном. Этот поток, и составляющий Шпицбергенское течение, продолжается затем двигаться на восток через весь Арктический бассейн.

«Ocean Modelling», 1979, № 1, р. 3 (США).



Ученый, человек, учитель

И. Н. Смирнов,
доктор философских наук
Москва



С. Р. Микиулинский. **КАРЛ ФРАНЦОВИЧ РУЛЬЕ. Ученый, человек и учитель. 1814—1858 гг.** М., «Наука», сер. «Научно-биографическая литература», 1979, 336 с.

«Как могло случиться, что ученый такого таланта и человек такой души, которым мы вправе гордиться, был в XX в. почти совсем забыт и память о нем начала восстанавливаться только в конце 40-х годов?» — пишет С. Р. Микиулинский в конце своей новой книги о выдающемся русском биологе-эволюционисте К. Ф. Рутье. Книга отвечает на этот вопрос и призывает лучше знать историю отечественной науки, крепче хранить память о ее создателях.

Автор, немало сделавший для воссоздания прошлого биологии, в том числе ее

развития в России, многие годы своих исследований посвятил творчеству К. Ф. Рутье. Перед читателем разворачивается панорама его многогранной жизни. К. Ф. Рутье прожил недолго, всего 44 года. Однако созданного им с избытком хватило бы на десятки других жизней.

Главным результатом его научной деятельности является разработка целостного учения о развитии, формирование первой в мировой науке додарвинского периода школы биологов-эволюционистов.

Характеристика детских и юношеских лет К. Ф. Рутье на фоне политической обстановки того времени позволяет проникнуться духовной атмосферой тех противоречивых лет. Унаследовав лучшие традиции своих учителей, Рутье на протяжении всей жизни не отделил научную работу от борьбы против эмпиризма и метафизических представлений о природе. На формирование его научного мировоззрения оказали влияние такие ученые, как И. Е. Дядьковский, И. А. Двигубский, М. А. Максимович, Г. Е. Шуровский, Г. И. Фишер фон Вальдгейм и др.

Очевидно, многое в духовном облике Рутье объясняется тем, что он был современником Гоголя и Белинского, Герцена и Некрасова и многочисленной плеяды других передовых людей России, способствовавших ее социальному и интеллектуальному прогрессу.

Еще будучи студентом Медико-хирургической академии, Рутье увлекся геологией, и первые его работы были посвящены геолого-палеонтологическим исследованиям Подмосковного бассейна. Это дало свои плоды. В 1841 г. в своей программной статье «Сомнения в зоологии как науке» Рутье выдвинул идею о необходимости исторического

подхода к изучению живой природы. И палеонтологические исследования Рутье были направлены на выявление исторического развития органического мира. Целый ряд проблем геологической науки стал предметом его внимания и получил блестящее разрешение. Рутье принадлежит постановка и исследование вопросов зоогеографии и палеоклиматологии юрских морей, выделение особого типа верхней юры в подмосковной котловине. Он первым из русских геологов стал рассматривать валунные наносы Русской равнины как ледниковые образования. В его работах последовательно использовался сравнительно-исторический метод, подводивший его к утверждению, что эволюция земной поверхности сопровождалась эволюцией органического мира. Он показал себя сознательным и убежденным сторонником идеи развития, которая пронизывает все его творчество. Труды Рутье значительно опередили работы большинства палеонтологов его времени.

От геологических исследований Рутье вполне естественно переходит к изучению соотношения организмов с условиями их существования. По мере накопления фактов он все глубже разрабатывал и все настойчивее отстаивал идею эволюции. На этом поприще Рутье поистине совершил научный подвиг. Ведь 40—50-е гг. XIX в., как в свое время отмечал К. А. Тимирязев, были одними из самых трудных периодов в истории борьбы за идею эволюции.

Приняв за основу кантово-лапласовскую концепцию развития Земли, Рутье пошел дальше — к признанию закономерности исторического развития от низшего к высшему в живой природе, к признанию филогенетического родства, т. е. единства проис-

хождения. Он выдвинул ряд важных доказательств наличия эволюции, занявших впоследствии видное место в дарвинизме (в частности, положение о так называемом тройном параллелизме).

Восприняв от Ламарка идею эволюции, Рулье не сомневался в наследовании приобретенных свойств, тем не менее его попытки самостоятельно исследовать явления изменчивости и наследственности оставили заметный след в науке.

Изучая проблемы биологической эволюции, Рулье превратил сравнительно-исторический метод в надежный инструмент исследования, впервые в русской литературе введя этот термин в научный оборот.

Важное место в творчестве Рулье занимает, выражаясь современным языком, проблема взаимодействия различных уровней биологической организации. Труды Рулье, касающиеся экологического анализа явлений в природе, дают основание считать его начинателем экологических исследований в России.

Видное место в научных работах Рулье занимало изучение психологии животных, ее многообразных и сложных проявлений. Можно себе представить, насколько трудна была эта задача для биолога середины XIX в.

В этом месте книги автор несколько отклоняется от основного своего сюжета и анализирует историю разработки проблем происхождения инстинктов и развития сознания. Впрочем, С. Р. Микулинский и в других разделах освещает предысторию вопросов, которыми занимался Рулье, отмечает вклад его предшественников. Но в данном случае особенно подробно рассматриваются вопросы методологии. В результате становится очевидным значение исследований Рулье, который первый среди русских биологов приступил к разработке проблем зоопсихологии, сумел показать подлинное ее место среди других биологических дисциплин. И сегодня не теряет значения тот вклад, который был

внесен им в разработку понятий инстинкт, рассудок, поведение животных и др. Рулье высказал ряд существенных для его времени соображений о роли нервной системы в организме и отвергал освещенное авторитетом церкви противопоставление инстинкта и рассудка. Именно этими исследованиями он заслужил высокую оценку А. И. Герцена.

С. Р. Микулинский донес до современного читателя всю сложность социальных условий эпохи, противоречивость и запутанность методологии науки того времени. На этом фоне показана многогранность творческой личности Рулье, его патриотизм, горячая вера в высокое призвание ученого и возможности науки. Книга убедительно говорит о материалистическом характере мировоззрения Рулье.

Отличительной особенностью творчества Рулье была практическая направленность его исследований. Он был убежден, что наука должна служить удовлетворению народных нужд. Так, он много внимания уделил изучению залежей подмосковных бурых углей и строительных материалов, был одним из самых деятельных членов Московского общества сельского хозяйства, организатором Комитета акклиматизации животных и растений, пропагандистом достижений русского скотоводства и передовых методов искусственного разведения рыб.

Рулье никогда не работал в одиночку. Он был создателем и признанным главой первой в России научной школы зоологов, которая стала единственной в мире школой биологов-эволюционистов в додарвинский период. Достаточно назвать таких ученых, принадлежавших к этой школе, как Н. А. Северцов, Н. П. Вагнер, Я. А. Борзенков, А. П. Богданов, С. А. Усов, чтобы убедиться в неограниченном вкладе Рулье в развитие науки.

Книга о К. Ф. Рулье — не просто иллюстрация к нескольким страницам истории нашей науки. Актуальность многих проблем, волновавших Рулье, — непреходяща, они и сегодня — на переднем крае

биологии. Таким образом, новая книга С. Р. Микулинского интересна и как историческая работа и как вклад в методологическую разработку важных проблем современной науки.

Пионер радиохимии

Г. К. Церава

Бокситогорск



А. Н. Кривомазов. ФРЕДЕРИК СОДДИ. 1877—1956. М., «Наука», 1978, 207 с.

Когда заходит речь об изотопах (теперь даже есть магазины «Изотоп»), то люди старшего поколения чаще всего вспоминают Фредерика Содди. У меня лично этот рефлекс прослеживается со школьных лет, когда на досуге (в 20-х годах у школьников было много свободного времени) я смог прочитать одну из переведенных на русский язык работ выдающегося английского испытателя природы, да простят мне этот архаизм... И не только прочитать, но кое-что понять и запомнить надолго. Вероятнее всего, то была изданная в 1924 г. (шестой раз в на-

шей стране!) его книга «Радий и строение атома», приоткрывшая мне немного завесу над тайной материи. Почему же именно Содди, а не кто-нибудь другой из плеяды великих физикохимиков начала века?

Объяснение тому мы находим в разделе «Содди и Россия» рецензируемой книги. А. Н. Кривомазов пишет: «Ни в какой другой стране мира книги Содди, всегда первоначально публиковавшиеся на его родине, не переводились и не переиздавались так часто, как в России. Действительно, успех его работ в России... был удивительно устойчивым и широким» (с. 154). По этой причине, видимо, названная книга и могла попасть в руки подростка из уездного тогда города Ахалциха в Грузии. Но это не все. В предисловии к первому изданию труда Содди, вышедшего в 1910 г. под заглавием «Радий», переводчик и редактор Н. А. Шилов отмечал: «Среди многочисленных книг, имеющих предметом радиоактивность, труд Soddy выделяется по характеру изложения. Автор остается все время строго научным... Но вместе с тем он умеет внести в изложение не только необычайную простоту, ясность и живость, но также широту философского взгляда и жилку художественного чутья» (цит. по рец. изд., с. 157). В наши дни эту жилку называли бы научной интуицией.

Оставим, однако, в сторону реминисценции... Перейдем непосредственно к исследованию А. Н. Кривомазова, который на протяжении последних лет не раз в плане научно-ведческом обращался к фигуре Содди. В авторском предисловии уместно подчеркивается, что специальных трудов, посвященных жизни и научно-общественной деятельности Содди, у нас пока не было. Работа автора в самом деле первая «на русском языке попытка создания научной биографии знаменитого английского радиохимика», и попытка удачная.

Достоинства книги, а они несомненны с любой точки зрения,— результат изучения и критического осмысления большого числа порой трудно-

доступных первичных материалов, хранящихся в зарубежных архивах, массива литературных источников, а также переписки с учеными, имевшими то или иное отношение к изучаемому предмету. Автор не оставил и тени сомнения в огромной значимости первопродухического вклада Содди в развитие современного естествознания. Важно и то, что автор как нельзя лучше разоблачил в причинах и последствиях драматических коллизий, в которые вовлекался его герой. Не обошел он стороной и полосу неудач и срывов, которые выпадали на долю Содди.

В книге шесть основных разделов, разбитых на главы. Годы учения Содди освещены достаточно полно. Оказывается, будучи еще студентом, он в 1898 г. поместил в «Трудах студенческого научного клуба Оксфордского университета» мемориальную статью о видном немецком химике Викторе Мейере. Это, пожалуй, не было случайностью. А. Н. Кривомазов в этой связи резонно замечает, что идеи Мейера, утверждавшего, что химикаты должны иметь «непреклонной, хотя, может быть, еще отдаленной целью научного исследования — разложение атомов» (цит. по рец. изд., с. 24), побуждали юного Содди посвятить себя атомистике. Позже в Монреале на заре нашего столетия на своих факультативных лекциях по истории химии Содди вникал университетским студентам, что превращение элементов — «реальная цель химика» (с. 28).

В истории естествознания нередки эпизоды, когда ученые разных стран, даже разных континентов, независимо друг от друга приходили к одним и тем же фундаментальным результатам. Вспомним, например, открытие индуцированных токов Фарадемом в Англии и Генри в США. Подобные факты подтверждают тезис науковедов о том, что наука является системой, обладающей очень большой избыточностью. Менее часты случаи, когда два равных по мощи интеллекта, целенаправленности и упорству ученых работают бок о бок и совместно добиваются

громадных успехов в науке. Второй тип свершения научно-го открытия значительно труднее и деликатнее для оценки участия в нем каждого из партнеров, чем первый. В этом можно убедиться, читая страницы книги, касающиеся совместных исследований Содди с Резерфордом в 1901—1903 гг. в Монреале и с Рамзаем в 1903—1904 гг. в Лондоне.

Работа Содди с Резерфордом, а не под его руководством, как об этом иногда пишут¹, в результате которой были созданы основы теории радиоактивного распада, длилась неполных 18 месяцев; по новейшим данным, приведенным в книге,— с сентября 1901 по февраль 1903 г. За этот небольшой срок они опубликовали 9 совместных статей в лондонских журналах. По статье в каждые два месяца! Такая стремительность просто ошеломляет. Стоит добавить здесь, что Содди экспериментировал в физической лаборатории Резерфорда безвозмездно, отказавшись от неаврачной должности химического преподавателя в Мак-Гиллском университете и зарабатывая на жизнь частными уроками.

Анализ А. Н. Кривомазовым этих трактатов, особенно завершающей цикл статьи «Радиоактивное превращение», а также сопутствующих материалов, служит хорошим подтверждением высказывания В. И. Вернадского: «История научной мысли... никогда не может дать законченную картину, реально передающую действительный ход событий, и должна каждым новым поколением изучаться заново»². Значит, не будем сетовать на некоторых, в том числе советских, историков науки, вынесших Содди несправедливый вердикт, поскольку в их распоряжении не было тех архивных документов, которыми располагал наш автор, сумевший

¹См., напр.: БСЭ, 1976, т. 24, кн. 1, с. 69.

²Цит. по: Микулинский С. Р. Проблемы анализа истории науки в трудах В. И. Вернадского.— «Вопросы философии», 1979, № 5, с. 116.

потому реконструировать более близкие к истине существенные подробности кооперации двух ученых.

Автор показал, что никакой психологической несовместимости между Резерфордом и Содди не было и в помине, а была столь необходимая для совместного творчества дополнительность. Ни тот, ни другой не сделали бы в одиночку того, что они сделали вдвоем за полтора года. Вместе с тем в книге раскрыты обстоятельства, которые способствовали тому, что вся слава и почести за монреальские достижения выпали на долю Резерфорда. Правда, научных наград (Нобелевская премия 1921 г. и др.) был удостоен и Содди, но они были присуждены за другие открытия, запоздали и не дали ему морального удовлетворения.

Плодотворным было и 13-месячное сотрудничество Содди и Рамзая, приведшее к доказательству образования гелия из радона. В ту пору Содди уделял много внимания публичным лекциям. Похоже, что для него, не получившего заслуженного им места на верхних ступенях научной иерархии, лекции в какой-то мере способствовали его самоутверждению. Автор выделяет Уальдовскую лекцию, произнесенную Содди 23 февраля 1904 г. в Манчестере. В этой лекции он впервые выдвинул понятие о времени жизни радиоактивного атома и «высказал идею, что искусственная трансмутация навсегда освободит человечество от нехватки топлива и других энергетических проблем» (с. 98). Так смело мало кто еще думал в те годы.

Открытие в 1913 г. Содди закона радиоактивных смещений, которому в книге отведено несколько глав, следует отнести к тем случаям, когда на открытие претендует ряд ученых, о чем говорилось выше. В данном случае кроме Содди — Рассел, Хевеши, Фаянс. Досконально рассматривая связанную с этим открытием приоритетную проблему, автор считает целесообразным отличать правила радиоактивных смещений от закона. Такой подход позволил ему пока-

зать, что «формулировка Содди закона радиоактивных смещений явилась высшим достижением среди попыток теоретически интерпретировать радиоактивный распад на фоне периодической системы» (с. 133). Далее подчеркивается, что в декабре того же 1913 г. Содди ввел в научный обиход весьма плодотворное понятие изотопии. Жаль только, что в книге не воспроизведена иллюстрирующая закон смещения оригинальная диаграмма из Нобелевской лекции Содди.

Большой интерес читателя вызывает раздел книги «Публицистика Содди: атомная энергия и цивилизация». Ученый предстает перед нами как мыслитель и гуманист, предвестник атомной эры и незаурядный популяризатор науки.

В рецензируемой книге, написанной просто и ясно, встречаются небольшие ошибки, на которые хотелось бы указать. Так, выражение «письма ее свояченицы» (с. 37) — нонсенс, так как у женщины не бывает свояченицы. Заглавие английского журнала «Electrician» по-русски будет «Электрик», а не «Электричество» (с. 156, 183). Эти и подобные мелочи отнюдь не умаляют ценности научного жизнеопи- сания Фредерика Содди.

От «набегов внешних врагов» до «мирного созидания ученых нашей планеты»

Г. М. Идлис,
доктор физико-математических наук
Москва

Выдающийся русский физик П. Н. Лебедев (1866—1912), имя которого носит Физический институт АН СССР в Москве, создал первую в России физическую школу. Его современник, знаменитый нидерландский физик-теоретик Г. А. Лоренц писал о нем как об одном из первых и лучших физиков своего времени. Рабо-



А. Р. Сердюков. ПЕТР НИКОЛАЕВИЧ ЛЕБЕДЕВ. Отв. ред. Б. В. Дерягин. М., «Наука», сер. «Научно-биографическая литература», 1978, 327 с.

ты Лебедева вошли в золотой фонд отечественной и мировой науки. К публикациям о нем следует подходить с особенно высокой требовательностью и ответственностью.

Автор рецензируемой книги, кандидат физико-математических наук А. Р. Сердюков, еще в 1953 г. защитивший диссертацию на тему «Роль П. Н. Лебедева и его школы в организации и развитии отечественной физики», в течение многих лет изучал лебедевский архив и уже опубликовал ранее некоторые архивные материалы Лебедева в «Успехах физических наук» (1953) и в «Вопросах истории естествознания и техники» (1960). В той степени, в какой на отдельных страницах рецензируемой книги говорит сам Лебедев, она, может быть, даже и «очень интересна», как отмечает ее ответственный редактор (с. 6). Но в целом книга А. Р. Сердюкова, опубликованная в качестве научной биографии Лебедева и претендующая на заполнение некоего пробела в отечественной историко-научной литературе, к сожалению, является по ряду причин недоброкачественной.

Многие страницы книги написаны настолько косноязычно, да к тому же без знания и понимания физики, что понять их смысл невозможно. Вот хотя бы такой пример: «В июне 1888 г. он (Лебедев. — Г. И.) поставил первые эксперименты с бромом. Пары брома в нормальных условиях не дали ни одной линии поглощения, а в жидком состоянии — в оранжевой части спектра. При критической температуре спектр не менялся, но при температуре, очень близкой к критической, оранжевый участок спектра поглощения расширился и занимал всю спектральную область. При охлаждении спектр восстанавливался. По мнению Лебедева, наблюдаемые эффекты проливают свет в область неизвестного и необходимого для решения поставленной задачи. В этой связи он почти полностью переключился на разработку деталей экспериментального исследования спектров поглощения веществ, находящихся в критических состояниях. К концу года в работе возникли непреодолимые трудности чисто технического характера, связанные с подбором металлов. До февраля 1889 г. Лебедев занимался усовершенствованием искрового возбуждения свечения металлов, но без заметного успеха» (с. 61).

Здесь чуть ли не каждая фраза вызывает недоумение. Что это такое — «пары брома... в жидком состоянии»? И что с ними произошло «в оранжевой части спектра»? Они там «не дали ни одной линии поглощения»? Или одну все-таки именно там только и дали? Одну или несколько? Каким образом внезапно возник «оранжевый» участок спектра поглощения? И как он — «оранжевый» — «расширился и занимал всю спектральную область», выходя за свои пределы и охватывая или поглощая весь спектр? «При охлаждении спектр восстанавливался» — какой спектр и при охлаждении чего? В каком смысле «наблюдаемые эффекты проливают свет в область неизвестного и необходимого для решения поставленной задачи»? Наконец, что это

за «непреодолимые трудности чисто технического характера, связанные с подбором металлов»? И что это за невесть откуда свалившиеся или неизвестно куда запропащившиеся «металлы», у которых к тому же так трудно добиться «искрового возбуждения свечения»? Неужто бром — металл? Приведенный выше историко-научный фрагмент настолько типичен, что не имеет смысла останавливаться на других.

Автор делает попытку внести свой вклад не только в историю физики, но и в саму физику. «Наиболее любопытным обоснованием гипотезы Лебедева» (о возможном возникновении магнитного поля у вращающихся нейтральных тел за счет центробежных сдвигов электрических зарядов в атомах), по А. Р. Сердюкову, «может служить, например, следующий эффект: при вращении чая в стакане массивные чайники под воздействием гравитации оседают на дно, но закручиваются и концентрируются в центре вращения» (с. 142). Уподобляя «основные массы» Земли и Солнца или солнечных пятен «шаровым молниям» и предлагая учесть в конвекционном движении соответствующей «жидкой» или «газобразной» массы «упомянутый выше эффект концентрации чаинков в стакане с вращающимся напитком», автор полагает, что известная идея Эльзасера и Френкеля о конвекционном происхождении космического магнетизма «становится любопытной», если принять «это любопытное дополнение» к ней (с. 144—145). Однако все эти «любопытные» «физические» «обоснования» и «дополнения» представляют собой не физику и даже не пропагандируемое или, вернее, декларируемое на с. 205—206 «сознательное и гармоничное сочетание эмпирического, математического и исторического методов познания истины с философскими анализами итоговых результатов», а чистейшей воды измышления за стаканом чая.

Но особенно поражает безответственность многих утверждений. А. Р. Сердю-

ков без колебаний решает за Лебедева, «правильно» ли он поступил в том или ином случае, и с поразительной легкостью судит о том, что еще открыл бы Лебедев в случае осуществления своих планов исследований по физике X-лучей. Вместе с тем автор не утруждает себя сколько-нибудь доказательной идентификацией анонимных снимков дифракционных рентгенограмм кристаллов берилла и каменной соли из лебедевского архива с его так называемыми «дырковыми фотографиями» 1896 г., приписывая ему почему-то оставленное без всяких дальнейших исследований фундаментальное открытие рентгеновской дифракции на кристаллах (с. 168—181). Вообще говоря, не исключено, что соответствующие снимки имеют более позднее происхождение и связаны, например, с работами, проводившимися уже не самим Лебедевым, а после его смерти одним из его учеников Г. (Ю.) В. Вульфом — основоположником рентгеноструктурных исследований в России.

Этот и многие другие примеры показывают, что тексту книги нельзя верить. На с. 311 упоминают как действующий ныне, а на самом деле давно уже не существующий Институт теоретической геофизики. Нет в природе и названного там же Института физики моря АН СССР. На с. 316 говорится, что «имя П. Н. Лебедева увековечено двумя мраморными памятниками», стоящими у фасадов ФИАНа и МГУ, в то время как один из этих памятников гранитный, а другой бронзовый. И так далее.

Удивляет и тот снисходительный тон, в котором автор описывает разнообразные «мелочные» результаты «неопубликованных научных исследований Лебедева, такие, например, как «элементарный, но весьма любопытный для того времени закон радиоактивности — закон аддитивности излучения» (с. 182—183), и характеризует общепризнанные представления Лебедева, отмечая, что «его философские воззрения

(правда, довольно еще ограниченные и несовершенные) помогали ему находить наиболее надежные критерии как в выборе исторически назревших проблем физики, так и в определении путей познания фактов и их осмысливания» (с. 206). «Лебедев еще не постиг научного понимания соотносительных свойств абсолютной и относительной истины», читаем мы на с. 211. «Лишь в наше время,— говорит автор на с. 221,— сделана попытка отчетливее представить диалектику соотносительных свойств материи, движения материи и пространства — времени», и приводит ссылку... на себя (вернее, на то место в обзоре философской конференции 1969 г., где упомянуто его выступление).

Серьезный исторический анализ событий часто заменяется в книге ссылками на «счастливые» сложившиеся обстоятельства. Некоторые исторические события получают и вовсе превратное толкование. Как известно, в 1911 г., в знак протеста против посещения министра просвещения Кассо на автономию российских университетов, из Московского университета ушли крупнейшие ученые, в их числе Лебедев. Это был тяжелый для него шаг. Лебедев остался без лаборатории, без учеников. Вполне вероятно, что это ускорило его смерть. «Лебедева убили,— писал К. А. Тимирязев,— погром Московского университета».

А. Р. Сердюков дает иную интерпретацию событий. «Нужно было,— поучает он,— не «хлопать дверями», а организовать массовый протест профессоров российских университетов и передовой интеллигенции». «Лебедев даже не предполагал, что будет сделана попытка организовать массовый уход профессуры из Московского университета», и присоединился к протестующим преподавателям главным образом потому, что «некоторые организаторы кампании оказывали на него давление» (с. 92). Далее автор прямо приписывает преждевременную смерть Лебедева недостойному поведению других университетских преподавателей и походя бросает тень на Н. Е. Жуковского, В. М. Бехтерева и А. Н. Северцова.

Ко всему прочему можно добавить, что автор проявляет опрометчивую склонность к социально-экономическим обобщениям, которые зачастую выглядят нелепо из-за отсутствия необходимой для этого общекультурной базы. Показательно в этом отношении авторское введение, занимающее немногим более 100 строчек. Отталкиваясь от «исторической особенности России, подвергавшейся неоднократным набегам внешних врагов», упомянув в том же абзаце «Арифметику» Магницкого и «Граматику» Смотрицкого, отметив далее Ломоносова, пользовав-

шегося «поддержкой императрицы Елизаветы», обсудив классический тип Митрофанушки, сказав про Новикова, который действовал, «прикинувшись протаском», воздав должное Пирогову, Чернышевскому, И. Н. Ульянову, Ушинскому, отметив события 1812 г., восстание декабристов, значение комедии Грибоедова, выстрел Каракозова, отмену крепостного права и «ускоренное развитие мануфактурной индустрии», автор заключает: «Все это привело к тому, что в России началось массовое увлечение естествознанием и техникой» (с. 10—13). Не очевиден ли в этой ретроспективе, привкус вулгарного социологизма?

Зато в послесловии автор заглядывает в будущее и, опережая рецензии на свой труд, выражает надежду, что «настоящая книга послужит дальнейшему укреплению научных и культурных связей между народами мира на благо мирного созидания ученых нашей планеты». Неужто никто из читавших книгу в рукописи не упрекнул автора в отсутствии чувства меры?

Обидно, что первая биографическая книга о Лебедеве изобилует такими огрехами. Как получилось, что она вышла в свет, да еще массовым тиражом, да еще в серии «Научно-биографическая литература», к которой читатели привыкли относиться с уважением и доверием?

← НОВЫЕ КНИГИ

Биология

Г. Селье. СТРЕСС БЕЗ ДИСТРЕССА. Под общ. ред. Е. М. Крепса. Предисл. Ю. М. Саарма. М., «Прогресс», сер. «Общественные науки за рубежом. Философия», 1979, 124 с., ц. 25 к.

Г. Селье — врач по образованию, биолог с мировым именем, директор Междуна-

родного института стресса в Монреале — на протяжении почти полстолетия разрабатывает проблемы общего адаптационного синдрома и стресса. Эта книга, по признанию самого автора, является его любимым детищем, итогом многолетних исследований и размышлений.

Книгу можно условно разделить на две части. В пер-

вой даны наиболее важные сведения об общем адаптационном синдроме, а также сжато и популярно изложена сущность биологической концепции стресса. Во второй части Г. Селье раскрывает перед читателями свой «кодекс поведения» — систему этических положений, определяющих, какими принципами следует руководствоваться, чтобы реа-

лизовать врожденный творческий потенциал, максимально полно выразить «индивидуальное Я» и достичь таким образом общечеловеческой «глобальной» жизненной цели. Книга написана ярко и остро.



Охрана природы

К. Уоллворк. НАРУШЕННЫЕ ЗЕМЛИ. Сокр. пер. с англ. В. Н. Солицева. Предисл. и ред. Л. В. Моториной. М., «Прогресс», 1979, 270 с., ц. 1 р. 60 к.

Книга посвящена воздействию производственной деятельности человека на природные ландшафты, вопросам восстановления продуктивности, эстетической и хозяйственной ценности территорий, поврежденных в результате промышленного производства. Ныне особенно сильному разрушительному воздействию во всех странах мира подвергаются те участки земель, на которых ведется широкая добыча полезных ископаемых, строятся предприятия по переработке минерального сырья, прокладываются нефте- и газопроводы. В книге изложены принципы и методы классификации так называемых нарушенных земель, показаны источники их возникновения и формы распространения в зависимости от вида добываемого сырья и технологии добычи. Значительное место отведено вопросам организации работ по рекультивации нарушенных земель, характеристике основных ее принципов и направлений.



Охрана природы

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ. Ред. Н. Н. Смирнов. М., «Наука», 1979, 280 с., ц. 2 р. 80 к.

Вместе с расширением возможностей человека изменять окружающую нас природу растет тревога за последствия допускаемых при этом экологических ошибок, среди которых — загрязнение и от-

равление водоемов и почвы, вырубка лесов и резкое снижение продуктивности полей, катастрофическое снижение численности или полное уничтожение некоторых видов животных и растений. Эффективным средством, которое позволит предупредить эти ошибки, должно стать экологическое прогнозирование. В данном сборнике, подготовленном Советским комитетом по программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера», представлено 14 статей, написанных известными отечественными биологами, экологами и технологами. В них рассматриваются вопросы экологического прогнозирования как в теоретическом плане, так и применительно к конкретным природным зонам, оцениваются последствия широкомасштабных акклиматизационных мероприятий, описывается значение палеонтологических данных в экологическом прогнозировании, большое внимание уделено медицинским проблемам.

География

Л. К. Артамонов. ЧЕРЕЗ ЭФИОПИЮ К БЕРЕГАМ БЕЛОГО НИЛА. М., «Наука», Главная редакция восточной литературы, 1979, 214 с., ц. 60 к.

О полковнике российской Генеральной штаба Л. К. Артамонове (1859—1932), который был прикомандирован в начале века к армии негуса Менелика II, посланной к берегам Белого Нила для установления там западных границ его империи, почти ничего не было известно до самого последнего времени. Судьба была к нему неблагоприятна. Успешно начатая военная карьера оборвана в самом ее расцвете, книга о путешествии в Эфиопию не издана, репутация омрачена несправедливыми отзывами.

Однако он оставил произведения, не потерявшие и по сей день ценности, так как в них описаны не только нравы и обычаи африканского населения. Л. К. Артамонов производил топографическую, картографическую и фотографическую съемку местности, за-

писывал высоту проходимых нагорий, выяснял особенности климата и экономики, рисовал схемы жилищ и построек, собирал редкие образцы флоры и фауны. Востоковеды до сих пор пользуются его рукописным и печатным наследием.

Написанная кратко и живо, книга несомненно заинтересует самые широкие читательские круги.

Археология

В. В. Седов. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И РАННЯЯ ИСТОРИЯ СЛАВЯН. Отв. ред. акад. Б. А. Рыбаков. М., «Наука», 1979, 155 с., ц. 75 к.

Казалось бы, многовековая история славян, о которой остались свидетельства древних авторов и которой занимались многочисленные поколения историков нового и новейшего времени, должна быть тщательно изучена. На самом же деле в этой истории много белых пятен. Не составлена антропологическая карта славян, этнографы и фольклористы не слишком много сделали для разрешения вопросов их этногенеза, данные топонимики и лингвистики недостаточно систематизированы и обработаны.

Книга интересна уже тем, что она очерчивает круг этих нерешенных проблем, а ее автор пытается — иногда гипотетически — разрешить их. Исследуя начальный период славянской истории (от формирования славянства как самостоятельной группы индоевропейцев до раннего средневековья) на основе письменных источников, археологических, антропологических и лингвистических изысканий, автор последовательно анализирует свидетельства латинских, византийских, сирийских историков, сравнивая их с древнерусской летописью — «Повестью временных лет», отмечая сходства и разногласия, сопоставляя сведения письменные и сведения «молчаливые»: остатки жилищ, могильники, утварь, украшения. Он предлагает свой вариант антропологической

карты; обобщая данные смежных наук, подтверждает положение о соответствии археологических культур этносам; выделяет параметры, свидетельствующие о взаимопроникновении одной или нескольких этнических групп на территории других: разнохарактерность погребальных обрядов, разнотипность домостроительства и др.

Книга рассчитана на историков, археологов, этнографов и всех интересующихся древней историей Евразии.

История науки

Ибн Ал-Факих. АХБАР АЛ-БУЛ-БАН. (Известия о странах.) Введение, пер. с арабского, издание текста и комментарии А. С. Жамкоян. Ереван, Изд-во АН АрмССР, 1979, 319 с., ц. 3 р. 20 к.

Впервые расшифрованы и введены в научный оборот главы из арабской хроники историка и географа конца IX — начала X в. Ибн Ал-Факиха. В основном они касаются Нижней Месопотамии и содержат ценные сведения о Багдадском Халифате.

В книге приводятся легенды и мифы Древнего Востока, мусульманские сказания, даны описания и границы городов, областей, округов, размеры налогов. Особая глава посвящена строительству «городов в разных странах, их особенностям и чудесам», что позволяет сравнить характер урбанизации Запада и Востока. Описания отличаются красочностью и художественностью.

История науки

Е. А. Ольхина. ВИЛЬЯЛМУР СТЕФАНСОН. 1879—1962. Отв. ред. Г. А. Агранат. М., «Наука», серия «Научно-биографическая литература», 1979, 104 с., ц. 35 к.

Книга посвящена мужественному исследователю Арктики, американцу исландского происхождения В. Стефансону. Автор 33 книг и сотен статей в научных и популярных жур-

налах, Стефансон в течение полувека считался одним из самых крупных авторитетов по Арктике. Однако он предстает перед читателем не только как отважный путешественник и разносторонний ученый. В книге рассказывается, что Стефансон был прогрессивным общественным деятелем, другом Советского Союза, активным борцом за мир.

История философии

Б. Б. Виц. ДЕМОКРИТ. М., «Мысль», сер. «Мыслители прошлого», 1979, 212 с., ц. 25 к.

Древнегреческий философ Демокрит известен как один из первых создателей атомистической картины мира, в которой осмыслены и дополнены важнейшие принципы античного знания: сохранения бытия, притяжения подобного к подобному, понимание физического мира как возникшего из первоначал — движущейся материи, атомов вещей и пустоты, обладающей такой же реальностью, как и бытие. Введенное понятие пустоты как небытия имело важное философское значение, ибо давало возможность объяснить возникновение и изменение вещей; оно привело также к появлению понятия пространственной бесконечности.

Автор не ограничивается простым пересказом биографических данных или изложением концепции Демокрита: он прослеживает пути развития его учения и выходы в современную науку.

В книге семь глав, введение и заключение. В них развернуты этическая картина мира, учение о познании, вопросы биологии и психологии, показано соотношение мифологии и философии в структуре античного знания. В конце книги, как принято в серии «Мыслители прошлого», приведены отрывки из произведений философа в переводе на русский язык.

Книга рассчитана на широкий круг читателей.

История культуры

А. Я. Гуревич. «ЭДДА» И САГА. Отв. ред. Е. М. Мелетинский, М., «Наука», сер. «Из истории мировой культуры», 1979, 192 с., ц. 75 к.

В исторических работах, как правило, встречаются два взаимоисключающих подхода. Для одного характерно стремление максимально приблизить прошлое к современности, исходя из предпосылки, что люди на всех этапах бытия в основном одинаковы и приблизительно так же, как мы, воспринимали мир и самих себя. Сторонники второго подхода исходят из представления о человеке как историческом существе, мировосприятие и сознание которого столь изменчивы, что судить о них можно только при выявлении специфического места и времени, острегаясь приносить туда современную систему понятий.

Историк А. Я. Гуревич, известный такими своими книгами, как «Категории средневековой культуры» (1972), «История и сага» (1972) и др. — представитель второго подхода. В новом своем труде он рассматривает такие понятия, как миф, ритуал, традиция, определяет характер героического и соотношение героя и мира вещей, человека и природы, понятий как одухотворенные персонифицированные творения человеческого сознания.

Книга представляет интерес для специалистов самых широких профессий, так как не только включает в «культурный фонд» памятники древнескандинавской литературы наряду с «Илиадой» и «Одиссеей», но и позволяет четко отделить научное мировоззрение и его специфику от традиционно-мифологического сознания.

Гороскоп Иоганна Кеплера

Гороскоп, отрывки из которого предлагаются ниже вниманию читателя, хранится среди бумаг Кеплера в Ленинградском отделении Архива АН СССР. Он не предназначался для печати, не имеет специального названия и даже не завершен. Двадцатишестилетний Кеплер составлял его для себя, что-то, видимо, помешало, и гороскоп так и остался незаконченным. И все же перед нами не жалкий отрывок причудливого документа далекой эпохи, а красочный и выразительный, хотя и несколько фрагментарный автопортрет.

Безликая гладкопись не свойственна литературной манере Иоганна Кеплера. Живые интонации авторской речи отчетливо слышны со страниц его зрелых произведений. Уступая блеску изысканной литературной формы «Диалогов» Галилея, не отличаясь тщательной выверенностью каждого слова и соразмерностью частей, присущих «Началам» Ньютона или трактату «О вращениях небесных сфер» Коперника, сочинения Кеплера превосходят их экспрессией, фантазией, искренностью и простотой изложения, доступной только зрелому мастеру.

О чем бы ни писал Иоганн Кеплер, за основным содержанием его работ неизменно ощущается своеобразная личность. И все же трезвость и даже беспощадность суждений о самом себе в «автопортрете» поражает даже тех, кому доводилось читать и самоуничижительные замечания, рассеянные по обширной корреспонденции Кеплера, и горестные сетования по поводу неудач, подстерегавших его на тернистом пути к истине, и восторженные самовосхваления человека, гордого тем, что ему удалось раскрыть замыслы самого Творца.

Автор комментариев к сборнику автобиографиче-

ских материалов Иоганна Кеплера Ф. Зак¹ датирует гороскоп ноябрем-декабрем 1597 г. Кеплер в ту пору находился в самом начале своего пути. Скромный учитель математики в протестанской гимназии Граца (Штирия), он успел заявить ученому миру о своем существовании, выпустив в свет «Тайну мироздания» (1596) — сочинение, которое он высоко оценивал и двадцать лет спустя. Еще свежа была память о соучениках по начальной школе в Леонберге, грамматической школе в Адельсберге, семинарии в Маульбронне, о диспутах в Тюбингенском университете, еще не зарубцевались раны первых обид, не утихла горечь первых разочарований... Все главное еще ожидало его в будущем: встреча с Тихо Браге, создание «Новой астрономии» (1609) и «Гармонии мира» (1619), «Дополнений к Виттелю» (1604) и «Рудольфовых таблиц» (1627), контрреформация и Тридцатилетняя война, скитания, лишения и мытарства². И как бы в преддверии грядущих испытаний Кеплер всматривается в себя.

Ссылки на расположение планет в гороскопе призваны объяснить, но отнюдь не оправдать дурные наклонности «рожденного». Кеплер безжалостно обнажает самые неприглядные (возможно, даже не существовавшие в действительности, а лишь вымышленные его пылким воображением) стороны своей натуры. К тем, кто обращался к нему впоследствии с просьбой составить гороскоп (а таких было немало), Кеплер относил:

несравненно снисходительнее, хотя, будучи тонким психологом, нередко читал в душах своих клиентов, как в открытой книге. Более того, «психологический подход» к составлению гороскопов Кеплер считал обязательным для всякого астролога: «Тот астролог, — писал он, — который предсказывает некоторые вещи по небу, не учитывая характера, души, разума, силы, телосложения того, кому он должен предсказать, поступает неправильно». Не потому ли так часто сбывались его предсказания и многие влиятельные особы (в их числе полководец Валленштейн) стремились приподнять завесу будущего руками «математика его императорского величества»!

Говоря об отношении Кеплера к астрологии, нередко ссылаются на его «успокоительное» высказывание: «Чтобы ищущий истину мог свободно предаваться этому занятию, ему необходимы по меньшей мере пища и кров. У кого нет ничего, тот раб всего, а кому охота идти в рабы! Если я сочиняю календари и альманахи, то это, без сомнения, — прости мне, господин, — великое рабство, но оно в настоящее время необходимо. Избави я себя на короткое время от этого — мне пришлось бы идти в рабство еще более унижительное. Лучше издавать альманахи с предсказаниями, чем просить милостыню. Астрология — дочь астрономии, хотя и незаконная, и разве не естественно, чтобы дочь кормила свою мать, которая иначе могла бы умереть с голоду».

В действительности отношение Кеплера к астрологии носило более сложный характер. Отвергая традиционную астрологию, Кеплер предлагал заменить ее исправленным вариантом — «истинной» астрологией, согласно которой судьбы людей подвержены

¹ Kepler Johannes. Selbstzeugnisse. Stuttgart — Bad Cannstatt, 1971.

² См.: Белый Ю. А. Иоганн Кеплер. М., 1971.

влиянию не светил на небе, а гармонических соотношений между углами, образуемыми направлениями на эти светила. По Кеплеру, душа человека обладает врожденной способностью реагировать на углы, составляющие определенные доли полного угла. Душа-резонатор является тем агентом, посредством которого небеса вмешиваются в дела земные. Небезынтересно отметить, что отвергая непосредственную взаимосвязь между положе-

ниями планет и событиями на Земле, Кеплер вместе с тем отстаивал единство законов природы, действующих на Земле и на небе. (Насколько можно судить, в вопросах астрологии создатель физики небес явно апеллирует к физической интуиции.)

Вчитаемся же в строки гороскопа Кеплера, и перед нашим мысленным взором предстанет выполненный в реалистической манере автопортрет, дошедший до нас сквозь

толщу четырех столетий, но не утративший свежести красок.

Текст оказался слишком велик для журнальной публикации, в связи с чем его пришлось сократить примерно вдвое. На русском языке гороскоп Кеплера печатается впервые.

Ю. А. Данилов

Москва

«Человеку этому на роду написано...»

Иоганн Кеплер

Человеку этому на роду написано проводить время главным образом за решением трудных задач, отпугивающих других.

Еще мальчиком он не по возрасту рано увлекся законами метрического стихосложения. Пробовал писать комедии, выбирал длиннейшие псалмы и запечатлевал их в памяти. Пытался выучить наизусть все примеры из «Грамматики» Крузиуса¹. Свои первые опыты в стихосложении он посвятил акrostихам, загадкам, анаграммам, а затем, когда стал более зрело судить об их истинных достоинствах, обратился к различным труднейшим жанрам лирической поэзии, слагал оды в духе Пиндара², сочи-

нял дифирамбы, проявлял интерес к столь необычным вопросам, как неподвижность Солнца, происхождение рек, вид Атланта, уходящего головой в облака.

Загадки и хитроумнейшие шутки доставляли ему живейшую радость, с аллегориями он забавлялся, прослеживая их до мельчайших подробностей, и лишь затем хватал их за волосы. В подражаниях он стремился всюду, где только возможно, сохранять слова подлинника, толкуя их на свой лад.

Когда он писал о каких-нибудь проблемах, особую радость доставляли ему парадоксы. Он считал, что французский язык якобы надлежит выучивать раньше, чем греческий, а в научных занятиях усматривал признаки заката

Германии. Выступая оппонентом на диспутах³, он всегда утверждал лишь то, что действительно думал. Описывая свои открытия, он всегда приносил в чистовой вариант нечто новое по сравнению с черновиком. Математику любил превыше других ученых занятий. В философии он прочитал в подлиннике сочинения Аристотеля, составил вопросы к «Физике», пропустил изрядную часть «Этики», а также «Топики», чтобы скорее приняться за «Аналитики»⁴.

В математике ему неоднократно случалось ломать голову над многими, якобы еще не решенными проблемами и лишь впоследствии обнаруживать, что те давно решены. Он придумал небесные часы, разработал новую теорию, касающуюся главным образом пяти правильных тел⁵, — вещи поистине трудные.

¹Мартин Крузиус (1526—1607) — профессор Тюбингенского университета, автор неоднократно переиздававшейся (с 1562 г.) «Грамматики» древнегреческого языка, принятый в качестве учебника в семинариях Вюртемберга.

Здесь и далее прим. перев.

²Пиндар (522 или 518 г. до н. э.—446 или более поздний год до н. э.) — древнегреческий поэт, со-

чинитель хоровой лирики. Во времена Возрождения (и позднее), когда умение версифицировать на латыни считалось одним из атрибутов образованности и было принято следовать античным образцам, произведения Пиндара породили многочисленные подражания.

³Со времен Средневековья участие в диспутах (научных спорах на заданную тему) считалось необходимым элементом университетского образования.

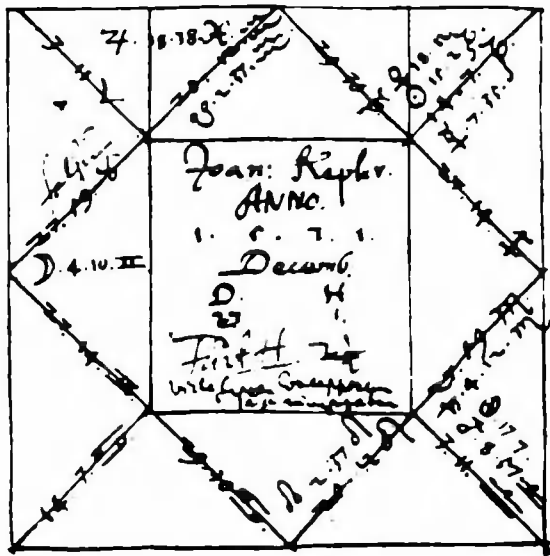
⁴В своем сочинении «Тайна мироздания» (1596) Кеплер предпри-

В истории он предложил новое толкование недель Даниила⁵. Написал новую историю ассирийского царства, предпринял исследование римского календаря. Каким бы родом ученой деятельности ему ни приходилось заниматься, он всегда с жером участвовал в диспутах и составлял извлечения из прочитанного.

Страницы своих рукописей он хранит довольно небрежно, зато всякого рода выпрошенные книги стремится всеми силами подольше не возвращать, будто те могут ему еще раз понадобиться.

Даже непродолжительное время, проведенное без пользы, причиняет ему страдание. Вместе с тем он далек от того, чтобы упорно сторониться человеческого общества. В денежных делах он почти скуп, в экономии тверд, нетерпим к мелочам и всему, что ведет к напрасной трате времени. Тем не менее он питает к работе непреодолимое отвращение, столь сильное, что часто лишь страсть к познанию удерживает его от того, чтобы не бросить начатое. И все же то, к чему он стремится, прекрасно, и в большинстве случаев ему удавалось постичь истину.

Своей добросовестностью он мало чем отличается от Крузиуса, намного уступает ему в работоспособности и



Гороскоп Кеплера, начерченный его рукой.

Каждый из 12 треугольников соответствует одному из так называемых домов. Внутри треугольников указаны знаки Зодиака и границы их влияния. Судьба «рожденного», имя которого вписано во внутренний квадрат, определялась по расположению планет и знаков Зодиака среди домов.

превосходит его в здравости суждений.

Меркурий в VII доме⁶ означает торопливость и нерасположение к работе, хотя сам Меркурий движется

быстро, а Солнце в секстиле⁷ с Сатурном означает усердие и настойчивость. Таковы два противоположных начала в этом человеке: он непрестанно испытывает раскаяние по поводу упущенного времени и все же постоянно его бесцельно расходует. Меркурий наделяет его склонностью к шутке и забаве, а также к игре ума с предметами легковесными.

В детстве рожденный с упоением предавался играм, став старше, он обрел радость в другом и потому пристрастился к другому. Следовательно, то, в чем человек находит удовольствие, зависит от его взглядов. Поскольку упорное нежелание расстаться с деньгами отвращает его от азартных игр, то он часто играет сам с собой. Вместе с тем нельзя не заметить, что подобная скардность порождена отнюдь не стремлением к богатству, а боязнью нищеты. Впрочем, жадность почти всегда берет начало от такой обращенной боязни нищеты, но не только от нее: многие одержимы корыстолюбием. Он стремится к выгоде и поче-

нял попытку вывести величины интервалов между (тогда еще круговыми!) орбитами Меркурия, Венеры, Земли, Марса, Юпитера и Сатурна из соотношений между радиусами вписанных и описанных сфер пяти платоновых тел: тетраэдра, куба, октаэдра, додекаэдра и икосаэдра.

⁵Вопрос об использовании упоминаемых в «Книге пророка Даниила» (глава 9) семидесяти седми (недель) в качестве временной привязки к исторической хронологии рассматривался многими авторами. Взгляды Кеплера по этому поводу изложены в *Gesammelte Werke*, B. V, München, 1953, S. 392—394.

⁶Один из двенадцати домов гороскопа — двенадцать равных дуг, на которые при составлении гороскопа делили эклиптику, считая от точки, восходящей в момент рождения человека, под горизонт. Каждый из домов имел специальное название: первый — гороскоп (асцендент), или дом жизни, второй — дом прибыли и т. д. Для Солнца, Луны и планет домами назывались также знаки Зодиака. Солнце имело дом в Льве, Луна — в Раке, а каждая из планет имела по два дома (например, Меркурий — в Близнецах и Деве).

⁷Секстиль — угол (между направлениями на светила), составляющий 1/6 полной окружности.

ту. Возможно, что и здесь во многом повинна боязнь нищеты. Он не чужд надменности, прислушивается к мнению толпы и склонен к жестокости.

У Крузуса Меркурий находится в стоянии и противостоянии⁸ с Сатурном. Я считаю, что чем свободнее Меркурий от лучей других планет, тем менее свойственно ему, как и асценденту⁹, означать гибель. Например, в лучах Сатурна Меркурий приносит холод и способствует вялости духа, в лучах Юпитера рождает влагу и тепло. Там все подчинено страсти к наживе, здесь — стремлению к почестям. Коснувшись своими лучами Меркурия, как это происходит в моем случае, Марс сильно устрашает его. Меркурия теснит и раздражает дух, поощряя его к играм и располагая к самым различным вещам, как то: к изучению истории, войнам, рискованным торговым сделкам, отваге и разносторонней деятельности (все это свойственно рожденному), возражениям, враждебным выпадам, порицанию всяческих порядков, критическому складу ума.

Всего, что этот человек создал в науке, он достиг (и этого не следует упускать из виду!) в общении с другими, распознавая, высмеивая и браня их дурные стороны, не взирая на лица. Эту черту с ним разделяет Ортольф¹⁰.

По моему мнению, Меркурий, находясь в соединении с Солнцем, способствует умеренности во всем, ибо в Солнце заключена середина всего. По этой причине

стояние Меркурия, а также его прямое и попятное движение сказываются на силе дарования, а планеты, озаряющие своими лучами Меркурий, предопределяют, в чем это дарование проявляется. Так, если Меркурий находится в соединении с Венерой, то та придает характеру нечто венецианское: слабость суждений, любовь к пению, людям и т. д. В соединении с Луной Меркурий порождает predisposition к влажному, простому, и хорошему, как у Маггерлина. В соединении с Юпитером Меркурий наделяет склонностью не только к простому, но и к суеверию, а в важных делах к наивности. Когда же Меркурий свободен от лучей всех других планет, то он придает характеру человека особую искренность. Заметь: Солнце оказывает влияние, как и другие планеты, поэтому и Солнце необходимо принимать во внимание, а также асцендент, поскольку последний сказывается на наружном виде и телосложении<...>

Натура этого человека весьма склонна к хитрости — из-за живости его ума. Ему присуща безудержная тяга к лукавству, обману и лжи. Эти дурные наклонности проистекают из того же источника, что и любовь к шуткам: их вызывает Меркурий, а поощряет Марс. Однако имеются два обстоятельства, мешающие его хитростям. Во-первых, боязнь дурной молвы: ведь больше всего он стремится заслужить истинную хвалу и всякое умеление чести для него невыносимо. От злых сплетен, хотя бы и самого невинного свойства, он готов откупиться любой ценой, и даже нищета страшит его лишь связанным с ней унижением. К этому с необходимостью приводит влияние Юпитера... Что еще сдерживает хитрость этого человека, как благоприятно ни складывались бы обстоятельства и с какой бы осторожностью он ни действовал, так это его необычайная неудачливость: «ведь сколь ни хорошо задумана уловка, все ж хитрецу она на ум приходит поздно». Вторая из названных мной

причин по существу сводится к первой, ибо неудачи вызывают стыд и замешательство. Вот я и думаю, не кроются ли причины неудач в самой природе вещей: не могут же завершаться успешно все махинации, творимые людьми. И все же кое-кому во многих случаях удается достичь желаемого<...>

Во всяком случае этот рожденный столь неудачлив в своем искусстве хитрить, что оно не способно привести к серьезным последствиям, а только вызывает досаду у него самого. Возможно, что причины неудач, которыми неизменно заканчивались все его попытки обмануть кого-нибудь, кроются не во влиянии гороскопа, а в каких-то иных свойствах души.

В-третьих, причиной его неудач может быть Луна в депрессии¹¹, ибо во всех прочих делах успех не сопутствует ему так же, как и в обмане. Свойственное ему дружелюбие считают признаком недалекого ума, его обходительность принимают за чрезмерную доверчивость, набожность — за склонность к суеверию, веселый нрав — за глупость, справедливый гнев — за приступ бешенства<...> Человек, о котором идет речь, достиг ныне, когда я пишу эти строки, двадцати шести лет, не успев внять голосу рассудка и как бы пребывая в детстве. Деятельность его отличается необычайной разносторонностью и многообразием. Не все постиг он, что было в его силах. Из этих трех обстоятельств проистекают непрестанные сожаления о прошлом.

Поговорим сначала о последнем. Юности, даже без особых предзнаменований в гороскопе, свойственно незнание многого. Следует сказать, однако, что ему это незнание присуще в меньшей степени, чем другим. Теперь о втором. Он берется за множество но-

⁸Стояние — момент, разделяющий прямое и попятное движение планеты. Противостояние — положение светил, когда угол между направлениями на них (в данном случае — на Меркурий и Сатурн) составляет 180° полной окружности.

⁹Асцендент — точка эклиптики, восходящая в момент рождения человека.

¹⁰Ортольф и упоминаемый ниже Маггерлин — соученики Кеплера по Тюбингенскому университету.

¹¹Депрессия — положение, в котором влияние планеты ослабляется. Положение, в котором влияние планеты усиливается, называлось экзальтацией.



VII дома. Возможно также, что на стремление к новому дурно влияет квадратура с Марсом, означающим пылкость и скоротечность, и это стремление чинит помехи самому себе.

Но более всего способны

разжечь страсть к новому пример других или трудность предмета. Последнее идет от Марса, как и огонь, присущий природе Марса. Пример способствует подражанию — это тоже от Марса. Но пищу и конечную цель стремлению к

новому дает любовь к истине, прекрасному, почестям, признанию и славе. Откуда берется стремление ко всему этому — вопрос особый. Торопливость и страстность, которую я назвал вредной, приводят к тому, что этому человеку слу-



Набросок фронтисписа к «Рудольфовым таблицам», сделанный рукой Кеплера. Эти таблицы [названы Кеплером в честь императора Рудольфа II], составленные по наблюдениям Тихо Браге и основанные на теории Коперника, давали возможность с высокой точностью вычислять положение планет для любого момента времени.

чается высказывать суждения прежде, чем он успевает их обдумать. Поэтому в разговоре он часто допускает вздорные замечания, и ему никогда

не удавалось экспромтом хорошо написать письмо. Но стоит лишь внести незначительные исправления, как все становится превосходным. Он так складно говорит и хорошо пишет, покуда его ничто не торопит, будто успел все продумать заранее. Но пока он говорит и пишет, ему на ум непрерывно приходят новые соображения — либо относительно слов, предметов, выражений или проводимых им доказательств, либо о новых планах и о том, не следовало ли умолчать именно о тех вещах, о которых он говорит<...>

Эта природная особенность, по-видимому, связана

с Луной и с асцендентом, а также с многочисленными звездами, отсюда — воображение и удивительная способность по одному вспоминать других, хотя этот человек никогда не отличался хорошей памятью, как и многим другим, т. е. такой памятью, которая бы удерживала все услышанное или прочитанное. Он способен сохранить в своей памяти лишь те сведения, которые связаны с известными ранее, и упоминание одних рождает воспоминания о других. Многочисленные отступления в его речи вызываются тем, что ему хочется сразу же высказать все, что приходит на ум при сильнейшем возбуждении хранимого в памяти. Поэтому речь его сбивчива или, по крайней мере, мало понятна. Впрочем, следует заметить, что, как я уже говорил, причина всех этих свойств коренится в праздности, хотя не исключено, что они не исчезли бы бесследно, если бы он самый деятельный образ жизни. Ибо неоднократно случалось, что он бывал необычайно занят на протяжении долгого времени... но это ничего не меняло.

Он охотно отказывается от насущных забот о поднятии какого-нибудь в высшей степени почетного места и следует туда, куда влечет его дух. Из-за этого ему не удается избежать упреков, вызванных тем, что, несмотря на свою ученость, неизменно находящуюся в полной готовности, он не всякий раз с ходу выполняет какую-нибудь обязанность. Словом, хотя он о своих обязанностях печется весьма рачительно, все же исполнение их сопряжено с трудностями, о которых уже говорилось.

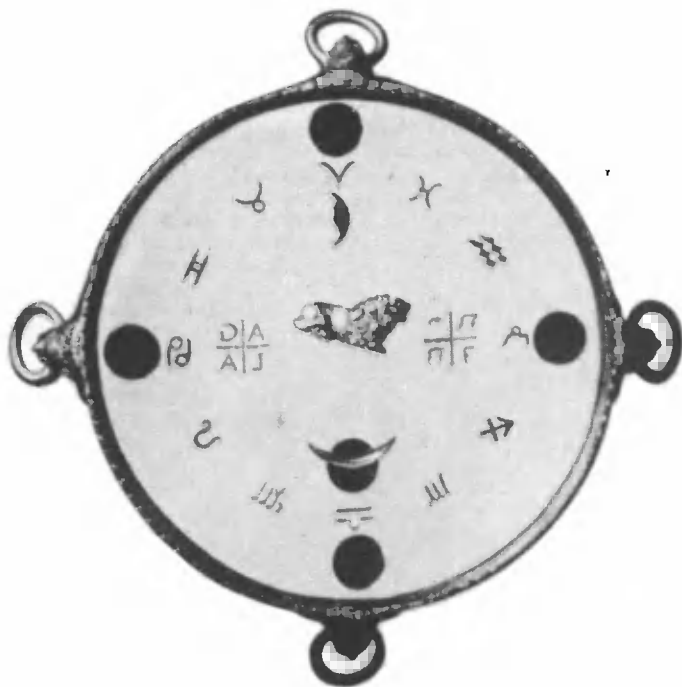
Никогда не ощущал он недостатка в материале, питающем его страсть, пылкое рвение и любовь к изучению всего трудного. Ему на ум одновременно приходят тысячи вопросов, решение которых, поскольку он не может ограничить себя во времени, наносит больший ущерб его служебным обязанностям, чем легкомыслие. Нет сомнения

в том, что если бы ему выпала судьба идти на военную службу ... то он показал бы себя храбреем. Ибо не тот лучший солдат, кто растратил все свое состояние и с отчаяния отправился на военную службу. Ему присущи ярость, хитрость, бдительность, непрестанная готовность к мгновенному действию и, возможно, удачливость.

Теперь было бы уместно поговорить о первом, если бы о нем все уже не было сказано. Ни один из тех, в ком сильна страсть, не следует доводам рассудка; у юности — юношеские желания. И все же, чтобы до конца разобраться в этом вопросе, необходимо подробно рассмотреть разум, способность к суждению и пониманию. Я считаю, что тот, кто видит истину и добродетель, видит лучше всех прочих, что способности этой всегда сопутствует способность рассуждать здраво и что тот, кто обнаруживает признак острого ума, способен судить о множестве вещей, в которых он разбирается, в силу чуждого суждения человека просвещенного при прочих равных обстоятельствах всегда ближе к истине, чем суждение невежды<...>

С юных лет у этого человека были враги. Первым, кто сохранился в моей памяти, был Хольп, а также все прочие соученики: в Маульбронне Молитор и Виланд, в Тюбингене Келлин, в Бебенхаузе Браунбаум, в Маульбронне Цигельхойзер. Перечисляю лишь тех, кто враждовал со мной на протяжении многих лет<...>

Между Хольпом и мной шло тайное соперничество по ученым вопросам. Он часто ненавидел меня и дважды дрался со мной: один раз в Леонберге и один раз в Маульбронне. Но после того, как первое место досталось мне, наши отношения снова наладились. Он оставил надежду вернуть себе то место, которое он занимал прежде, и так как всегда опасался потерять это место, то после того, как его опасения сбылись, его антипатия ко мне прошла вместе с опасениями. Молитор питал ненависть ко мне втайне по той



Бронзовый брелок с изображением гороскопа, составленного Кеплером для Велленштейна, главнокомандующего имперскими войсками в Тридцатилетней войне.

же причине, но внешне под благовидным предлогом: когда я совершил предательство по отношению к нему и к Виланду. Но я молил о прощении и его, и Цигельхойзера. Келлин не питал ко мне ненависти, скорее я ненавидел его. Он подружился было со мной, но потом стал непрестанно ссориться. Я никогда не помышлял о том, чтобы причинить ему зло, но разговоры с ним были для меня невыносимы. Наши отношения были вполне приятными, ибо в том, что касается чувств, они были более чем дружескими, а в делах — чистыми, не запятанными ничем постыдным. Ни с кем другим у меня не было ни резких споров, ни длительных размолок. Мой веселый нрав и склонность к шуткам привели к тому, что Браунбаум из друга стал моим врагом, из-за чего простекала несправедливая

для обеих сторон перемена, которую я переживал очень тяжело.

Рожденный обладает во всех отношениях собачьей натурой. Он вполне походит на обыкновенную дворнягу: 1) Телом подвижен, сухоощав, хорошо сложен. Ест он то же, что любят собаки: ему доставляет удовольствие обгладывать кости и грызть хлебные корки, он прожорлив и способен проглотить все, что только попадается ему на глаза. Пьет он немного. Довольствуется самым малым. 2) Прежде всего он непрестанно заискивает перед старшими, как собака перед хозяевами, во всем зависит от других, стремится услужить им, а если его упрекают, не гневается на них и всячески старается вновь заслужить их расположение. Испробовал свои силы в простейших видах деятельности из области науки и политики, а также домашних делах. Он находится в непрестанном движении, и некоторым из тех, кто пытается что-нибудь сделать, он следует, стремясь сделать и придумать то же самое. Он нетерпим в обще-

нии, и тех, кто имеет обыкновенно частенько заглядывать к нему в дом, встречает, как собака. Если кому-нибудь случается вызвать у него хотя бы малейшее неудовольствие, то он рычит и приходит в ярость, как собака. У него мертвая хватка, он преследует тех, кто делает что-нибудь дурное, и лает. Он кусается, и у него всегда наготове острое слово. За это многие его ненавидят и стараются избегать, но старшие ценят его, как дорожат хорошей собакой хозяева. Бойтся плавать, погружаться в воду и мыться, как собака.

Итак, ему присуще необычайное легкомыслие, идущее от Меркурия в квадратуре с Марсом и Луны в тригоне¹³ с Марсом. Но при всем том он заботится о своей жизни. Храбрость в жизни, преисполненной опасностями, чужда ему, возможно, потому, что подобные черты не имеют отношения к Солнцу. Примерно так обстоит дело с легкомыслием, отсутствием храбрости и гневливостью, пристрастиями и всем прочим, в чем его обычно упрекают. Теперь речь должна идти о его душевном состоянии и чертах характера, снискавших ему определенное уважение: о скромности, богобоязненности, верности, честности, изяществе. Наконец,

нельзя не упомянуть и нечто среднее, из чего проистекает хорошее и дурное: например, его любознательность и тщетное стремление ко всему самому возвышенному.

В детстве учителя любили его за добрые задатки, хотя и в ту пору среди подобных себе он выделялся с худшей стороны. Достигнув юношеского возраста, он пользуется репутацией человека набожного, уравновешенного и прилежного, за что люди состоятельные благоволят к нему. Все это относится к судьбе... Что же касается существа дела, то он действительно набожен до суеверия.

Прочитав впервые десятилетним мальчиком Священное писание, он решил при вступлении в брак следовать примеру Иакова и Ревекки¹⁴ и хотел придерживаться предписаний законов божьего; огорчился, что ему, поскольку жизнь его уже запятнана грехом, не суждено стать пророком; за каждый поступок налагал на себя епитимью и лишь после того, как выполнял ее, считал себя свободным от наказания. Обычно епитимья сводилась к повторению какой-нибудь заповеди. Если вечером, утомленный, он засыпал, не успев произнести вечернюю

молитву, то на рассвете присоединял ее к утренней. Он взял за правило просить бога лишь о большем и лучшем, чтобы бог, проявив себя во временной помощи, позволил ему уверовать в помощь вечную и т. д. Охотно выступал со страстными речами о религии перед народом.

Как уже говорилось выше, он с необычайным рвением заботился о собственной доброте. Поэтому жизнь его не отмечена сколько-нибудь заметными пятнами, кроме тех, которые проистекают от гнева или легкомысленных и необдуманных забав. От этих пятен он не может избавиться и поныне. К старикам он относится с любовью и почтением, проявляет благодарность на словах и выражает ее на деле.

Он стремится во всем знать меру и познать первопричины вещей...¹⁵

Перевод с латыни выполнен Ю. А. Даниловым по изданию: *Johannis Kepleri Astronomi Opera Omnia*. Ed. Ch. Frisch. Francofurti et Erlangae. MDCCCLXIV, t. V., p. 476—483.

¹⁵На этом рукописи Кеплера обрывается.

¹³Тригон — угол между направлениями на светила в 1/3 полной окружности.

¹⁴По-видимому, ссылка на библейских героев означает, что Кеплер намеревался вступить в брак по любви и надеялся на взаимность.

Иоганн Кеплер [1571—1630]. Портрет работы неизвестного художника. Масло на дереве, 1610 г.

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., 26.
Тел. 237-50-30, 237-22-97.

Сдано в набор 25.10.79
Подписано к печати 10.12.79
Т-16373
Формат бумаги 70×100 1/16.
Офсет
Усл.-печ. л. 10,4 Уч.-изд. л. 14,5
Бум. л. 4
Тираж 85 000 экз. Зак. 2647

Чеховский полиграфический комбинат Союзполиграфпрома Государственного комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. г. Чехов, Московской области.





Цена 50 коп.
Индекс 90707