

ISSN 0032-074X

З ПРИРОДА

1984



ПРИРОДА

Ежемесячный
популярный
естественнонаучный
журнал
Академии наук СССР

Основан в 1912 году



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик

Н. Г. БАСОВ

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

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТЮШКОВ

Академик
Д. К. БЕЛЯЕВ

Член-корреспондент АН СССР
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук
А. А. ВЕЛИЧКО

Член-корреспондент АН СССР
В. А. ГОВЫРИН

Член-корреспондент АН СССР
И. Р. ГРИГУЛЕВИЧ

Член-корреспондент АН СССР
Г. А. ЗАВАРЗИН

Член-корреспондент АН СССР
В. Т. ИВАНОВ

Доктор физико-математических наук
Н. П. КАЛАШНИКОВ

Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА

Академик
Б. М. КЕДРОВ

Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Кандидат физико-математических наук
А. А. КОМАР

Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ

Доктор геолого-минералогических наук
И. Н. КРЫЛОВ

Доктор философских наук
Н. В. МАРКОВ

Доктор экономических наук
В. А. МЕДВЕДЕВ

Ответственный секретарь
В. М. ПОЛЫНИН

Доктор исторических наук
П. И. ПУЧКОВ

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

Доктор философских наук
Ю. В. САЧКОВ

Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ

Академик АН УССР
А. А. СОЗИНОВ

Академик
В. Е. СОКОЛОВ

Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ

Заместитель главного редактора
член-корреспондент АН СССР
Л. П. ФЕОКТИСТОВ

Член-корреспондент АН СССР
В. Е. ХАИН

Член-корреспондент АН СССР
Р. Б. ХЕСИН

Доктор физико-математических наук
А. М. ЧЕРЕПАШУК

Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ

Академик
В. А. ЭНГЕЛЬГАРДТ

На первой странице обложки. Шмель на цветке. См. в номере: Кочетова Н. И. Дикие опылители в «Красной книге СССР». Фото А. Д. Юрова.

На четвертой странице обложки. Небольшие кальцитовые сталактиты и сталагмиты в пещере Красноярской системы. См. в номере: Морошкин В. В. Минералы Кугитангских пещер.

Фото В. В. Морошкина.

В НОМЕРЕ

- Макеенко Ю. М.** Численные эксперименты в теории сильного взаимодействия ЭВМ вместо ускорителей? До сих пор массы элементарных частиц измерялись в экспериментах. Применение мощных ЭВМ дает возможность рассчитать некоторые из них на основе уравнений квантовой хромодинамики. **3**
- Ярошевский М. Г.** О природе научного открытия **17**
Процесс рождения нового знания обнажит свои тайны лишь тогда, когда изменения в проблемном поле науки, характер взаимоотношений в научном сообществе и индивидуально-личностные моменты научной деятельности будут рассматриваться в единстве.
- Кочетова Н. И.** Дикие опылители в «Красной книге СССР» **25**
В списке 2-го издания «Красной книги СССР» включены многие виды насекомых-опылителей, численность и видовое обилие которых сокращается по всему земному шару.
- Балакина Л. М.** Землетрясения и тектоника окраин Тихого океана **27**
Исследование землетрясений в окраинных зонах Тихого океана приводит к выводу, что в литосфере и, возможно, верхней мантии этого региона преобладают вертикальные тектонические движения.
- Семенчинский С. Г.** Дробный квантовый эффект Холла **34**
Обнаружен дробный квантовый эффект Холла, который, в отличие от обычного квантового эффекта Холла, наблюдается и при частичном заполнении энергетических уровней Ландау носителями тока.
- Кадомцев Б. Б., Пистуневич В. И.** Термоядерный реактор-токамак **35**
Строительство опытного термоядерного реактора — дело недалекого будущего. К такому выводу приводит анализ физических и инженерных проблем, которые предстоит решить для реализации управляемого термоядерного синтеза на установках типа токамак.
- Морошкин В. В.** Минералы Кугитангских пещер **46**
Исключительно разнообразны и оригинальны формы минералов, встречающихся в карстовых пещерах Юго-Восточной Туркмении.
- Кабо В. Р.** У истоков религии **51**
Истоки религии коренятся в первобытной культуре. Для той эпохи было характерно тесное переплетение всех форм общественного сознания — в их зачаточном, конечно, виде.
- Исламов У. И.** Сель-Унгур — древнейшая пещерная стоянка Ферганской долины **61**
Открытия, сделанные в Сель-Унгуре, проливают новый свет на проблему первоначального заселения человеком Средней Азии.
- Корнилов Н. А.** Новый железорудный регион на западе СССР **62**
Огромный железорудный регион выявлен на территориях, ранее считавшихся совершенно бесперспективными в отношении этого вида полезных ископаемых.
- Л. А. ЗИЛЬБЕР — МЫСЛИТЕЛЬ И ЭКСПЕРИМЕНТАТОР** **70**
Киселев Л. Л. Вирусы, онкогены и рак **72**
Вирус-генетическая концепция рака, выдвинутая Л. А. Зильбером 40 лет назад, сыграла огромную роль в развитии современной молекулярной онкологии.
- Васильев Ю. М.** Слушая Л. А. Зильбера **79**
Яркие выступления Л. А. Зильбера никогда не оставляли слушателей равнодушными.
- Зильбер Л. А.** Студенты (из воспоминаний) **82**
Уже на склоне лет знаменитый ученый написал о годах учения в Петербургском университете, оставивших яркий след в его жизни.

Шкуратов Ю. Г., Мелкумова Л. Я. План физического исследования поверхности Луны 1873 года

88

Современная селенология придает большое значение изучению Луны с помощью методов дистанционного оптического анализа. Первая программа такого изучения была составлена Ф. Ф. Петрушевским — основателем Русского физического общества.

ЗАМЕТКИ, НАБЛЮДЕНИЯ

Сребродольский Б. И. Декоративный кальцит из Гаурдака

94

На незранных кальцитовых натеках после шлифовки выявляется чрезвычайно красивый и неповторимый рисунок. В сочетании с легкостью обработки это позволяет использовать натечный кальцит как поделочный камень.

Голубчиков Ю. Н. Последствия лесных пожаров в горах нижнего Приамурья

95

Пологие склоны с рыхлыми грунтами через десятилетия после пожара вновь покроются лесом. Участки, сложенные прочными кристаллическими породами, останутся бесплодными каменными пустошами.

НОВОСТИ НАУКИ

93, 96

Ледяные фонтаны на спутниках Урана? (93) • Вторая экспедиция на «Салюте-7» завершена (96) • Биоспутник «Космос-1514» (97) • Открыт второй миллисекундный пульсар (97) • Гамма-источник Геминга — квазар? (98) • Во Вселенной обнаружено водородное облако (99) • Вращающееся протоскопление (99) • Первые наблюдения двухпротонной активности ядер (100) • Сверхускоритель в пустыне (100) • Новое поколение токамаков вступает в строй (101) • Малогабаритный СО-лазер (102) • Цветовая регистрация оптических сигналов (102) • Тонкопленочные поляризаторы для мощных лазеров (103) • Гормон, регулирующий содержание кальция в крови (104) • Одиночные электроны и мюоны вызывают зрительные ощущения (104) • Перфторуглероды помогают при больших потерях крови (104) • Узнавание ребенка по запаху (105) • Озон снижает урожаи (105) • Устойчивость диких видов картофеля к вредителям-насекомым (105) • Взаимовыгодный симбиоз у насекомых (106) • Кроме бинокля — электрофорез (106) • Необычные случаи приспособления (107) • Открыты новые термофильные микроорганизмы (107) • Рыба роет нору для икры (108) • Кофе и медь (108) • Пингвины выводят в инкубаторе (109) • Качество воды контролирует рыба (109) • 89-й рейс «Гломера Челленджера» (110) • Европейский геотраверс (111) • Картирование осадков по акустическим свойствам (112) • Загрязнение воздуха Арктики (112) • О «непотопляемости» железомарганцевых конкреций (112) • Сейсмическая станция под океаническим дном (113) • Чарлстонское землетрясение 1886 года (114) • Игуанодон с необычным жевательным аппаратом (114) • Кладу — 12 тысяч лет (115) •

РЕЦЕНЗИИ

116

Старостин Б. А. Новое направление в исследованиях по охране природы (на кн.: Биология охраны природы) (116)

Полян П. М., Трейвиш А. И. Наша столица как объект географии (на кн.: Ю. Г. Саушкин, В. Г. Глушкова. Москва среди городов мира) (118)

НОВЫЕ КНИГИ

119

Галицкий В. М. Избранные труды. Исследования по теоретической физике (119) • Филонович С. Р. Самая большая скорость (119) • Барри Дж. Д. Шаровая молния и четочная молния (120) • Хургин Я. И. Да, нет или может быть... (120) • Птицы (121) • Холл Д., Рао К. Фотосинтез (121) • Археология эпохи камня и металла Сибири (сборник научных трудов) (121) • Моксеев В. А. Цинская империя и народы Саяно-Алтая в XVIII в. (122) • Соболева Е. В. Организация науки в пореформенной России (122)

В КОНЦЕ НОМЕРА

123

Дэйсон Ф. Нарушая покой Вселенной

Численные эксперименты в теории сильного взаимодействия

Ю. М. Макеенко



Юрий Марленович Макеенко, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института теоретической и экспериментальной физики. Занимается вопросами динамики калибровочных теорий.

Понимание природы сильного взаимодействия, построение его теории уже в течение полувека представляет одну из центральных проблем, которые стоят перед учеными, занимающимися физикой элементарных частиц. Диапазон явлений, за которые «несет ответственность» сильное взаимодействие, чрезвычайно широк: от процессов, происходящих в микромире, до реакций, являющихся источником энергии звезд.

Когда мы употребляем слова «теория сильного взаимодействия», мы имеем в виду теорию, способную описать все эти явления, скажем, в таком же смысле, в каком квантовая механика способна описать атомы. По поводу квантовой механики Х. Бете, много сделавший для ее развития, писал: «Квантовая механика позволяет объяснить любую известную нам особенность электронной структуры атомов. Количественная точность теории ограничена здесь лишь вычислительными трудностями»¹. Другими словами, свойства сколь угодно сложного атома можно, в принципе, рассчитать с помощью квантовой механики, решая уравнение Шредингера. Тот факт, что практически сделать это (даже числен-

но) бывает не так-то легко, рассматривается только как «инженерная» трудность и не бросает тень на применимость квантовой механики в качестве теорий атомных явлений.

В некотором смысле похожая ситуация сложилась в современной теории сильного взаимодействия — квантовой хромодинамике. Эта теория является «младшей сестрой» квантовой электродинамики — теории, описывающей электромагнитное взаимодействие между заряженными частицами, — и построена по ее образу и подобию. Квантовая хромодинамика способна описать, в принципе, все явления, обусловленные сильным взаимодействием. Многочисленные сравнения предсказаний квантовой хромодинамики с экспериментом (в тех случаях, когда мы способны получить эти предсказания) свидетельствуют в пользу справедливости этой теории. Однако целый ряд происходящих в природе явлений объяснить (даже качественно) в рамках квантовой хромодинамики оказалось не так-то просто. Причина состоит в том, что сильное взаимодействие действительно является «сильным» и не поддается, как правило, анализу методами, успешно используемыми для расчетов в квантовой электродинамике.

Несколько лет назад в квантовой хромодинамике были применены методы, ко-

¹ Бете Х. Квантовая механика. М., 1965.

которые являются традиционными скорее не для квантовой теории поля, а для статистической физики, и среди них численный метод Монте-Карло. Итогом явилось большое число красивых теоретических работ, лежащих на стыке квантовой теории поля, статистической физики и вычислительной техники, в которых некоторые важнейшие явления, обусловленные сильным взаимодействием, были рассчитаны исходя, как говорят, из первых принципов квантовой хромодинамики (т. е. без привлечения модельных представлений или феноменологических параметров). Теоретики думают сейчас, что у них есть теория, описывающая сильное взаимодействие элементарных частиц, и что они вооружены методом, с помощью которого можно, в принципе, научиться рассчитывать в рамках этой теории любые эффекты сильного взаимодействия. Имеющиеся ограничения носят при этом чисто технический характер и целиком связаны с возможностями современных ЭВМ.

Цель этой статьи — рассказать о численных методах, применяемых в квантовой хромодинамике, и привести основные результаты, полученные с их помощью. Прежде, однако, напомним, какие общие принципы лежат в основе современной теории сильного взаимодействия.

АДРОНЫ И ЦВЕТНЫЕ КВАРКИ

Современная теория сильного взаимодействия имеет богатую полувековую историю. Мы остановимся лишь на некоторых фрагментах.

В 1934 г. японский физик Х. Юкава выдвинул гипотезу, согласно которой сильное взаимодействие между протонами и нейтронами происходит в результате обмена некоторой частицей (названной мезоном). Идея Юкавы основывалась на аналогии с квантовой электродинамикой, которая является эталоном, традиционно используемым в физике элементарных частиц при построении новых теорий. Напомним, что электромагнитное взаимодействие между заряженными частицами переносится квантами электромагнитного поля — фотонами.

Работа Юкавы произвела настолько сильное впечатление на современников, что открытый вскоре мюон пытались отождествить с мезоном — переносчиком сильного взаимодействия. Прошло, однако, еще одиннадцать лет, прежде чем истинный «виновник», π -мезон, был обнаружен экспериментально, блестяще подтвердив гипотезу Юкавы, которому в 1949 г. была присуждена Нобелевская премия.

Теория сильного взаимодействия того времени выглядела крайне привлекательно: протоны и нейтроны, обменивающиеся π -мезонами. Ничего лишнего. Однако, как нередко случается в физике элементарных частиц, эта красота была похоронена под обилием новых частиц, открытых в 50-е годы. Современный «каталог» элементарных частиц, издаваемый раз в два года Европейским центром ядерных исследований, содержит уже более 300 наименований. Большинство этих частиц участвуют в сильном взаимодействии (Л. Б. Окунь назвал такие частицы адронами). Все адроны имеют равные права и, в том же смысле, что и π -мезон, являются переносчиками сильного взаимодействия. Аналогия с квантовой электродинамикой, где есть только один фотон, была безнадежно утеряна.

Большинство адронов живут, как правило, весьма непродолжительное время (примерно 10^{-24} с) и переходят затем в другие адроны, которые живут дольше и были бы просто стабильными частицами, если бы в природе отсутствовали все другие виды взаимодействий, кроме сильного. Это напоминает переходы электронов с возбужденных уровней атома водорода на основной уровень, а значения масс адронов аналогичны положению уровней. Такая аналогия привела физиков к идее составных моделей адронов.

В настоящее время общепризнанной является так называемая кварковая модель, предложенная в 1964 г. американским теоретиком М. Гелл-Манном, выдающиеся заслуги которого в области физики элементарных частиц отмечены Нобелевской премией 1969 г., и независимо Дж. Цвейгом. Согласно кварковой модели, адроны вовсе не являются мельчайшими «кирпичиками» вещества. Они сами составлены из более элементарных «кирпичиков», названных кварками. Мезоны содержат один кварк и один антикварк, а барионы (к их числу относятся протон и все адроны, конечным продуктом распада которых является протон) составлены из трех кварков². Каждому кварку приписывается свой набор квантовых чисел. Это, в первую очередь, электрический заряд, кратный $1/3$ заряда электрона, спин, равный $1/2$ (в единицах постоянной Планка $\hbar$) и т. д.

В квантовой механике частицы с полужелым спином подчиняются принципу запрета Паули, согласно которому две такие

² Более подробно о кварковой модели адронов см.: Шехтер В. М. Кварки. — Природа, 1980, № 2, с. 53.

частицы, находящиеся в одном и том же квантовомеханическом состоянии, не могут быть абсолютно одинаковыми, или, как говорят, тождественными. Оказалось, однако, что один из барионов, Ω -гиперон, свойства которого достаточно хорошо изучены в эксперименте, должен состоять (согласно первоначальному варианту кварковой модели) из трех тождественных кварков — расположенных в одной и той же области пространства трех частиц с одинаковым набором квантовых чисел. Избежать противоречия с принципом Паули можно было только одним путем — наделить кварки неким дополнительным квантовым числом, которое может принимать три разных значения. Теперь три кварка, образующие Ω -гиперон, могли различаться значениями этого квантового числа и поэтому не быть тождественными. Новое квантовое число было названо цветом.

Можно только удивляться тому, что именно цвет кварка, введенный первоначально по чисто теоретическим соображениям для «примирения» кварковой модели с принципом Паули, оказался ответственным за сильное взаимодействие. Другими словами, цвет стал играть в сильном взаимодействии ту же роль, какую электрический заряд играет в электромагнитном взаимодействии. Теория сильного взаимодействия, построенная на этой аналогии, получила название квантовой хромодинамики — динамики цвета.

КВАНТОВАЯ ХРОМОДИНАМИКА

Квантовая хромодинамика (сокращенно КХД) создавалась в конце 60-х — начале 70-х годов усилиями большой группы физиков. Современная формулировка КХД была дана в докладе М. Гелл-Манна и немецкого теоретика Г. Фритча на Рочестерской конференции 1972 г. (эта конференция традиционно подводит раз в два года итоги развития физики высоких энергий). При построении КХД во главу угла были поставлены те же принципы, которые успешно использовались ранее при построении квантовой электродинамики.

Главный принцип, лежащий в основе КХД, гласит, что цветовое взаимодействие между кварками переносится безмассовыми квантами цветового поля, подобно тому как электромагнитное взаимодействие переносится безмассовыми фотонами. Кванты цветового поля названы глюонами (от англ. glue — клей). Испускание и поглощение глюонов связано с цветовыми зарядами кварков, подобно тому какиспуска-

ние и поглощение фотонов связано с электрическими зарядами частиц. Другие квантовые числа кварка (например, его электрический заряд) никакого участия в испускании и поглощении глюонов не принимают. При цветовом взаимодействии цвет как квантовое число сохраняется — так же как сохраняется электрический заряд при электромагнитном взаимодействии. Это условие, однако, еще не фиксирует вид цветового взаимодействия однозначно.

Поясним сказанное, используя аналогию с обычным цветом. Пусть для определенности цвета кварков суть красный, зеленый и синий. В калориметрии (а также цветном телевидении!) эти цвета выбираются в качестве основных. Если, например, красный кварк, испустив глюон, остается красным, то глюон не переносит цвета, или, как принято говорить, является белым (бесцветным). Подобная ситуация имеет место в квантовой электродинамике, где электрический заряд частицы не меняется при испускании ею фотона, поскольку фотон электрически нейтрален. Это — первая возможность.

Вторая возможность — это когда красный кварк становится после испускания глюона, скажем, зеленым. Теперь при испускании глюона цвет кварка поменялся. Это означает, что глюон сам является окрашенным, а не белым, как при первой возможности. Имеется несколько различных типов глюонов, отличающихся своей раскраской. Ее удобно характеризовать парой цветов, которыми обладал кварк до и после испускания (или поглощения) глюона. Всего возможны девять таких пар цветов: произведение трех возможных цветов кварка до испускания (поглощения) и трех — после. Девять есть полное число различных типов глюонов, которые может испустить или поглотить кварк, если не накладывать дополнительных условий, кроме сохранения цвета. В это число включен и рассмотренный выше белый глюон, который не перекрашивает кварк. Это легко понять, используя аналогию с обычным белым цветом, который получается смешиванием одинаковых количеств красного, зеленого и синего цветов. После исключения белого глюона, уже рассмотренного в качестве нашей первой возможности, остается только восемь цветных глюонов, которые, как говорят, образуют октет.

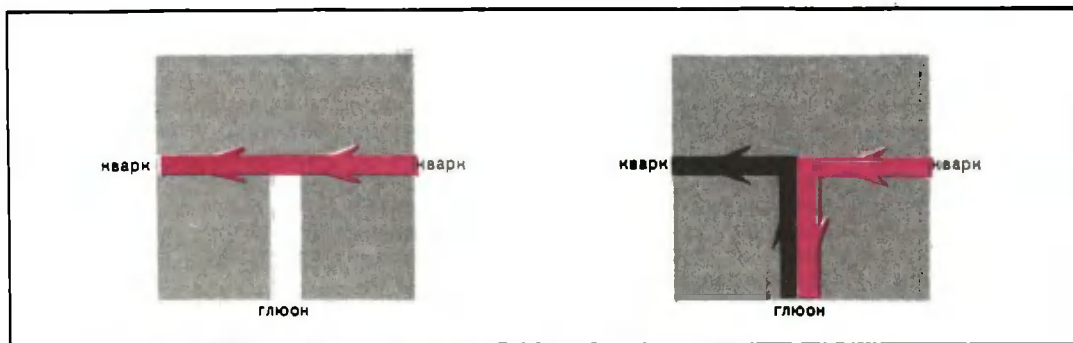
Нельзя отдать предпочтение теории с белым или цветными глюонами, руководствуясь, скажем, только эстетическими соображениями. Обе теории удовлетворяют, на первый взгляд, критерию, сформулиро-

ванному для физической теории Р. Фейнманом, удостоенным в 1963 г. Нобелевской премии за создание современной квантовой электродинамики: быть простой и не быть явным заблуждением³. Только сравнение с опытом следствий, к которым приводит каждая из теорий, позволило сделать выбор в пользу октетного варианта.

Остановимся на одном из таких следствий. Из цветных кварка и антикварка можно построить девять мезонных состояний, различающихся только цветом и имеющих

далью катастрофически — в 8 раз. Ничего подобного в эксперименте не наблюдается. Таким образом, уже одно из простейших следствий теории с белым глюоном не согласуется с опытом. Этот вариант был отвергнут.

Напротив, теория с октетом глюонов (именно ее сейчас называют КХД, а октетные глюоны — просто глюонами) оказалась вполне жизнеспособной. Теперь взаимодействие не является диагональным по цвету, и поэтому свойства белых и цветных



Испускание (или поглощение) глюона красным кварком. Если глюон бесцветный (белый), то цвет кварка не меняется (с л е в а). Если же глюон окрашен, то кварк свой цвет может поменять (с п р а в а). Стрелки на линиях, изображающих двухцветный глюон, указывают направление, в котором переносится данный цветовой заряд. Полная сумма цветовых зарядов, приносимых и уносимых кварком и глюоном, равна нулю (цветовой заряд сохраняется).

одни и те же другие квантовые числа. Одно из этих девяти состояний является белым, а восемь остальных образуют, подобно октету глюонов, цветовой октет. Если бы мы остановили свой выбор на теории с белым глюоном, то массы белого и октетного мезонов оказались бы одинаковыми, поскольку при обмене белым глюоном взаимодействие между кварками не зависит от того, в каком состоянии по цвету они находятся (как говорят, взаимодействие является диагональным по цвету). Число мезонов в такой теории увеличивается по сравнению с первоначальной кварковой мо-

достояний должны различаться. В рамках КХД удалось объяснить также и другие многочисленные проявления сильного взаимодействия (о некоторых из них будет рассказано ниже). При этом на передний план выходят специфические свойства самодействия октетного глюонного поля.

КАЛИБРОВОЧНЫЕ ПОЛЯ

Изобразить глюон можно парой цветных линий. Каждой из них соответствует цветовой заряд, который может испустить глюон совершенно так же, как его испускает цветовой заряд кварка. Испущенный глюон может в свою очередь испустить новый глюон и так далее. Такой процесс испускания глюонов глюонами называется самодействием глюонного поля. Математически самодействие проявляется в том, что уравнения, описывающие глюонное поле, являются нелинейными. Характер нелинейности можно установить с помощью некоего общего принципа, к изложению которого мы сейчас приступаем.

Глюонное поле принадлежит к числу так называемых калибровочных полей. По современным представлениям, калибровочные поля являются переносчиками всех видов взаимодействия: сильного, электро-

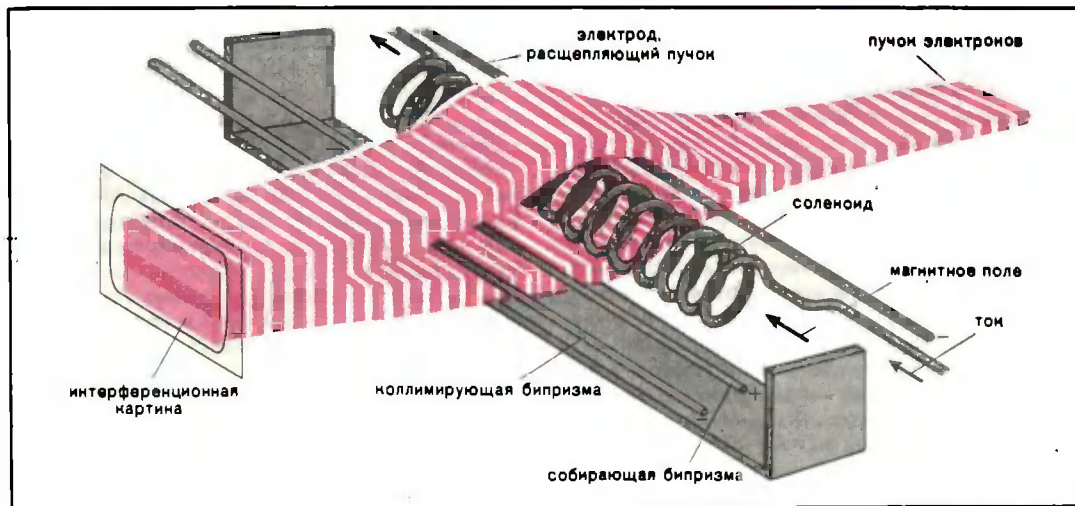
³ Фейнман Р. Характер физических законов. М., 1968.

магнитного, слабого, гравитационного (согласно корпускулярно-волновому дуализму, этим полям соответствуют частицы: глюоны, фотоны, промежуточные бозоны W и Z , гравитоны)⁴. По своим свойствам калибровочные поля радикально отличаются, например, от полей кварков или электронов, из которых образуется вещество. Поясним это отличие на примере простейшего калибровочного поля — электромагнитного.

В квантовой механике состояние заряженной частицы (например, электрона)

описывается волновой функцией, зависящей от координат частицы и от времени. Для электромагнитного взаимодействия существенным является наличие у волновой функции комплексной фазы. Если бы в природе не было электромагнитных полей, то разность фаз волновой функции в различных точках пространства была бы наблюдаема (например, с помощью интерференционных явлений).

Для частицы в электромагнитном поле значение фазы в данной точке уже



Принципиальная схема эксперимента Ааронова — Бома, демонстрирующего калибровочный характер электромагнитного поля. Пучок электронов, рассеянный с помощью специального электрода на две части, огибает соленоид, не попадая в ту область пространства, где есть магнитное поле. Пучки затем соединяются и наблюдается их интерференция. (Для того чтобы электронные пучки были когерентными, диаметр соленоида должен быть чрезвычайно мал — 14 мкм, меньше одной седьмой толщины человеческого волоса. Поэтому экспериментальная установка помещается в электронный микроскоп.) Несмотря на то что электронные пучки внутри соленоида не попадают, изменение силы тока в нем влияет на величину разности фаз между пучками. В результате, интерференционная картина смещается.

не имеет абсолютного смысла, а простая разность фаз не проявляется в физических эффектах. Чтобы сравнить фазы в двух разных точках, нужно сначала произвести «перенос» фазы из одной точки в другую, иными словами, прибавить к исходному значению фазы число, определяемое электромагнитным полем в промежуточных точках пути, по которому мы «переносим» фазу из одной точки в другую.

Все это очень напоминает процесс измерения расстояния на земной поверхности. Если мы определили (скажем, по звездам) расстояние в градусах между двумя точками, расположенными на одной параллели, то нам нужно будет еще заглянуть в таблицу, чтобы узнать, сколько километров соответствуют для данной параллели одному градусу. В этом примере расстояние в градусах вдоль данной параллели имеет аналогом значение фазы волновой функции в данной точке, а таблица, позволяющая переводить это расстояние в километры, аналогична электромагнитному

⁴ Более подробно о калибровочных полях, на основе которых в настоящее время делаются попытки построить единую теорию фундаментальных взаимодействий см.: Анселм А. А. В поисках единой теории фундаментальных взаимодействий. — Природа, 1980, № 6, с. 9; № 7, с. 63.

полю. Таким образом, электромагнитное поле осуществляет «калибровку» фазы — дает возможность сравнивать фазы в разных точках. Отсюда и происходит название «калибровочные поля».

На самом деле наша аналогия калибровочного поля с таблицей будет еще точнее, если в таблице указать только, как изменится соотношение между градусом и километром в зависимости от широты местности при добавлении к широте одного и того же (малого) значения. Другими словами, калибровочное поле можно определить как величину, которая добавляется к фазе при ее переносе на малое расстояние.

В этом месте у читателя могло возникнуть естественное недоумение: каким образом электромагнитные поля, которые нагревают Землю солнечными лучами и заставляют электрический ток течь по проводам, можно сравнивать с какой-то таблицей? Хочу сразу оговориться, что, кроме участия в привычных всем нам явлениях, электромагнитное поле выполняет еще и калибровочные функции, которые имеют тонкие проявления в квантовой механике и роднят его с таблицей. Я имею в виду такие эффекты, для которых реальные электрические или магнитные поля в рассматриваемой области пространства отсутствуют, но калибровочный характер электромагнитного поля тем не менее проявляется.

Наиболее известен в этой связи эксперимент, предложенный в 1959 г. Я. Аароном и Д. Бомом. В этом эксперименте пучок электронов огибает с двух сторон катушку с током, не проникая в ту область пространства, где есть реальное магнитное поле. Тем не менее у электронов, огибающих катушку с разных сторон, возникает дополнительная разность фаз, которая проявляется при их интерференции, а именно интерференционная картина смещается⁵.

Разность фаз, измеряемая в эксперименте Аарона — Бом, пропорциональна потоку магнитного поля внутри катушки. Она равна изменению фазы при мысленном переносе электрона по замкнутой кривой вокруг катушки (поскольку сдвиг фазы имеет разные знаки при переносе по одному и тому же пути в противоположных направлениях). Множитель, возникающий при этом у волновой функции, называется фазовым фактором. Таким образом, фазовые факторы суть наблюдаемые величины.

Существует обобщение понятия фазового фактора на случай глюонного поля. Если мы взяли, скажем, красный кварк и стали обносить его по замкнутой кривой в глюонном поле, то цвет кварка будет все время меняться при переходе от точки к точке (это аналогично изменению фазы для случая электромагнитного поля). Результирующий цвет кварка после такой процедуры нужно разложить по трем основным цветам и найти множитель, которым проекция на красный цвет отличается от исходной величины волновой функции. Затем то же самое нужно сделать для зеленого и синего кварков и сложить три получившихся множителя. Сумма и есть фазовый фактор для глюонного поля.

Фазовые факторы играют важнейшую роль в современных формулировках калибровочных теорий. Как было показано в 1980 г. А. А. Мигдалом (Институт теоретической физики им. Л. Д. Ландау АН СССР) и автором, в КХД можно не только выразить все наблюдаемые величины через фазовые факторы, но и записать через них сами уравнения, описывающие глюонные поля. Поэтому не следует удивляться тому, что фазовые факторы определяют вес, с которым происходит усреднение по квантовым флуктуациям калибровочного поля, и, следовательно, полностью фиксируют характер его взаимодействия.

КВАНТОВЫЕ ФЛУКТУАЦИИ

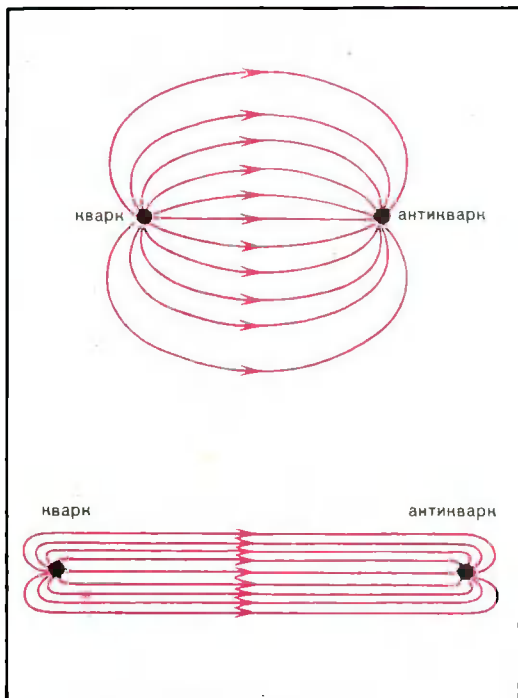
В предыдущем разделе мы считали калибровочное поле заданным, т. е. известным во всех точках пространства во все моменты времени. Такие поля называются классическими. Однако реальные поля флуктуируют в пространстве и во времени. Причиной флуктуаций является квантowo-механическое соотношение неопределенностей, согласно которому неопределенность в значении энергии тем больше, чем меньше время ее измерения.

Поскольку энергия поля непосредственно определяется его напряженностью, то принцип неопределенности ведет к тому, что в какой-то области пространства напряженность поля на очень короткое время может стать отличной от своего классического значения. Такие «мигания» поля и называются квантовыми флуктуациями. Величина флуктуации тем больше, чем меньше ее пространственные размеры и время существования.

В квантовой теории флуктуации поля могут иметь место и в вакууме, где классическое поле просто отсутствует. Таким

⁵ Об эксперименте Аарона — Бом см.: Бернштейн Г., Филлипс Э. — Усп. физ. наук, 1982, т. 136, вып. 4, с. 665.

образом, из-за квантовых флуктуаций вакуум больше не является пустым пространством, каким он был в классической теории, не рассматривающей квантовые эффекты. Например, в квантовой электродинамике вакуум «мигает» появляющимися на короткое время электрон-позитронными парами. (Такие поля и частицы принято называть виртуальными.) Свойства квантового вакуума могут радикально отличаться от свойств пустого пространства.



Картина силовых линий глюонного поля в системе кварк-антикварк. Пока кварки находятся на расстояниях, меньших характерного масштаба сильного взаимодействия (10^{-13} см), она отвечает потенциалу кулоновского типа (вверху). Когда расстояние между кварками становится больше 10^{-13} см, силовые линии стягиваются в трубку (внизу). Этому случаю отвечает потенциал, линейно растущий с расстоянием.

В квантовой электродинамике при изучении свойств вакуума в качестве «лакусовой бумажки» обычно используется зависимость от расстояния потенциала взаимодействия между двумя неподвижными (тяжелыми) зарядами, которые называют

пробными. В пустом пространстве потенциал описывается хорошо известным законом Кулона. Квантовый вакуум обладает слабыми диэлектрическими свойствами и лишь чуть-чуть изменяет этот закон. Количественно это «чуть-чуть» определяется величиной заряда электрона, квадрат которого в системе единиц, принятой в физике элементарных частиц⁶, совпадает с постоянной тонкой структуры $\alpha = 1/137$. Изменение закона взаимодействия происходит за счет того, что фотон, испущенный пробным зарядом, может поглотиться одним из виртуальных электронов (или позитронов), а затем будет возвращен им другому пробному заряду. Вероятность такого события пропорциональна α , поскольку вероятность поглощения (и испускания) фотона электроном пропорциональна его заряду, а следовательно мала. Таким образом, в квантовой электродинамике поправки к закону Кулона малы (поскольку мала α) и их можно вычислять в виде ряда по степеням α (т. е. по числу поглощений и испусканий фотонов). Такой ряд называют рядом теории возмущений и говорят, что в квантовой электродинамике применима теория возмущений.

Виртуальные электроны и позитроны притягиваются к пробным зарядам (электроны к положительному, а позитроны к отрицательному) и экранируют их, т. е. уменьшают их абсолютное значение. Если мысленно «измерить» заряд внутри маленькой сферы, окружающей пробный заряд, то окажется, что он увеличивается при уменьшении радиуса сферы. Такой заряд называется эффективным зарядом для данного расстояния.

На первый взгляд, ничего похожего на применимость теории возмущений в КХД быть не может, поскольку вероятность испускания глюона велика (взаимодействие ведь сильное!). Не будем, однако, спешить с выводами. Как было отмечено в 1973 г. американскими теоретиками Г. Политцером и независимо Д. Гроссом совместно с Ф. Вильчиком, эффективный цветовой заряд пробного кварка в КХД убывает при уменьшении радиуса сферы, а не растет, как в квантовой электродинамике. Этот эффект связан со специфическими свойствами взаимодействия глюона, испущенного пробным кварком, с виртуальными глюонами. Точно так же эффективный цветовой заряд виртуального глюона (т. е. вероят-

⁶ В такой системе единиц $\hbar$ (постоянная Планка) = c (скорости света) = 1, соответственно спин, как и электрический заряд, безразмерен.

ность испускания или поглощения им глюона) убывает при уменьшении размера глюонной флуктуации. Такой эффект называют «антиэкранировкой», или асимптотической свободой.

Когда пробные кварки разнесены на малые расстояния, при которых их эффективный заряд мал, в пространстве между кварками умещаются только глюонные флуктуации малого размера, для которых эффективный заряд также мал. Поэтому, как и в квантовой электродинамике, применима теория возмущений по эффективному заряду, так что закон взаимодействия между кварками слабо отличается от закона Кулона.

Есть, однако, важнейшее различие между свойствами вакуума в КХД и в квантовой электродинамике. Когда расстояние между пробными кварками велико, становятся существенными глюонные флуктуации большого размера, для которых эффективный заряд не мал. Такие флуктуации охотно поглощают и испускают глюоны, так что исходный глюон, испущенный пробным кварком, вызывает целую лавину новых глюонов. Нет никаких оснований ожидать, что на больших расстояниях цветовое взаимодействие по-прежнему описывается законом Кулона.

С этим свойством глюонного вакуума долгое время связывались (оправдавшиеся! о чем речь ниже) надежды на то, что КХД способна объяснить, почему кварки, прекрасно чувствующие себя, пока они находятся в связанном состоянии внутри адронов, не могут существовать в свободном состоянии. Кварки нельзя «расташить» на большие расстояния, если возникающий между ними потенциал из-за свойств вакуума неограниченно растет при увеличении расстояния. Хотя любой растущий потенциал годится для этой цели, наиболее привлекательная физическая картина возникает, если потенциал растет с расстоянием линейно, так что сила, с которой пробные кварки действуют друг на друга, от расстояния не зависит.

Это явление удобно описывать на языке силовых линий. Цветовые силовые линии начинаются на кварке и заканчиваются на антикварке, подобно фарадеевским силовым линиям между электрическими зарядами. Пока кварки находятся на малых расстояниях, картина силовых линий мало чем отличается от случая электродинамики. Однако, когда кварки достаточно далеки друг от друга, картина меняется. Если предположить, что силовые линии стянуты в трубку, соединяющую кварки, то это будет

как раз тем, что нужно для возникновения линейно растущего потенциала. Плотность энергии (она пропорциональна квадрату числа силовых линий, которые пронизывают поверхность единичной площади, перпендикулярную им) постоянна вдоль трубки, так что полная энергия, запасенная в глюонном поле, линейно растет с расстоянием, что и приводит к линейно растущему потенциалу между кварками. Такая картина, по-видимому, впервые предложена в 1974 г. американскими теоретиками Дж. Когутом и Л. Саскиндом (трудность в установлении «отцовства» в данном случае вызвана тем, что она быстро стала научным фольклором).

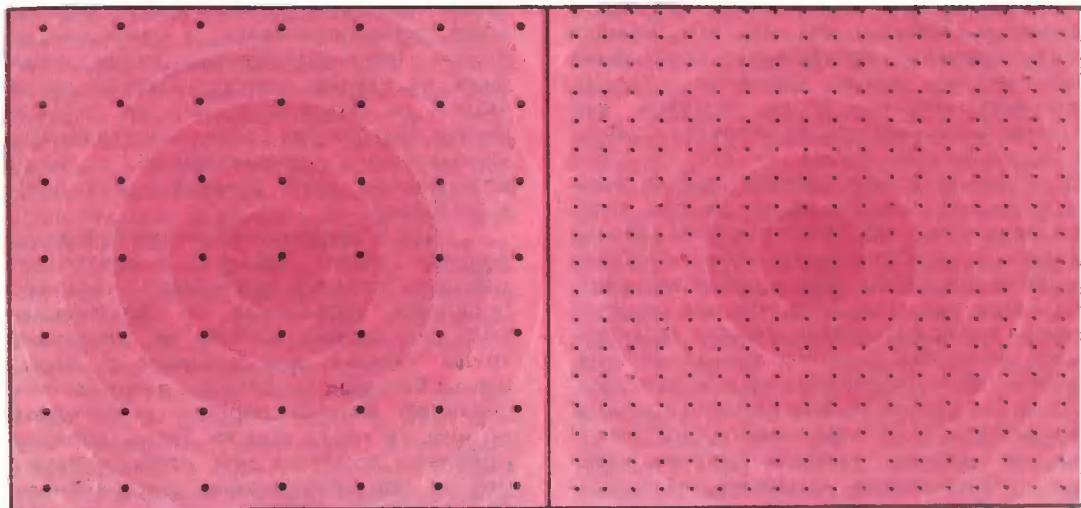
Теория возмущений не способна объяснить, по какой причине силовые линии глюонного поля стягиваются в трубку. Как уже отмечалось, для этого нужно рассматривать большие вакуумные флуктуации, к которым теория возмущений неприменима. Расчеты явлений, обусловленных такими флуктуациями, удалось провести с помощью так называемой решеточной формулировки КХД.

РЕШЕТОЧНАЯ ФОРМУЛИРОВКА

Выше мы проводили аналогию калибровочного поля с таблицей, позволяющей сравнивать значения фазы волновой функции в соседних точках пространства. Однако наше пространство непрерывно, т. е. между любыми двумя его точками всегда найдутся новые точки, также ему принадлежащие. Если здесь проявить излишнее трудолюбие и составлять таблицы для переноса фазы на все меньшие и меньшие расстояния, то конца этому не будет. Но если в таблицу заносить только изменение фазы при переносе по малому пути, поделенное на длину этого пути, то довольно скоро мы увидим, что получаемые значения достигают «насыщения», т. е. практически не меняются при дальнейшем уменьшении длины пути.

Этот факт имеет важный смысл. Он означает, что есть некий характерный масштаб, такой, что расстояния, намного меньшие его, можно не рассматривать — ничего нового мы не получим. Для КХД таким характерным масштабом является, скажем, размер протона (10^{-13} см). Гораздо меньшие масштабы, например 10^{-15} см, отношения к сильному взаимодействию не имеют, а характерны для слабого взаимодействия и являются предметом рассмотрения другой теории.

Поясним сказанное с помощью простой аналогии. Пусть нас интересует не КХД,

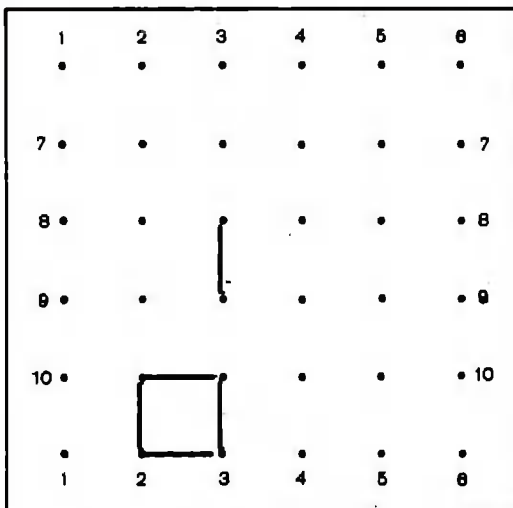


Пример описания с помощью дискретной решетки непрерывно меняющейся величины (в данном случае это плавно изменяющаяся яркость цветового пятна). На «грубой» решетке (с л е в) яркость в промежутках между соседними точками решетки меняется сильно. Такая решетка не может правильно передать изменение яркости. При более мелкой решетке (с п р а в) существенного перепада яркости при пе-

реходе от одного узла к другому не происходит. Описание изменения яркости теперь можно провести, следя только за ее значениями в точках решетки. Аналогично этому в КХД можно безболезненно ввести решетку, расстояния между соседними точками которой меньше характерного масштаба сильного взаимодействия.

а прогнозирование погоды. Полное число возможных состояний погоды необъятно, если следить за погодой в каждой точке атмосферы. Однако так никто не поступает. «Огрубим» задачу, следя за состоянием погоды не во всех точках атмосферы, а лишь в конечном числе точек, образующих некоторую сетку. Задача сильно упростилась, и теперь небезнадежно пытаться производить расчеты погоды. Ясно, что для достижения успеха необходимо, чтобы характерный масштаб изменения погоды был бы гораздо больше расстояния между соседними точками нашей сетки. Если, однако, прогноз погоды на ближайшее воскресенье не оправдывается и вместо прекрасной солнечной погоды неожиданно пойдет дождь, не надо отчаиваться — просто размер сетки, возможно, не был достаточно мал.

В калибровочных теориях непрерывное пространство также заменяют дискретной сеткой из его точек, в которых и следят за значениями фазы. Сетку выбирают так, чтобы расстояние между соседними точками было бы одинаковым (как для ионов в кристалле поваренной соли). Совокупность точек пространства, образующих такую регулярную сетку, называ-



Двумерная решетка размером 6×6 (иными словами, имеющая по 6 узлов в каждом направлении). Точками обозначены узлы решетки, линией, соединяющей соседние точки, ее ребро. Изображена также одна из граней решетки — плоскость, ограниченная четырьмя стыкующимися ребрами. Узлы, обозначенные одинаковыми цифрами, отождествлены. Такие граничные условия называются периодическими. Они используются при вычислениях методом Монте-Карле в КХД.

ют решеткой, а сами точки — узлами решетки. Узлы — это все, что остается от непрерывного пространства. Кратчайшие промежутки между соседними узлами называют ребрами (а не прутьями, как можно было ожидать по аналогии с обычной решеткой). Ребра — это те пути, по которым осуществляется перенос фазы в соседний узел (на самих ребрах фазы не имеют смысла). Таким образом таблица значений калибровочного поля составлена именно для ребер. Длина ребра называется шагом решетки. Ясно, что шаг решетки нужно выбирать гораздо меньше характерного масштаба сильного взаимодействия, чтобы структура решетки не чувствовалась. Тогда сама решетка будет просто хорошей аппроксимацией непрерывного пространства, как в случае с погодой. Наконец, квадрат, ограниченный четырьмя стыкующимися ребрами, называется гранью. Граница грани есть наименьший замкнутый путь, по которому можно переносить фазу.

Фазовые факторы, соответствующие границам граней, играют ключевую роль в решеточной формулировке калибровочной теории, предложенной в 1974 г. американским теоретиком К. Вильсоном⁷ и независимо сотрудником Института теоретической физики им. Л. Д. Ландау А. М. Поляковым. Сумма таких фазовых факторов по всем граням решетки определяет весовой фактор, который сопоставляется различным квантовым флуктуациям калибровочного поля. О том, как конкретно выполняется усреднение по флуктуациям, будет рассказано в следующем разделе.

Решеточная формулировка оказалась чрезвычайно полезной при изучении стягивания в трубку силовых линий глюонного поля. Такое стягивание легче всего продемонстрировать для чересчур «огрубленной» решетки, шаг которой не меньше, как это должно быть, а больше 10^{-13} см. Упрощения связаны с тем, что большие флуктуации (характерный масштаб которых также 10^{-13} см) происходят теперь прямо на одном ребре.

Большие флуктуации не позволяют силовым линиям разойтись по всему пространству, а заставляют их стягиваться в трубку. Происходит это по той простой причине, что большие флуктуации при усреднении гасят друг друга во всем пространстве вне трубки и не позволяют

пробиться туда относительно слабому полю, ассоциированному с силовыми линиями. Поскольку силовые линии, начавшись на кварке, просто обязаны закончиться на антикварке, им не остается ничего другого, как расположиться по пути «наименьшего сопротивления», т. е. по кратчайшему пути, соединяющему кварк и антикварк.

Для большого шага решетки Вильсон получил такую картину в результате довольно простых вычислений, поскольку проводить усреднение по флуктуациям поля на одном ребре не составляет труда. Однако для решетки с малым шагом большие флуктуации распределены сразу по многим ребрам, и усреднять по ним не так-то просто. Таким образом, проблема состоит в том, чтобы показать, что и при уменьшении шага решетки большие флуктуации остаются причиной, которая вынуждает силовые линии стягиваться в трубку. Сделать это удастся с помощью численного метода Монте-Карло.

МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО

В квантовой теории физические величины получают усреднением по всем квантовым флуктуациям. Средние значения определяются следующим образом. Каждой флуктуации соответствует своя таблица значений калибровочного поля на всех ребрах решетки. Эту таблицу называют конфигурацией поля. Для данной конфигурации вычисляется значение интересующей нас величины, например фазового фактора. Затем выполняется усреднение по всем возможным конфигурациям в том смысле, как его понимают математики. При усреднении вклад каждой конфигурации учитывается со своим весовым фактором, характеризующим, насколько эта конфигурация важна. Весовой фактор можно представить себе как вероятность появления данной конфигурации при квантовых флуктуациях.

На самом деле такой способ действия, при котором усреднение нужно проводить с учетом всех возможных конфигураций, является по существу математическим определением, а не конструктивным способом вычисления средних, поскольку перебрать все конфигурации невозможно. Наша аналогия с погодой подсказывает, чем можно заменить эту процедуру. При нахождении, скажем, среднего значения температуры за месяц никто не перебирает

⁷ См.: Мигдал А. А. Лауреаты Нобелевской премии 1982 г.: по физике — К. Вильсон. — Природа, 1983, № 1, с. 90.

все возможные состояния погоды. Достаточно снять с термометра ряд показаний (например, через каждый час) и найти их среднее арифметическое. Весовые факторы, соответствующие различным «конфигурациям» погоды, при таком способе действия учитываются автоматически, поскольку вероятность появления данной конфигурации за время наблюдения определяется как раз весовым фактором. При достаточно большом числе измерений это значение совпадает со средним, вычисленным с учетом всех возможных конфигураций. Это гарантируется общими теоремами теории вероятности⁸.

Идея метода Монте-Карло состоит в том, чтобы смоделировать на ЭВМ процесс реальных квантовых флуктуаций калибровочного поля (в примере с погодой — изменение погоды). Название метода происходит от города Монте-Карло, где в игорных домах каждую ночь проводится «экспериментальная проверка» теории вероятности. При использовании метода Монте-Карло центральная роль отводится построению такой последовательности конфигураций, для которой вероятность появления данной конфигурации определяется ее весовым фактором. Каждый раз ЭВМ «помнит» только последнюю конфигурацию, из которой новая конфигурация получается по вполне определенному алгоритму, но случайным образом, а история процесса несущественна (такой процесс математики называют марковским случайным процессом). Таким образом, на каждом этапе процесс носит вероятностный характер, а его «направление» выбирается случайно, с помощью «встроенного» в ЭВМ датчика случайных чисел (рулетка в г. Монте-Карло — один из примеров такого датчика). Наконец, вычисления физических величин производятся по простой формуле среднего арифметического (как в примере с температурой), поскольку каждая конфигурация в нашей последовательности уже «весит» столько, сколько нужно.

Еще несколько слов о деталях вычислений. Каждая конфигурация поля задается соответствующей таблицей. Число ячеек в таблице, необходимое для полного описания одной конфигурации, называется числом степеней свободы. Если решетка

имеет бесконечную протяженность в пространстве, то число степеней свободы бесконечно (хотя счетно) и метод Монте-Карло неприменим. Чтобы сделать число степеней свободы конечным, протяженность решетки нужно ограничить в пространстве. Поскольку, как уже говорилось, решетка для нас не более чем способ аппроксимации непрерывного пространства, желательно иметь дело с решеткой настолько большой протяженности (в единицах шага решетки), насколько это позволяет возможности ЭВМ. Для современных ЭВМ «рекордной» пока является решетка, имеющая 16 узлов по каждой из четырех осей пространства-времени. С учетом внутренних степеней свободы (цвета и спина глюонов) это дает огромное число (более 2 млн) степеней свободы. Усреднение по квантовым флуктуациям системы с таким числом степеней свободы эквивалентно вычислению интеграла той же кратности. Можно только удивляться, что метод Монте-Карло позволяет делать это.

При расчетах методом Монте-Карло ЭВМ как бы имитирует процессы, происходящие в реальных системах. Поэтому такие расчёты часто называют численными экспериментами. В калибровочных теориях численные эксперименты были начаты в 1979 г. американскими теоретиками Л. Джэкобсом, М. Кройтцем и К. Ребби, которые разработали для них методику, основанную на применении метода Монте-Карло. В настоящее время такие численные эксперименты активно ведутся во многих научных центрах, в том числе в Институте теоретической и экспериментальной физики и в Объединенном институте ядерных исследований (Дубна). Общее количество потребляемого машинного времени измеряется уже тысячами часов на самых совершенных ЭВМ, а его стоимость приближается к стоимости экспериментов, проводимых на ускорителях. О некоторых из полученных результатов рассказывается в следующем разделе.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Методика, по которой в КХД проводятся вычисления методом Монте-Карло, настолько совершенна, что позволяет работать с огромным числом степеней свободы и получать результаты, имеющие отношение к непрерывному пределу. К сожалению, некоторые из моих коллег не уделяют пока должного внимания этим результатам. В статьях еще можно встретить высказывание, что мы пока

⁸ Об основных понятиях теории вероятности и методе Монте-Карло см.: Соболев И. М. Метод Монте-Карло. Популярные лекции по математике. Вып. 46. М., 1972.

беспомощны в получении ответа на вопрос, является ли невылетание кварков прямым следствием из первых принципов КХД. Я думаю, однако, что это связано не с принципиальными возражениями, а главным образом с «силой инерции». Не следует, однако, впадать и в другую крайность. Результаты, полученные с помощью численных методов (к тому же на решетке не очень большого размера), никак нельзя считать окончательным ответом.

Расчет картины силовых линий глюонного поля методом Монте-Карло был впервые выполнен в 1979 г. М. Кройтцем. В этих вычислениях шаг решетки изменялся в широких пределах, а наименьшее значение было достаточно мало (одновременно протяженность решетки в пространстве достаточно была велика). Это дало возможность «распределить» большие глюонные флуктуации сразу по многим ребрам и, таким образом, сделать заключение о свойствах силовых линий в непрерывном пределе. Кройтц показал, что при уменьшении шага решетки силовые линии глюонного поля между пробными кварками, разнесенными на большое расстояние, остаются стянутыми в трубку, причем картина силовых линий для решетки с малым шагом стабилизируется, т. е. не изменяется при дальнейшем уменьшении шага. Поэтому можно ожидать, что она останется такой и в непрерывном пределе. Эти расчеты подтвердили, что причина невылета кварков являются специфические свойства глюонного вакуума.

Интересно, что силовые линии электромагнитного поля ведут себя совершенно по-другому. Хотя для «грубой» решетки они также стянуты в трубку (этому не нужно особенно удивляться, ведь точная формулировка для того и была предложена, чтобы «стянуть» в трубку силовые линии), при уменьшении шага решетки происходит «фазовый переход»: силовые линии «освобождаются» и расходятся веером по всему пространству, как для закона Кулона. Таким образом, в непрерывном пределе решеточной формулировки квантовой электродинамики электроны (в отличие от кварков в КХД) вылетают. Так и должно быть: мы все прекрасно знаем, что в природе свободные электроны существуют.

На такой трудной задаче, какой является невылетание кварков в КХД, метод Монте-Карло показал свою жизнеспособность. Затем он был применен к вычислениям различных характеристик сильного

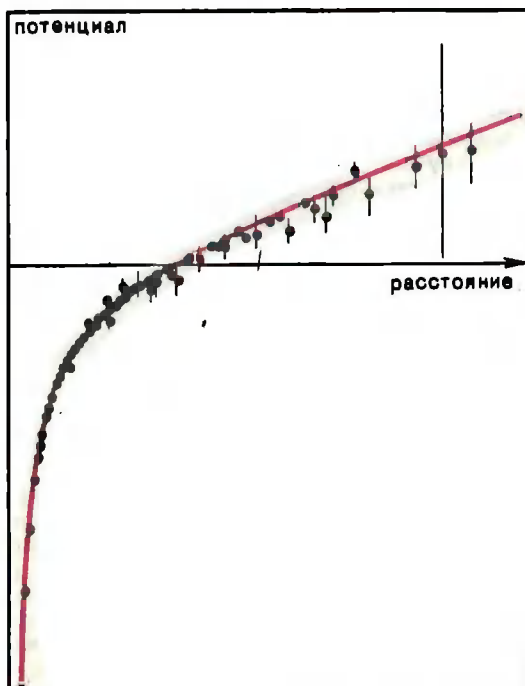
взаимодействия, основанному на первых принципах КХД. Расчет потенциала взаимодействия между тяжелыми кварками показывает, что на малых расстояниях потенциал имеет кулоновский вид, а при увеличении расстояния он сменяется линейно растущим потенциалом. Во всем диапазоне расстояний результат вычислений методом Монте-Карло хорошо описывается простой суммой кулоновского и линейно растущего потенциалов. Такой потенциал (называемый потенциалом типа воронки) использовался теоретиками при изучении мезонов, составленных из «тяжелых» кварков⁹. Параметры, характеризующие эти потенциалы, также находятся в количественном согласии.

Одной из наиболее интересных задач, к решению которой привлечен метод Монте-Карло, является вычисление спектра масс адронов. Такие вычисления гораздо более трудны, чем вычисление потенциала, поскольку к имеющемуся огромному числу степеней свободы глюонного поля добавляются степени свободы кварков. Методика, позволяющая при вычислениях в КХД методом Монте-Карло учитывать кварки настолько точно, насколько точно учитываются глюоны, разработана в 1981 г. независимо несколькими группами исследователей (в этот период теоретики, занимающиеся численными экспериментами в КХД, стали объединяться в довольно большие группы, включающие, как правило, и профессиональных программистов, так что перечислить все фамилии довольно трудно). Однако ее практическое использование требует настолько большого количества операций, что это оказалось не под силу даже самым совершенным суперкомпьютерам нынешнего поколения (например, «Cray-1S» с производительностью примерно 100 млн операций в секунду).

Выход, найденный из сложившейся ситуации, весьма поучителен. Поскольку мы имеем возможность «выключать» при вычислениях те или иные эффекты, были «выключены» все эффекты, обусловленные рождающимися из вакуума виртуальными кварками. Это привело к существенному уменьшению трубчатого счетного времени и позволило вычислить в этом приближении значения масс ряда адронов. Наиболее известна в этой связи работа, опублико-

⁹ О расчете уровней чармония (системы, составленной из очарованного кварка c и антикварка $\bar{c}$) см.: В о л о ш и н М. Б. Спектр чармония и взаимодействие кварков. — Природа, 1979, № 1, с. 54.

ванная осенью 1981 г. совместно итальянским теоретиком Дж. Паризи и американским теоретиком Г. Хамбером. С тех пор эту работу неоднократно критиковали за то, что использованный размер решетки ($12 \times 6 \times 6 \times 6$ узлов) не был достаточно велик, и повторяли вычисления на больших решетках. К настоящему времени наибольшая решетка ($20 \times 10 \times 10 \times 10$) использовалась в работе 1983 г. группой теоретиков из Европейского центра ядерных исследований (она выполнена на компью-



Зависимость потенциала взаимодействия между тяжелыми кварками от расстояния между ними. Точки получены с помощью вычисления потенциала методом Монте-Карло, а цветная линия есть сумма потенциалов двух видов — кулоновского и линейно растущего с расстоянием. [Вычисления были проведены в 1982 г. американским теоретиком Дж. Стэнком.]

тере «Cray-1S»). Оказалось, что при увеличении решетки результаты несколько меняются и их согласие с экспериментом улучшается.

Полученные методом Монте-Карло значения масс адронов и ряда других физических величин согласуются в преде-

лах имеющейся погрешности вычислений с экспериментом. Таким образом, оправдываются надежды на то, что КХД способна описать всю пестроту явлений, происходящих в физике адронов при низких энергиях.

Метод Монте-Карло позволяет, однако, не только воспроизводить то, что уже известно, но и получать в КХД значения величин, которые на опыте пока не измерены, и даже предсказывать новые физические явления. Упомяну в этой связи рассчитанное методом Монте-Карло значение температуры, начиная с которой сильновзаимодействующая материя существует в природе не в виде адронов, а в форме кварк-глюонной плазмы. Другими словами, вакуум КХД, нагретый до таких температур (примерно $2,5 \cdot 10^{12}$ К), полностью лишается свойств, приводящих к незыблению кварков (на этот эффект обратили внимание А. М. Поляков и независимо Л. Саскинд). Явления такого типа можно будет скоро изучать экспериментально на строящихся сейчас ускорителях тяжелых ионов. Пока физики моделируют их в КХД методом Монте-Карло.

ЭВМ ВМЕСТО УСКОРИТЕЛЕЙ?

Тем, кто занимается физикой элементарных частиц, знаком забавный персонаж Гарольд из монографии Ю. Швингера¹⁰. Роль Гарольда — задавать вопросы, которые иногда выглядят несколько наивными, но на самом деле полны глубокого смысла. Дочитав нашу статью до этого места, воображаемый Гарольд-читатель может удивленно задать вопрос, вынесенный в заголовок настоящего раздела.

Идея, что физику сильного взаимодействия можно изучать с помощью численных экспериментов на ЭВМ, кажется на первый взгляд несколько странной. Все прекрасно понимают, что на ЭВМ никак не откроешь нового закона природы. Однако если фундаментальные уравнения теории уже сформулированы (каковыми для теории сильного взаимодействия являются уравнения КХД), то новые физические эффекты можно искать, исследуя эти уравнения. Большое число примеров такого способа изучения природы есть в физике конденсированного состояния, где основными уравнениями служат, как

¹⁰ Швингер Ю. Частицы, источники, поля. М., 1973, т. 1; 1976, т. 2.

правило, давно известные уравнения квантовой механики, а новые явления продолжают предсказываться на «кончике пера» и в наши дни.

Проводимые сейчас в КХД численные эксперименты направлены в основном на проверку того, как следствия КХД согласуются с опытом и насколько жизнеспособен метод Монте-Карло. Этот этап неизбежен. КХД весьма молодая теория: ее возраст чуть больше 10 лет, а «стаж работы» в ней метода Монте-Карло и того меньше. Время сомнений пока не миновало. Если мы даже постановим, что стадия проверок уже завершена, то вычислительные возможности нынешнего поколения ЭВМ будут одним из ограничений, затрудняющим движение вперед. Кроме того, стоимость машинного времени, потребляемого в одном численном эксперименте, уже сейчас приблизилась к разумному пределу.

В связи с этим наиболее оптимистично настроены сейчас те, кто проводит численные эксперименты в КХД не на ЭВМ общего назначения, а с помощью процессоров, специально построенных для этих целей. Например, сконструированный в Колумбийском университете (США) специальный процессор для численных расчетов в КХД делает около 4 млрд операций в секунду. Он составлен из 256 стандартных (и весьма дешевых) микропроцессоров Intel'286, которые соединены друг с другом наиболее подходящим для данной задачи образом, так что вычисления проводятся параллельно (т. е. одновременно в разных микропроцессорах). Именно из-за последнего обстоятельства быстродействие процессора для рассматриваемой задачи существенно превосходит быстродействие «Cray-1S». По-видимому, дальнейший прогресс численных экспериментов в КХД будет связан в основном с использованием разного типа процессоров специального назначения¹¹.

Как читатель уже безусловно заметил, проведение численных экспериментов в КХД требует использования методов, которые нельзя назвать традиционными для теоретической физики. Поэтому теоретики, не потерявшие еще надежду решить проблему больших вакуумных флуктуаций в КХД аналитически, без привлечения

метода Монте-Карло (к их числу относит себя автор), часто рассматривают результаты численных экспериментов как некие «экспериментальные» данные, которые содержат, однако, даже больше информации о свойствах КХД, чем можно получить на опыте, и могут оказаться незаменимой «подсказкой» в работе.

Подводя итог, хочется сказать, что сейчас теория сильного взаимодействия в значительной мере лишилась ореола романтики, окружающей поиск новых фундаментальных законов природы. Основные уравнения, описывающие сильное взаимодействие, уже сформулированы и постепенно превращаются в «рабочий инструмент» для его изучения. Этот процесс неизбежен и происходит рано или поздно с любой физической теорией. Что же — тем лучше. Значит, передний край науки углубляется еще дальше в Неизведанное.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Вильсон К. КОМПЬЮТЕРЫ В ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ. — Природа, 1983, № 11.

Рейби К. РЕШЕТОЧНАЯ ТЕОРИЯ УДЕРЖАНИЯ КВАРКОВ. — В мире науки, 1983, № 4.

Макеенко Ю. М. РЕШЕТОЧНЫЕ КАЛИБРОВОЧНЫЕ ТЕОРИИ И ИХ ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО. — Элементарные частицы. Десятая школа физики ИТЭФ. Вып. 3. М.: Энергоиздат, 1983.

¹¹ О многопроцессорном комплексе ПС-2000, созданном в нашей стране, см.: Трапезников В. А., Прангишвили И. В. и др. — Приб. и сист. упр., 1981, № 2, с. 29.

О природе научного открытия

М. Г. Ярошевский



Михаил Григорьевич Ярошевский, доктор психологических наук, заведующий сектором проблем научного творчества Института истории естествознания и техники АН СССР, Занимается проблемами теории, истории и социальной психологии науки. Автор многих книг и монографий, в том числе: Проблема детерминизма в психофизиологии XIX в. Душанбе, 1961; Иван Михайлович Сеченов. Л., 1968; Психология в XX столетии. Изд. 2-е. М., 1974; Развитие и современное состояние западной психологии. М., 1974; Человек науки. М., 1974 (редактор и соавтор); История психологии. Изд. 2-е. М., 1976; Школы в науке. М., 1977 (редактор и соавтор); Сеченов и мировая психологическая мысль. М., 1981 и др. Неоднократно печатался в «Природе».

К термину «логика» мы относимся с большим почтением. Он указывает на правильность работы ума, на строгость и точность рассуждений и доказательств вывода, к которому она привела. Упрек в отступлении от предписаний логики ставит эту работу под сомнение.

Поскольку научное исследование основано на умственном труде, контролируемом логикой, оно необходимо воспринимается как нераздельно сопряженное с ней. Ученый, который не сообразуется с ее правилами, не может рассчитывать на успех, на то, что его идеи и результаты достоверны и что в этом удастся убедить других. Измена логике будет расценена как измена истине.

Возникает, однако, вопрос: если логика представляет собой непрменный атрибут научного познания, то служит ли она также и его эффективной организации в процессе получения нового знания (подобно, скажем, математике)? Надежда на создание логики, способной снабдить любого здравомыслящего человека интеллектуальной «машиной», облегчающей труд по добыванию новых результатов, воодушевляла великих философов эпохи научной революции XVII столетия Ф. Бэкона, Р. Декарта, Г. Лейбница. Их роднило стремление трактовать логику как компас, выводящий на путь открытий и изобретений.

Для Бэкона таковой являлась индукция. Ее апологетом в XIX столетии стал Дж. Милль, книга которого «Логика» пользовалась в ту пору большой популярностью среди натуралистов. Ценность схем индуктивной логики видели в их способности предсказывать результат новых опытов на основе обобщения прежних. Индукция считалась мощным инструментом победно шествовавших естественных наук, получивших именно по этой причине имя индуктивных. Вскоре, однако, вера в индукцию стала гаснуть. Те, кто произвел революционные сдвиги в естествознании, работали не по наставлениям Бэкона и Милля, рекомендовавшим собирать частные данные опыта с тем, чтобы они навели (индукция — значит наведение) на обобщающую закономерность.

После теории относительности и квантовой механики мнение, будто индукция служит орудием открытий, окончательно отвергается. Решающую роль теперь отводят гипотетико-дедуктивному методу, согласно которому ученый выдвигает гипотезу (неважно откуда она черпается) и выводит из нее положения, доступные контролю в эксперименте. Из этого было сделано заключение в отношении задач логики: она должна заниматься проверкой теорий с точки зрения их непротиворечивости, последовательности, а также того, подтверждает ли опыт их предсказания.

Некогда философы работали над тем, чтобы в противовес средневековой схоластике, применявшей аппарат логики для обоснования религиозных догматов, превратить этот аппарат в систему предписаний, как открывать законы природы. Когда стало очевидно, что подобный план невыполним, что возникновение новаторских идей и, стало быть, прогресс науки обеспечивают какие-то другие способности мышления, укрепилась версия, согласно которой эти способности не имеют отношения к логике. Задачу последней стали усматривать не в том, чтобы обеспечить производство нового знания, но чтобы определить критерии научности для уже приобретенного. Логика открытия была отвергнута. На смену ей пришла логика обоснования, занятия которой стали главными для направления, известного под именем «логического позитивизма». Линию этого направления продолжил видный современный философ К. Поппер. Одна из его главных книг называется «Логика научного открытия». Название может ввести в заблуждение, если читатель будет искать в этой книге правила для ума, ищущего новое знание. Сам автор указывает, что не существует такой вещи, как логический метод получения новых идей или как логическая реконструкция этого процесса, что каждое открытие содержит «иррациональный элемент» или «творческую интуицию в смысле Бергсона». Изобретение теории подобно рождению музыкальной темы. В обоих случаях логический анализ ничего объяснить не может. Применительно к теории его можно использовать лишь с целью ее проверки — подтверждения или опровержения. Но «диагноз» ставится в отношении «готовой», уже выстроенной теоретической конструкции, о происхождении которой логика судить не берется. Это дело другой дисциплины — эмпирической психологии.

Исследовательский поиск относится к разряду явлений, обозначаемых в психологии как «поведение, направленное на решение проблемы» (*problem-solving behavior*). Одни психологи полагали, что решение достигается путем «проб, ошибок и случайного успеха», другие — мгновенной перестройкой «поля восприятия» (так называемый «инсайт»), третьи — неожиданной догадкой в виде «ага-переживания» (нашедший решение, восклицает «ага!»), четвертые — подспудной работой подсознания (особенно во сне), пятые — «боковым зрением» — способностью заметить важную реальную, ускользающую от тех, кто сосредоточен на предмете, обычно нахо-

дящемся в центре всеобщего внимания, и т. д.¹

Большую популярность приобрело представление об интуиции как особом акте, излучаемом из недр психики субъекта. В пользу этого воззрения говорили самоотчеты ученых, содержащие свидетельства о неожиданных разрывах в рутинной связи идей, об озарениях, дарящих новое видение предмета (начиная от знаменитой «Эврика!» Архимеда). Указывают ли, однако, подобные психологические данные на генезис и организацию процесса открытия?

Логический подход обладает важными преимуществами, корнящимися во всеобщности его постулатов и выводов, в их открытости для рационального изучения и проверки. Психология же, не имея по поводу протекания умственного процесса, ведущего к открытию, надежных опорных пунктов, застряла на представлениях об интуиции или «озарении». Объяснительная сила этих представлений ничтожна, поскольку никакой перспективы для причинного объяснения открытия, а тем самым и факторов возникновения нового знания они не намечают.

Если принять рисуемую психологией картину событий, которые происходят в «поле» сознания или «тайниках» подсознания перед тем, как ученый оповестит мир о своей гипотезе или концепции, то возникает парадокс. Эта гипотеза или концепция может быть принята только при ее соответствии канонам логики, т. е. лишь в том случае, если она выдержит испытание всей цепью рациональных аргументов. Но «изготовленной» она оказывается средствами, не имеющими отношения к логике: интуитивными «прозрениями», «инсайтом», «ага-переживанием» и т. п. Иначе говоря — рациональное возникает как результат действия иррациональных сил.

Главное дело науки — открытие законов. Но выходит, что ее люди вершат свое дело, не подчиняясь никаким доступным разумному постижению законам. Такой вывод следует из анализа рассмотренной нами ситуации, касающейся соотноше-

¹ В популярной литературе описываются различные эпизоды, с которыми предание связывает открытия. Эти эпизоды один американский автор объединил под формулой «трех В». Имеется в виду начальная буква английских слов: «bath» (ванна, из которой выскочил Архимед), «bus» (омнибус, на ступеньке которого Пуанкаре неожиданно пришлось в голову решение трудной математической задачи) и «bed» (постель, где физиологу Леви приснился опыт, доказывающий химическую передачу нервного импульса).

ния логики и психологии, неудовлетворенность которой нарастает не только в силу общих философских соображений, но и острой потребности в том, чтобы можно было более эффективно организовать научный труд, ставший массовой профессией. Это, в свою очередь, сталкивает с вопросом о его ресурсах и регуляторах, о факторах, от которых зависит его успешность, уводя тем самым в область логики и психологии. Где, как не здесь, следует искать информацию о механизмах, генерирующих открытия, с тем чтобы использовать ее для рациональной организации исследовательской практики? И мы можем наблюдать, как под давлением социальных запросов происходят сдвиги, направленные на изучение этой практики, на анализ того, как реально работает ученый, на выяснение конкретных обстоятельств, в которых ему удастся достичь успеха. В частности, в западной философии возникает направление, сторонники которого, объединившись под именем «друзей открытия», выступили против логического позитивизма и концепции Поппера из-за их отказа применить принципы и категории логики для объяснения процесса порождения нового знания. Сторонники этого направления утверждают, что суверенитет разума должен быть сохранен и в отношении генезиса новых идей и гипотез. Главной темой логики должна быть не «готовая» теория, а проблемная ситуация, стремясь справиться с которой, ученый выстраивает теорию.

Обращение к проблеме как исходному пункту анализа творчества указывает на круг явлений, которыми давно занимается психология. Однако она рассматривает их с точки зрения восприятия и интересов субъекта. Под проблемной ситуацией психологи понимают такую ситуацию, в которой субъект не может успешно действовать, если он ограничивается имеющимися у него стереотипами мышления и поведения. Иной взгляд на проблемную ситуацию возникает при логическом подходе, который перемещает центр тяжести на ее предметные структурные характеристики, присущие ей объективно, безотносительно к их значимости для личности. Оказавшись в такой ситуации, личность в своем творчестве — независимо от того, осознает она это или нет — подчиняется ее объективной логике. Тем самым научное творчество получает рациональное объяснение, которого оно лишено, когда ссылаются на интуицию или на игру случая, эффектом которой являлись «вспышки гения».

Призыв к восстановлению кредо старого

Бэкона и превратить логику в «орган» творения новых идей отражает, как уже отмечалось, запросы развития науки в современную эпоху. Очевидно, что этот замысел неосуществим, если продвигаться старыми путями. Необходимо вскрыть глубинные предметно-исторические структуры научного мышления и способы их преобразования, ускользающие от формальной логики, которая не является ни предметной, ни исторической. Вместе с тем природа научного открытия, как мы полагаем, не обнажит свои тайны, если ограничиться его содержательным логическим аспектом, оставляя без внимания два других — социальный и психологический, — которые в свою очередь, должны быть переосмыслены в качестве интегральных компонентов целостной системы.

Что же побуждает нас высказать это общее предположение о «трехаспектном» подходе как одной из перспективных ориентаций в поисках выхода на новые рубежи?

Прежде всего, полная разочарований история множества попыток решить проблему в русле любого из «одноаспектных» направлений.

Не так давно президент Международного союза историков науки М. Грмек выступил с лекцией на тему «Слово в защиту освобождения истории научных открытий от мифов». Среди этих мифов он выделил три:

1. Миф о строго логической природе научного рассуждения. Этот миф воплощен в представлении, сводящем научное исследование к практическому приложению правил и категорий классической логики, тогда как в действительности оно невозможно без творческого элемента, неуловимого этими правилами.

2. Миф о строго иррациональном происхождении открытия. Он утвердился в психологии в различных «объяснениях» открытия интуицией или гением исследователя.

3. Миф о социологических факторах открытия. В данном случае имеется в виду так называемый экстернализм — концепция, которая игнорирует собственные закономерности развития науки и пытается установить прямую связь между политическими взглядами ученого и результатами его исследований (например, монархическими убеждениями Гарвея и его учением о «царственной» роли сердца, либеральными взглядами Вирхова и его клеточной патологией и т. п.).

Эти мифы, согласно Грмеку, имеют общий источник: «диссоциацию» единой

триады, образуемой тремя аспектами приобретения знания.²

Чтобы преодолеть диссоциацию, необходимо воссоздать адекватную реальность целостной и объемную картину процесса открытия. И, конечно, соединением «мифов» эту задачу не решить.

Огромные трудности в изучении процесса деятельности, приведшей к открытию, обусловлены тем, что на всеобщее обозрение поступает результат в виде завершенного «отчета об исследовании» — публикации. Из этого продукта не извлечь информации о том, как он был добыт. Положение в известной степени облегчается, когда сохраняются «затекстовые» материалы. Так, записные книжки Ч. Дарвина пролили свет на перипетию рождения его эволюционной теории. По протоколам заседаний Общества русских врачей в Петербурге мы узнаем, в каких острых спорах пробивалась на свет идея И. П. Павлова об условных рефлексах. Известно, сколь драгоценной для выяснения обстоятельств, в которых возникает замысел, приведший к открытию, является порой переписка ученых. Но эти следы былой жизни науки крайне скудны. Монбланы данных исчезают бесследно.

Одним из способов борьбы за их «непотопляемость в Лете» может служить специально организованная беседа (интервью) исследователя творчества с автором открытия. Преимущество этого метода определяется возможностью в диалоге с собеседником, хранящим информацию, которая без него неизвлекаема, проникнуть в тончайшие связи и отношения, незримые при восприятии продукта творчества — готового текста. Особенно это важно для реконструкции социально-психологических и индивидуально-личностных моментов научной деятельности, «замаскированных» в публикации изложением полученного ре-

зультата. Исходя из этих соображений нами было проведено интервью с членом-корреспондентом АН СССР А. М. Уголевым, которому принадлежит одно из крупнейших открытий в области физиологии — открытие так называемого мембранного пищеварения.³

Остановимся на отдельных пунктах сложного пути мысли к новой научной истине.

По общепринятым классическим представлениям расщепление и усвоение пищевых веществ происходит в полости желудочно-кишечного тракта под влиянием ферментов, поступающих с изливающимися туда соками главных пищеварительных желез.

Эта схема полостного пищеварения была пересмотрена благодаря ряду открытий, среди которых выделяется открытие А. М. Уголевым еще одного механизма пищеварения, который реализуется ферментами на внешней поверхности мембран кишечных клеток. Первая публикация об этом появилась в январе 1960 г.⁴

Что же подготовило открытие, какие факторы привели к нему? Об этом мы и провели беседу с Александром Михайловичем, имея в виду выяснить обстоятельства, которые не получают обычно отражения в научной печати, но представляют большой интерес как для историка, так и для психолога науки.

Прежде всего необходимо было выяснить предметно-логическую сторону дела, объективную ситуацию в науке, создавшую у ученого исследовательскую мотивацию, потребность в том, чтобы преобразовать считавшиеся окончательно установленными принципы переработки и усвоения организмом пищевых веществ.

По многим прецедентам в истории науки известно, что стимулом к поиску обычно становится расхождение между схемой, приобретшей репутацию классической, и противоречащими ей фактами. Так обстояло дело и в данном случае. Накапливались факты, плохо совместимые с тем, что считалось бесспорным. Уголев отметил, что он знал о дискуссиях, в которых проводились соображения по поводу слабых пунктов общепринятых воззрений. Тем не менее он «долгое время... был убежден в том, что что-то новое лежит

² Grmek M. D. A plea for freeing the history of scientific discoveries from myth. — In: On scientific discovery. Ed. by M. D. Grmek, R. S. Cohen, G. Cimini. Dordrecht, 1981. Отметим, что принцип «трехаспектности» науки как формы деятельности был выдвинут в советском науковедении еще в 60-х годах, в частности в наших работах, где предприняты попытки его реализации также и применительно к проблеме открытия (см., в частности, нашу монографию: Иван Михайлович Сеченов. Л., 1968). То, что западные историки независимо от нас приходят к сходным идеям о «трехаспектности» и необходимости преодолеть «диссоциацию триады», укрепляет уверенность в соответствии принятого подхода актуальным потребностям переориентации исследований науки.

³ Полный текст интервью опубликован в журнале: Вопр. истории естествозн. и техн., 1981, № 1, с. 130.

⁴ Уголев А. М. — Бюлл. эксперим. биол. и мед., 1960, т. 49, № 1, с. 12.

в пределах классической схемы полостного пищеварения и связано, по-видимому, с механизмами активации ферментов, расщепляющих пищевые вещества.⁵

Давно были установлены большие различия в скорости переваривания этих веществ в организме и в пробирке (под влиянием ферментов пищеварительных соков). Это отнеслось за счет действия активаторов. Один из активаторов — энтерокиназа — был в свое время обнаружен Н. П. Шеповальниковым в лаборатории И. П. Павлова. Аналогия, как известно, играет огромную роль в науке. Общая идея об активаторах удерживала мысль А. М. Уголева в пределах прежних представлений. Воспроизводя в пробирке процессы переваривания и наблюдая их меньшие скорости сравнительно с тем, что происходит в естественных условиях, он по аналогии с данными Шеповальникова объяснил различие вмешательством активатора. Продолжая опыты, он в поисках активирующего фактора внес новшество, повлекшее за собой далеко идущие последствия. К веществам, перевариваемым в пробирке (посредством извлеченных из организма соков), он присоединил кусочек слизистой тонкой кишки. Это дало поразительный усиливающий эффект, который, однако, не побудил отказаться от старой идеи активатора. Более того, был даже подыскан термин, обозначающий предполагаемый активирующий фактор. Результаты опытов не публиковались лишь потому, что для доказательства гипотезы намечались новые серии проверок. Проникнув в желудочный сок с кусочком тонкой кишки, Уголев удалял кишку, чтобы проверить, изменилась ли активность поджелудочного сока (за счет активации фермента — амилазы, расщепляющей крахмал). Вопреки ожиданиям, раствор утратил часть своей ферментной активности, тогда как активность кишки возросла. Направившись к выводу, что «в присутствии кишки интенсификация ферментативных процессов возникает не в результате активации ферментов в растворе, а в результате того, что на поверхности слизистой осуществляется интенсивное расщепление пищи»⁶.

После того как Уголев рассказал мне, как у него зародилось сомнение в том, что единственным механизмом пищеварения является полостное, и как он отказался от опоры на аналогию между предполагае-

мым им активатором и открытой в лаборатории Павлова энтерокиназой, я обратился к нему с вопросом: «Что же, позвольте спросить Вас в порядке каламбура, стало активирующим фактором в переходе от идеи активатора к идее мембранного пищеварения?» Привожу его ответ полностью, поскольку он имеет, как я думаю, принципиальное значение для понимания перехода мысли (хотя и подготовленного предшествующими сомнениями и экспериментами) на новую орбиту. «Этого я сейчас не помню. Из всех наиболее ярких впечатлений того времени мне больше всего запомнился случай с путаницей картины живой кишки и губчатой платины. В связи с тем что меня интересовали поверхностные явления, я стал усиленно просматривать литературу по поверхностям и поверхностному катализу. Одновременно я смотрел и литературу по структуре кишечной поверхности. Как-то я был на ученом совете Института и имел при себе множество книг по электронной микроскопии различных губчатых веществ, а также световые снимки кишечной поверхности. Когда в зале гасили свет, у меня было впечатление, что я смотрел фотографии тонкой кишки. Однако когда свет зажегся, я увидел, что смотрел не снимки кишки, а снимки алюмосиликатного катализатора. Я был просто поражен идентичностью их строения.

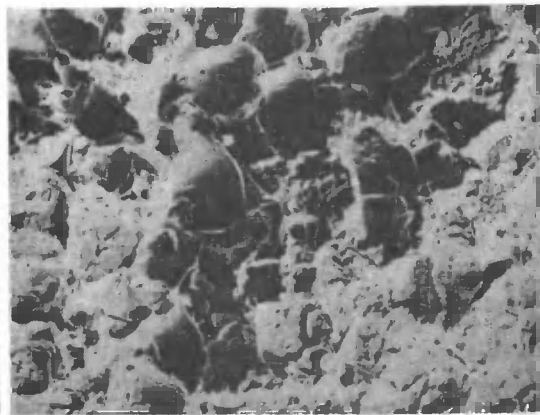
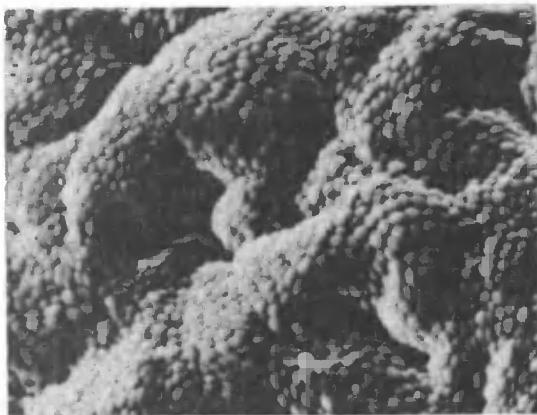
Таким образом, я обнаружил удивительное сходство пористого катализатора и поверхности тонкой кишки. Важно добавить, что сопоставление технического катализатора с кишкой заставляло меня прийти к очень важному заключению, что светооптическая структура кишки не позволяет объяснить интенсивность мембранного пищеварения. Должна существовать ультрапористость тонкой кишки, по своим размерам сопоставимая с пористостью губчатой платины. Таким образом, в сущности было предсказано наличие ультрапористости кишечной поверхности. Это произошло уже не случайно, а из рассмотрения мембранного пищеварения как гетерогенного катализа на поверхности кишечной слизистой».⁷

Это важное «показание» вновь демонстрирует ключевое значение такой умственной операции, как аналогия для формирования новой теории. Но теперь перед нами аналогия иного плана, чем та, которая работала, пока старая схема считалась незыблемой. Новая аналогия сопо-

⁵ Уголев А. М. — *Вопр. истории естествозн. и техн.*, 1981, № 1, с. 131.

⁶ Там же, с. 132.

⁷ Там же.



Микрофотографии поверхностей: слизистой желудка человека (слева) и алюмосиликатного катализатора.

ставляла пищеварение с процессами гетерогенного катализа, а это выводило за пределы физиологии в область физико-химии. Размышляя об эффектах на кишечной поверхности, Уголев стал рассматривать последнюю как один из частных случаев поверхностей вообще и, соответственно, изучать литературу по поверхностному катализу.

Уголев вспоминал, как был поражен тем, что спутал снимки кишки и катализатора. Подобная путаница, как я думаю, имеет для феноменологии творчества не меньшее значение, чем «озарение», о котором часто сообщают ученые в своих отчетах.

Кто из историков не знает, например, о красочном описании А. Пуанкаре одного из своих решений, внезапно озаривших его в момент, когда он вступил на подножку омнибуса. Эта подножка запомнилась великому математике потому, что вспыхнувший в его сознании интеллектуальный синтез случайно совпал с моментом, когда он вошел в омнибус. В случае с «путаницей» двух снимков также имелся момент случайности. Но это уже случайность иного рода и вида.

За случайным сближением сходных фотографий стояло открытие закономерной связи изображенных на них объектов. Закономерность же эта, установленная одной наукой (физической химией), давала ключ к явлениям, изучаемым другой (физиологией). С точки зрения логики научного открытия, здесь перед нами важней-

шее положение, также своего рода закономерность, так сказать «мета-закономерность», поскольку она относится не к законам природы, а к законам, по которым они открываются.

Историк науки может привести многие примеры того, как сущностные характеристики какого-либо процесса получают объяснение благодаря тому, что выступают в качестве одного из специфических случаев действия всеобщего принципа. Одним из известнейших примеров является отношение между законами движения планет, установленными И. Кеплером, и системой И. Ньютона. Первые обобщили явления, относящиеся к одному из аспектов физического мира, тогда как у Ньютона законы Кеплера вошли как один из компонентов в картину этого мира в целом. В случае мембранного пищеварения последнее было открыто благодаря тому, что выступило в виде специфического проявления общей физико-химической закономерности. Обобщая Кеплеровы законы движения планет, Ньютон оставался в пределах одной, хотя и универсальной, науки — механики. В нашем же случае произошел «перенос» закономерностей, установленных одной дисциплиной в область другой. Иначе говоря, здесь выступает феномен междисциплинарности.

Сопоставление явлений неорганического и органического мира, данных биологии и данных технических наук непрерывно происходит в процессах развития научного познания. При открытии мембранного пищеварения произошло движение в направлении, противоположном «бионическому» (когда по модели процессов в живых системах моделируются технические устройства). По модели технического катализа были представлены процессы, ко-

которые возможны только в органическом мире.

Говоря о предметной стороне дела, о тех структурных и содержательных аспектах знаний, которые, запечатлевая объективную истину, не зависят ни от личностных, ни от межличностных факторов, мы не вправе, реконструируя процесс научного открытия в его реальной «плоти», игнорировать эти факторы. Ибо без них не подала бы о себе весть и сама объективная реальность. Где, как не в отдельном сознании, могли сомкнуться понятия двух предметных областей, эффектом чего и явилось открытие механизма, который работает в биологических системах независимо от чьего бы то ни было сознания!

Конечно, Уголев спутал снимки различных поверхностей при случайных обстоятельствах. Но случай, как говорил Пастер, благоприятствует подготовленному уму. Лишь благодаря преднастройке (установке), сформированной предшествующим поиском, восприятие снимка одного объекта могло быть принято за образ другого.

Уголев работал один. Но ученый, как бы ни был неповторим его талант,— это всегда член научного общества, от которого он неотделим как от воздуха, которым дышит. По свойствам своего характера он может быть замкнутым либо общительным. По отношению к научным спорам он может отличаться безразличием, как, например, Фарадей, считавший, что истина могуча и факты говорят сами за себя, либо быть пылким полемистом. Но в любом случае творчество внутренне связано с общением.

Находясь в курсе дискуссий между физиологами, Уголев долгое время участия в них не принимал. Более того, хотя он с самого начала мыслил открытый им тип пищеварения как мембранный, нежелание быть вовлеченным в разгоревшиеся тогда бурные споры о том, есть ли мембраны или нет, побудило его избежать самого термина «мембрана» и назвать обнаруженный им механизм пристеночным, или контактным, пищеварением.

Круг его непосредственного общения по поводу открытия был узок. Он сразу же получил поддержку со стороны академиков В. Н. Черниговского и А. Е. Браунштейна. Первый сказал, что этим стоит заниматься очень серьезно. «А. Е. Браунштейн реагировал своеобразно. Он выслушал меня, а затем остроумно заметил (имея в виду поверхностные явления), что крупное открытие не валяется на поверхности», но, вместе с тем, обещал дать японской амилазы и сказал, что если в опытах полу-

чатся те же результаты, он им поверит. Сам автор открытия сомневался в наблюдаемых им эффектах, без конца перепроверял себя и даже «послав первую публикацию, одновременно подготовил опровержение».

Высокая критичность его ума была одним из условий, придавших крепость его детищу. Тем не менее большинство физиологов отрицало существование мембранного пищеварения, отказываясь даже спорить на эту тему. Уголев послал обзор своих данных в американский журнал (в 1963 г.), но его отказались печатать как фантастический⁸. Но через два года этот же журнал обзор опубликовал, ибо, преодолевая сопротивление сообщества физиологов, концепция со все большей прочностью в нем укреплялась. Прошло время, когда ее игнорировали. Разгорелись острейшие дискуссии. Теперь автор открытия уже не мог стоять от них в стороне.

Главным «врагом» открытия оказалась не прежняя классическая схема, неудовлетворенность которой испытывалась повсеместно, а выявленное благодаря развитию электронно-микроскопической техники (не доступное световой оптике) так называемое «клеточное питье». Оно представляет вариант показанного И. И. Мечниковым фагоцитоза, давшего основание концепции внутриклеточного пищеварения. Ее подавляющее большинство ученых и восприняло как выход из противоречий, накопившихся в этой области физиологии.

Длительная дискуссия между сторонниками внутриклеточного и мембранного пищеварения (которое вначале поддерживали очень немногие) в конце концов привела к признанию правоты второй концепции. Более того, один из твердых приверженцев внутриклеточного пищеварения американский ученый Р. Клейн через 10 лет будет утверждать, что он никогда не придерживался внутриклеточного пищеварения и лишь неудачное использование этого термина для обозначения мембранного послужило причиной утраты им приоритета, хотя публикации Клейна и его коллег в годы открытия мембранного пищеварения однозначно говорят, что амери-

⁸ Мы не впервые сталкиваемся с подобным феноменом неприятия новаторской идеи. Читателя, который более подробно заинтересуется этой проблемой, отсылаем к книге: Научное открытие и его восприятие. М., 1971.

канские физиологи придерживались в тот период внутриклеточного гидролиза.

Интервью с А. М. Уголевым проливает свет на сложное взаимодействие факторов, порождающих новое знание. На первом плане — предметное содержание поиска. Проблемная ситуация сложилась в науке объективно в силу расхождения между принятой системой представлений и противоречившими ей феноменами. Это противоречие приобрело характер динамического фактора, стало мотивом творчества отдельных ученых, движущей силой их поведения. Изменения в проблемном (предметно-логическом) поле науки различно преломлялись в сознании ученых и характере взаимоотношений между ними. Электронный микроскоп обратил взоры большинства исследователей к мечниковскому внутриклеточному пищеварению. Здесь наблюдалось нечто, подобное социально-психологическому феномену моды. Новая техника захватила и увлекла исследователей процессов всасывания, чувствительность ко всему остальному притупилась. Повсюду виделось «клеточное питье», даже там, где его потом никто не находил.

Уголев же вступил в конфликт с тем, что увлекало научный круг, к которому он принадлежал. Вместе с тем в дискуссиях, вспыхнувших между физиологами, наблюдался, по его выражению, «волей-больный эффект», который заключается в поочередном построении двумя или несколькими участниками общей концепции⁹. Очевидно, что указанный эффект предполагает направленность совместных действий против усилий другой «команды», образующей «опponentный круг» как сообщество исследователей, полемика с которыми влияет на процесс творчества (в данном случае разрабатывалась концепция мембранного пищеварения).

К социально-научному аспекту творчества относится и влияние традиции. На первый взгляд может показаться, что концепции Павлова и Мечникова являлись барьером на пути к открытию. Ведь пока Уголев следовал Павлову, он искал активирующий фактор типа энтерокиназы, а это являлось ложным шагом. Это с одной стороны. А с другой, сторонники Мечникова отвергали мембранное пищеварение во имя внутриклеточного. Но опыт

Уголева свидетельствует, что следовать великим учителям — это означает, опираясь на их достижения, двигаться дальше, идя навстречу новым запросам логики развития познания. Вместе с тем от учителей остаются не только идеи, но и традиции, влияющие на стиль исследований. В частности, как полагает Уголев, различие в методических подходах между изучением физиологических процессов у зарубежных исследователей и у нас обусловлено «стремлением к более мягкой и щадящей системе анализа, которая пришла в нашу науку с И. М. Сеченовым и И. П. Павловым и играет чрезвычайно важную роль и до настоящего времени»¹⁰.

Из этого не следует, что другие традиции, возникшие на иной почве, бесплодны и бесперспективны. Синтез подходов, выработанных в различных условиях, продуктивен для прогресса науки в целом.

Мы затронули два аспекта творчества: предметно-логический (принципы разработки конкретного предмета познания, логика — рациональные формы его преобразования) и социально-научный (характер взаимоотношений в научном сообществе). Они действуют независимо от индивидуального душевного склада человека науки. Между тем именно в глубинах этого склада совершается чудо интеллектуального синтеза, называемое открытием, — самое удивительное из всех чудес мироздания¹¹.

Сведения о каждой из созидующих его переменных очень скудны. Но в любом случае нужно иметь в виду, что речь идет о компонентах целого. Объяснять процесс открытия действием одного из компонентов в качестве независимой величины — значит впасть в заблуждение подобное тому, как если бы мы определяли свойства воды по данным об образующих ее элементах.

¹⁰ Уголев А. М. — *Вопр. истории естествозн. и техн.*, 1981, № 1, с. 136.

¹¹ Массовость современной науки не стирает, а обостряет значение индивидуальности ученого, необходимость ее всячески оберегать в противовес представлениям, будто производство идей может быть организовано по типу конвейерного.

⁹ Уголев А. М., Иезуитова Н. Н. Дискуссионные аспекты проблемы мембранного пищеварения. — В кн.: *Роль дискуссии в развитии естествознания*. М., 1977, с. 96.



Дикие опылители в «Красной книге СССР»

Н. И. Кочетова,

кандидат биологических наук
Всесоюзный научно-исследовательский институт охраны природы и заповедного дела Министерства сельского хозяйства СССР
Москва

Проблема охраны самых различных групп беспозвоночных, в частности насекомых, широко обсуждалась в работах энтомологов на страницах научных и научно-популярных журналов¹. И вот теперь составлены и утверждены списки видов беспозвоночных для 2-го издания «Красной книги СССР». Представлено в них пока только 4 группы: насекомые (202 вида), моллюски (19), ракообразные (2), дождевые черви (11).

Большинство групп беспозвоночных чрезвычайно мало изучено, фактически отсутствуют методики количественных учетов численности, данные по биологии. Поэтому об уязвимости отдельных видов судить довольно трудно. Отчасти поэтому списки тех групп, которые будут представлены во 2-м издании «Красной книги СССР», конечно, далеко не полны, не говоря уже о том, что некоторые группы не представлены вообще. Этот пробел будет восполняться в последующих изданиях.

Автор этих строк описывает лишь одну из групп, пред-

ставленных в «Красной книге СССР», — диких опылителей из отряда перепончатокрылых. Кроме обыкновенной медоносной пчелы, разводимой человеком, в мире насекомых множество самых разнообразных опылителей. Кстати, 87 % покрытосеменных растений энтомофильны, т. е. опыляются насекомыми. При этом каждый вид опылителя тесно связан с определенной группой или даже отдельным видом растений. Поэтому потеря каждого вида-опылителя может повлечь за собой изменение состояния целого ряда растений.

Численность и видовое обилие многих видов опылителей из отряда перепончатокрылых сокращаются повсеместно на земном шаре. Инициатор организации первых микрозаповедников по охране диких опылителей в нашей стране В. С. Гребенников указывает, что за последние десятилетия численность только одних шмелей в нашей стране сократилась приблизительно в 300 раз.

Что привело к такому резкому сокращению их численности? Несомненно, влияние разного рода хозяйственной деятельности человека. Это: освоение территорий, приводящее к сокращению мест обитания шмелей; применение пестицидов, к которым они очень чувствительны; применение тяжелой техники для самого разного рода сельскохозяйственных работ, в ходе которых гнезда диких опылителей, расположенные на земле или в земле, просто раздавливаются. Некоторые места обитания опылителей исчезают под воздействием чрезмерного выпаса скота или массового посещения людьми уголков природы, которые были излюбленными местами гнездования шмелей и пчел.

Результаты сокращения численности многих видов опы-

лителей немедленно сказались на состоянии некоторых растений. Среди них можно назвать такие важные кормовые культуры, как клевер и люцерна. Из-за недостатка опылителей потенциальная способность люцерны образовывать семена реализуется лишь на 10—20 %². Применение ядохимикатов привело к тому, что сейчас в правобережных районах Горьковского области из 17 видов шмелей — опылителей клевера — осталось только 6—7 видов³. Почти полностью погибли ценнейшие виды диких опылителей люцерны. Кто же из опылителей пострадал наибольшим образом и в связи с этим внесен в список видов 2-го издания «Красной книги СССР»?

Прежде всего, это шмели. В списке для «Красной книги» их 14 видов. Среди них группа степных видов, которые исчезают с освоением степей: шмель пластинчатозубый — *Bombus serrisquama*, шмель лезус — *B. laesus*, шмель глинистый — *B. argillaceus*, шмель армянский — *B. armeniacus*, шмель обыкновенный — *B. pratorum*.

Кроме того, сокращаются в численности и лесостепные виды шмелей: шмель красноватый — *B. ruderatus*, шмель плодовый — *B. pomorum*.

Подверглись антропогенному воздействию и европейско-сибирские виды таежных шмелей: шмель Шренка — *B. schrenckii*, шмель modestus — *B. modestus*, шмель спорадикус — *B. sporadicus*, шмель байкальский — *B. subbaicalensis*.

В «Красную книгу» включен горный шмель — *B. mast-*

¹ Гиляров М. С., Чернов Ю. И. Охрана животного мира СССР. Наземные беспозвоночные. — Природа, 1977, № 11, с. 105; Танасийчук В. Н. Некоторые проблемы охраны насекомых. — Там же, 1978, № 8, с. 73.

² Зинченко Б. С., Корбецкая Л. А. — Пчеловодство, 1980, № 6, с. 18.

³ Мельниченко А. Н. — Там же, № 4, с. 16.

ruscatus, обитающий на территории европейских стран.

Наконец, шмель моховой (*B. muscorum*), буквально еще несколько лет назад бывший обычным видом, эффективно опылявшим красный клевер, в настоящее время стал редок во всех частях своего ареала.

В списке видов еще один шмель — необычный — *B. paradoxum*.

В списки «Красной книги СССР» включены и другие опылители. Один из них — ближайший родственник нашей медоносной пчелы — пчела индийская (*Apis indica*). Встречается она на Дальнем Востоке, где ее численность сокращается из-за чрезмерной чувствительности к воздействию человека. Эти пчелы совершенно не переносят вмешательства человека: стоит прикоснуться к дуплу, где они гнездятся, пчелы немедленно его покидают. По-видимому, в природе в настоящее время этого вида пчел всего около 100 семей.

Численность трех видов пчел, относящихся к разным семействам, — мелиттурги булавоусой (*Melitturga clavicornis*) из семейства андренид, рофитоидеса серого (*Rhopitoides canus*) из семейства галиктид, мегахилы округлой (*Megachila rotundata*) из семейства мегахил — также сокращается, а между тем необходимость в них для эффективного опыления люцерны велика. Так, для опыления 1 га посевов люцерны на семена необходимо 15 тыс. особей пчел мегахил⁴. Сейчас этот вид завозится в нашу страну из-за рубежа. Естественно, сохранение и размножение диких популяций этого вида, еще имеющих в нашей стране, должно стать целью энтомологов. Опыт такой работы уже есть: в США, например, налажено производство ульев и массовое разведение пчелы — мегахилы округлой.

Две крупные пчелы из семейства антофорид — пчела-плотник (*Xylocopa valga*) и ксилокопа фиолетовая (*Xylocopa violacea*) нуждаются в сохранении не только как опылители, но и как элемент древней эн-

томофауны, сохранившийся еще с третичных времен.

Конечно, далеко не все виды, страдающие от воздействия человека, названы кандидатами в «Красную книгу СССР». В настоящее время, к сожалению, большинство видов диких опылителей мало изучены, т. е. мы почти ничего не знаем об их распространении, численности, проценте гибели от тяжелой техники и химических обработок. Возможно, этот пробел будет частично восполнен списком видов диких опылителей, составленным для «Приложения» к «Красной книге СССР». В этот список, предложенный академиями наук союзных республик, включены виды, которые фактически не изучены, но могут оказаться уязвимыми при дальнейшем освоении территорий. После дополнительного изучения таких видов они либо будут включены в основной список «Красной книги СССР», либо исключены из «Приложения». Включение в «Красную книгу СССР» любого вида животных или растений — сигнал о том, что люди должны проявить заботу о его охране в природе или начать разведение в неволе с последующей реинтродукцией в прежние места обитания.

В СССР уже созданы заповедники и микрозаповедники, где охраняются беспозвоночные животные. Специальный шмелевой микрозаповедник (его площадь, правда, очень мала — приблизительно 250 м²) создан в Омской области. Наилучшим образом система охраны беспозвоночных разработана на Украине: здесь около пятисот территорий (заповедников, заказников, памятников природы, заповедных урочищ и др.), на которых охраняются беспозвоночные, в том числе и 19 видов насекомых, включенных в «Красную книгу УССР».

Однако не везде охране беспозвоночных уделяется должное внимание. Так, в республиках Средней Азии, где множество эндемичных видов самых разнообразных беспозвоночных, и в частности опылителей, совершенно нет территорий, на которых они охранялись бы.

В РСФСР в микрозаповедниках охраняются лишь массо-

вые виды опылителей, а до тех, которые сокращаются в численности или исчезают, очередь, по-видимому, еще не дошла.

Безусловно, создание новых микрозаповедников не должно быть стихийным, необходимо прежде выявить не просто полезных и ярких беспозвоночных, но также редких и исчезающих, картировать их места обитания, их состояние, численность насекомых, а тогда уже объявлять зону заповедной.

Нужно учитывать и те виды, которые лишь привлекаются в агроценозы кормовыми растениями, а потому сохранить их в микрозаповедниках практически невозможно. Для таких видов необходимо особенно тщательно обосновывать сроки применения химических обработок, а может быть, и отказаться от них совсем.

К сожалению, еще очень мало специалистов, занимающихся изучением диких опылителей. Нужны исследователи, способные оценить эффективность химических обработок и вместе со специалистами по защите растений выявить и отрицательную сторону воздействия пестицидов и химических удобрений.

Совершенно очевидно, что кроме охраны диких популяций опылителей в природе необходимо наладить разведение их в лабораторных условиях для последующего выпуска их в исконные места обитания. Это поможет не только сохранить генфонд видов нашей отечественной энтомофауны, но и будет способствовать повышению урожая многих сельскохозяйственных культур.

⁴ Гребенников В. С. — Там же, 1972, № 3, с. 44.

Землетрясения и тектоника окраин Тихого океана

Л. М. Балакина



Людмила Михайловна Балакина, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела сейсмологии Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР. Занимается изучением землетрясений с помощью сейсмических методов.

Окраины Тихого океана давно привлекают внимание многих геологов и геофизиков из разных стран мира, поскольку именно здесь в настоящее время происходят самые интенсивные тектонические движения на земном шаре. Они приводят к образованию особых геологических структур — островных дуг, представляющих собой дугообразные цепочки островов, окаймляемые с внешней, выпуклой их стороны, глубоководными океаническими желобами. Подавляющее число островных дуг земного шара располагается в Тихом океане¹ — на северной и западной его окраинах. На восточной окраине Тихого океана также окаймлены глубоководными желобами. Как правило, внешние стороны островных дуг с желобами обращены к Тихому океану, а с внутренних сторон дуг располагаются тыловые бассейны.

Высокая интенсивность тектонических движений обуславливает высокую сейсмическую активность на периферии Тихого океана. Здесь располагается Тихоокеанский сейсмический пояс. В нем происходит более 80% всех землетрясений мира с

очагами в литосфере¹ и в верхней мантии, вплоть до глубин 600—700 км. При этом гипоцентры землетрясений² в верхней мантии, ниже 70 км, располагаются не хаотично, а группируются в относительно узкие слои, наклонно погружающиеся от глубоководных желобов под острова. Такие слои гипоцентров получили названия фокальных зон, от слова «фокус», являющегося синонимом гипоцентра.

Взгляды на природу фокальных зон и характер тектонических процессов в островных дугах различны. По одним представлениям, фокальные зоны — это гигантские разломы, проникающие в верхнюю мантию на сотни километров, а землетрясения в них вызываются резкими смещениями по отдельным участкам этих наклонных разломов. По другим — они соответствуют зонам контакта областей мантии с различными свойствами. Некоторые исследователи считают, что островные дуги находятся в состоянии попереч-

¹ Очаг — участок поверхности разрыва, по которому произошло скачкообразное смещение прилегающего блока горных пород.

² Гипоцентр — начальная точка «вспарывания» разрыва в очаге землетрясения. Проекция гипоцентра на земную поверхность — эпицентр землетрясения.

ного растяжения и постепенно погружаются. При этом землетрясения порождаются опусканиями блоков по разрывам. Согласно другим взглядам, островные дуги, напротив, находятся в состоянии поперечного сжатия.

В последние годы получило широкое распространение объяснение природы фокальных зон с позиций тектоники плит. В рамках этой гипотезы принято считать, что они возникают вследствие погружения (субдукции) плит океанической литосферы в мантию под островные дуги; при этом

ся результаты исследования условий возникновения землетрясений, проведенные в последнее время советскими и зарубежными сейсмологами.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Напомним, что образование геологических структур, в том числе островных дуг, происходит в результате тектонических движений, развивающихся единомысленно в течение длительного вре-

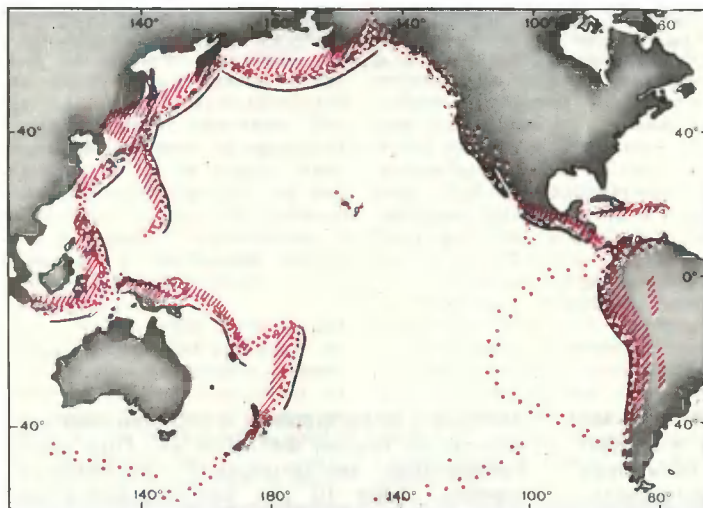


Схема проявления землетрясений в Тихом океане (различная густота точек схематично отражает различную частоту возникновения землетрясений).

Области возникновения землетрясений:

-  поверхностных
-  промежуточных (на глубинах от 70 до 300 км) и глубоких (на глубинах свыше 300 км)
-  Оси желобов

над фокальной зоной в верхних частях литосферы образуются протяженные разрывы — надвиги, полого падающие от желобов в сторону тыловых бассейнов, по которым возникают поверхностные землетрясения, в том числе и крупнейшие. Землетрясения же в собственно фокальных зонах являются либо результатом скольжения верхней границы погружающейся литосферной плиты относительно вышележащей мантии, либо результатом деформации самой плиты в процессе ее погружения.

Установить природу фокальных зон и характер тектонических процессов в окраинах Тихого океана достаточно сложно потому, что области наиболее интенсивных тектонических движений здесь скрыты под водой. В то же время надежное знание сути процессов в островных дугах необходимо для правильного понимания общего тектонического развития Земли. Одним из путей выяснения этого вопроса и проверки существующих гипотез являются

мени. При этом в теле Земли формируются разрывы³ — поверхности дифференцированных перемещений масс, ограничивающие соответствующие геологические структуры. Медленные тектонические движения время от времени перемежаются быстрыми скачкообразными смещениями по разрывам, приводя к землетрясениям. Величина землетрясения (размер очага, выделившаяся сейсмиче-

³ Среди тектонических разрывов различают: сброс — разрыв, по поверхности которого вышележащие массы (массы верхнего крыла разрыва) смещаются вниз; взброс — разрыв, наклоненный к горизонту под углом свыше 45°, по поверхности которого массы верхнего крыла смещаются вверх; надвиг — пологий разрыв, по поверхности которого происходит надвигание масс верхнего крыла; сдвиг — разрыв с относительным смещением прилегающих блоков вдоль его простирания. Сдвиговые перемещения по разрывам часто сочетаются с подвижками по падению поверхности разрыва, образуя взбросо-сдвиги, сбросо-сдвиги и сдвиги-надвиги.

ская энергия) зависит от типа и размера формирующихся геологических структур и ограничивающих их разрывов, а частота проявления землетрясений — от интенсивности тектонических движений. Перемещение масс по разрыву в очаге землетрясения отражает направление тектонических движений в данной области и влияет на формирование соответствующей геологической структуры.

Инструментальное исследование землетрясений основывается на анализе сейсмических волн (продольных, поперечных и поверхностных), возникающих в Земле при скачкообразном перемещении масс по разрыву в очаге землетрясения. Сейсмические волны регистрируются специальными приборами (сейсмографами), установленными на сейсмических станциях в разных районах земного шара. По времени прихода сейсмических колебаний определенными приемами устанавливается местоположение гипоцентра землетрясения. Большие землетрясения с очагами в литосфере обычно сопровождаются в течение некоторого периода времени многочисленными более слабыми толчками (афтершоками), возникающими в окрестностях разрыва, по которому произошло скачкообразное смещение масс при большом землетрясении. По пространственному распределению гипоцентров афтершоков можно судить приблизительно о протяженности и ориентации очагов крупных землетрясений.

К настоящему времени накоплено значительное количество данных о пространственном расположении гипоцентров и очагов землетрясений на окраинах Тихого океана. Оказалось, что основное число гипоцентров землетрясений, в том числе крупнейших, возникающих в литосфере (до глубины 70 км), сосредоточивается под островными склонами желобов⁴. Под самими же островами, тыловыми бассейнами, а также под океаническими склонами желобов отмечается сравнительно небольшое число гипоцентров в литосфере.

Тектонические движения, приводящие к землетрясениям в островных дугах, проявляются в особенностях их геоморфологии. Для островных склонов желобов

характерны параллельные дуге подводные поднятия разной продольной протяженности и степени развития. Поднятия разделяются продольными прогибами. Наиболее высокие поднятия образуют параллельные дуге подводные хребты (как, например, хребет Витязя в Курильской дуге) и могут приводить к появлению двойных островных дуг (например, цепей Больших и Малых Курильских о-вов). Помимо этих основных морфологических особенностей в островных склонах желобов отмечаются многочисленные мелкие под-

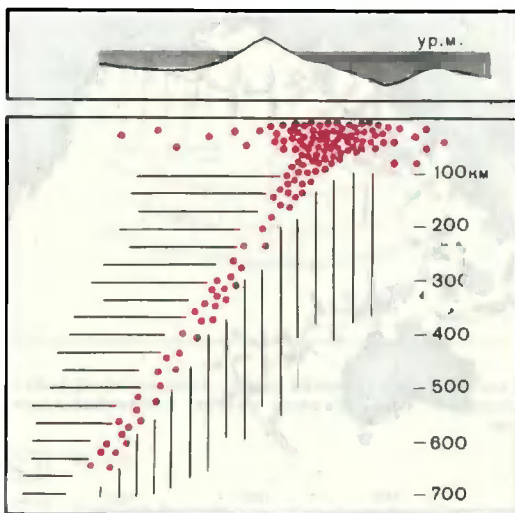


Схема расположения гипоцентров землетрясений в вертикальном сечении, перпендикулярном островной дуге. Вверху — разрез через островную дугу, вертикальный масштаб больше горизонтального.

- Гипоцентры
- Верхняя мантия под тыловым бассейном
- Океаническая верхняя мантия

нятия (горсты) и впадины (грабены) разной ориентации. По геоморфологическим и геофизическим данным в островных дугах выделяются продольные разрывы различной протяженности, наряду с которыми встречаются разрывы, секущие островную дугу.

Очаги крупных землетрясений в литосфере (обусловившие их разрывы) в большинстве случаев протягиваются так же, как и поднятия и прогибы, вдоль остров-

⁴ Склон глубоководного желоба между цепью островов и осью желоба, ширина его различна в разных дугах, может достигать 100—200 км, иногда больше. Противоположный склон желоба называется океаническим.

ной дуги. Очаги очередных крупных землетрясений располагаются в промежутках между очагами предыдущих толчков. В разных островных дугах максимальные размеры подвижных блоков, слагающих островные склоны желобов, и скорости тектонических движений неодинаковы. Это отражается в различиях максимальных для них землетрясений и частоте их возникновения.

Как уже отмечалось в начале статьи, гипоцентры землетрясений, возникающих в мантии, глубже верхнего 70-километрового

отмечают некоторое возрастание числа землетрясений с гипоцентрами на глубинах 350—400 и 600—650 км (где, возможно, располагаются области фазовых переходов в мантии) и уменьшение числа гипоцентров в районе глубин около 200 км.

Чтобы иметь представления о тектонических процессах на окраинах Тихого океана, данных о распределении гипоцентров землетрясений в фокальных зонах недостаточно. Необходимо знать ориентацию протяженных разрывов и направления подвижек в очагах землетрясений в фо-

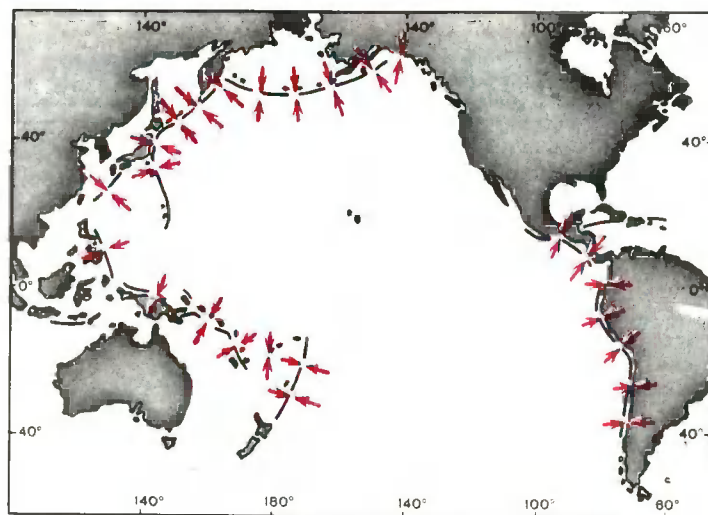


Схема ориентации сматий в литосфере внутренних (островных и континентальных) склонов желобов Тихого океана.

→ → Направления сматий
— Оси желобов

сложения, группируются в относительно узких (шириной около 50 км) фокальных зонах. Вид фокальных зон неодинаков в разных островных дугах. Различны их наклон к горизонту и протяженность в глубину, а также распределение и частота толчков на разных глубинах. Форма фокальных зон в вертикальном сечении может переходить от прямолинейной полосы к изогнутой с изменением угла наклона в глубине. Предельная глубина, наклон и форма фокальной зоны могут меняться не только от одной островной дуги к другой, но и по простиранию одной и той же дуги.

Наименьшие углы наклона фокальных зон — 20—25°, наибольшие — 80°. Предельная протяженность их в глубину варьирует от 200—250 км до 600—700 км. Для совокупности всех островных дуг Тихого океана К. Абе и Х. Канамори⁵

кальных зонах. Эти параметры землетрясений, получившие в сейсмологии название механизма очага, устанавливаются по смещениям в продольных и поперечных волнах, зарегистрированных многими сейсмическими станциями, с помощью специальной методики, на которой мы здесь останавливаться не будем.

МЕХАНИЗМ ОЧАГОВ

К настоящему времени советскими и зарубежными авторами исследован механизм очагов многих землетрясений из районов островных дуг Тихого океана. Проведенный нами анализ результатов этих исследований показывает следующее⁶.

Области литосферы до глубины 70 км, располагающиеся под островными склонами желобов, характеризуются субгоризон-

⁵ Абе К., Канамори Х.— J. Geophys. Res., 1979, v. 84, No. B7, p. 3589.

⁶ Балакина Л. М.— Известия АН СССР, сер. «Физика Земли», 1979, № 4, с. 43; 1979, № 5, с. 16; 1981, № 8, с. 13.

тальным поперечным сжатием. Крупные землетрясения с очагами в этих областях могут обуславливаться либо поднятием крупных блоков по крутым разрывам (взбросами) однотипной ориентации, либо перемещениями масс по полого падающим разрывам. Ориентация по отношению к островной дуге пологих разрывов и направления подвижек в них для разных землетрясений оказываются разными и, в целом, не соответствуют пологим надвигам, которые должны существовать в соответствии со схемой субдукции. Сейсмические данные скорее свидетельствуют о том, что в тектонике островных склонов желобов существенную роль играют именно субвертикальные перемещения (поднятия) блоков литосферы по крутым взбросам.

Взбросовые разрывы в очагах землетрясений проявляют отчетливую закономерность в своей ориентации, простираясь вдоль островных дуг и падая в сторону желоба. При крупнейших землетрясениях протяженность таких разрывов может достигать нескольких сот километров в длину и нескольких десятков километров в глубину. Возникающие при смещении блоков по крутым взбросам вертикальные деформации дна океана хорошо объясняют условия генерации волн цунами при землетрясениях, а также наличие горст-антиклинальных поднятий в островных склонах желобов. Некоторые землетрясения в литосфере островных дуг вызваны сдвигами по разрывам, секущим дуги. Сдвиговые разрывы могут разграничивать блоки, перемещающиеся по продольным взбросам. Более слабые землетрясения с небольшими размерами очагов, отражающие перемещения по разрывам более мелких блоков, характеризуются большим разнообразием в ориентациях взбросо-надвиговых и сдвиговых разрывов в их очагах.

Иной тип напряжений и разрывов проявляется при землетрясениях, возникающих под океаническими склонами желобов. По данным американского сейсмолога В. Стаудера⁷ и некоторых других исследователей, для этих областей литосферы характерно, напротив, поперечное растяжение, а землетрясения вызываются опусканиями блоков по продольно простирающимся сбросам. Преобладание поднятий в литосфере островных склонов желобов и одновременно опусканий в их океанических склонах может приводить к постепенному смещению системы остров-

ная дуга — желоб в сторону океана. Отражением такого процесса может являться существование двойных островных дуг. Немногочисленные исследования редких землетрясений, возникающих в литосфере тыловых областей островных дуг, показывают, что, возможно, одни из них характеризуются субгоризонтальным сжатием, а другие — растяжением.

В фокальных зонах ниже 70 км ориентация разрывов, подвижек и напряжений в очагах землетрясений становится более сложной и неоднородной. В одних слу-

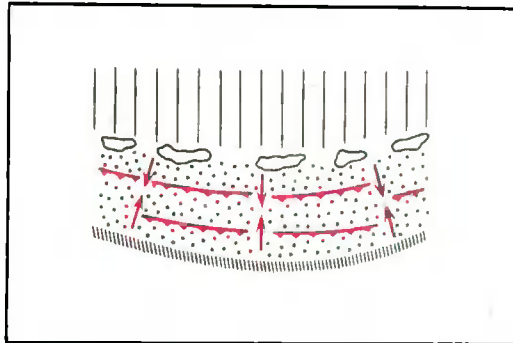


Схема расположения в плане области сжатия и проявления взбросов в системе островная дуга — желоб.

-  Остров
-  Тыловой бассейн
-  Ось желоба
-  Область сжатия в литосфере
-  Продольные взбросы
-  Направления сжатий

чаях она сходна с картиной в верхней части фокальных зон, в других — существенно от нее отличается. Ориентация разрывов и напряжений в очагах промежуточных (глубины 70—300 км) и глубоких (более 300 км) землетрясений может изменяться не только от одной островной дуги к другой, но и в пределах одной дуги, вдоль ее простираения, и при переходе от промежуточных к глубинным частям. Особо следует подчеркнуть, что в пределах всех глубин в очагах землетрясений не отмечаются разрывы, имею-

⁷ Stauder W.— J. Geophys. Res., 1968, v. 73, No 12, p. 3847.

щие падение вдоль наклонных фокальных зон. Все возможные разрывы оказываются секущими фокальную зону.

В некоторых фокальных зонах в глубинных их частях землетрясения обусловлены преимущественно сбросами при субгоризонтальном поперечном растяжении. Механизм очагов таких землетрясений оказывается противоположным механизму очагов землетрясений в литосфере островных склонов желобов. Сбросы отмечаются иногда и в промежуточных частях

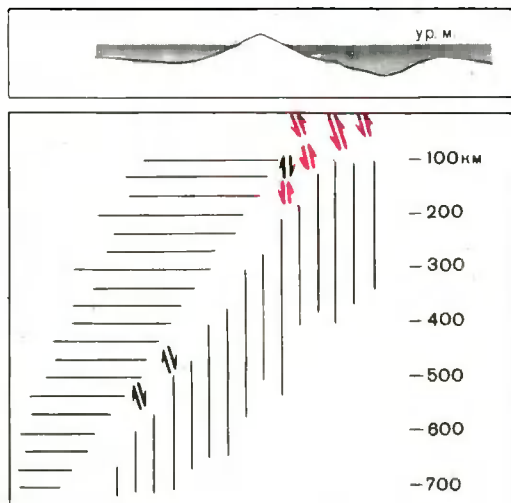


Схема проявления крутых разрывов в вертикальном сечении, перпендикулярном простиранию северной части Курильской островной дуги.

-  Взбросы
-  Сбросы
-  Верхняя мантия под тыловым бассейном
-  Океаническая верхняя мантия

фокальных зон наряду с преобладанием там взбросо-надвигов.

Результаты некоторых исследований показывают, что в очагах глубоких землетрясений помимо сдвиговых деформаций могут существовать объемные, которые, возможно, обуславливаются фазовыми превращениями вещества на соответствующих глубинах.

Американские сейсмологи Б. Айзекс

и П. Молнар⁸ полагают, исходя из гипотезы субдукции, что в очагах землетрясений окраин Тихого океана одно из напряжений — сжатия или растяжения — ориентировано вдоль падения наклонных фокальных слоев. Это объясняется, по их мнению, тем, что литосферная плита при своем погружении, испытывая действие собственной силы тяжести и сопротивление мантии, будет находиться в состоянии либо продольного растяжения, либо продольного сжатия, в зависимости от глубины погружения и свойств окружающей мантии. Однако существование в промежуточных и глубинных частях фокальных зон в очагах землетрясений разных типов разрывов и подвижек, а также разнообразие их ориентаций, плохо согласуется со схемой напряженного состояния, предложенной американскими сейсмологами.

Все сказанное выше о распределении гипоцентров землетрясений и механизмах очагов может быть проиллюстрировано на примере фокальной зоны Курильской островной дуги, одной из наиболее детально изученных. В литосфере всей Курильской дуги механизм очагов крупных землетрясений характеризуется особенностями, свойственными островным дугам, о которых говорилось ранее. Фокальные же зоны на глубинах ниже 70 км в северном и южном отрезках Курильской дуги несколько различаются как по своему устройству, так и по типу механизма очагов землетрясений.

В северной части Курильской дуги фокальная зона погружается в сторону Охотского моря под углом около 50° до глубины 600—650 км, тогда как в южной части — под углом 35—40° до глубины не более 400—450 км. В фокальной зоне северного отрезка дуги на глубинах 70—150 км большая часть землетрясений обусловлена взбросами той же ориентации, что и землетрясения в литосфере островного склона желоба. Но вместе с тем здесь на этих глубинах отмечаются землетрясения, вызванные сбросами. В нижней части фокальной зоны Северных Курильских о-вов сбросовые подвижки в очагах землетрясений становятся преобладающими. На протяжении всего северного участка фокальной зоны, от поверхности до нижней ее границы (600—650 км), устойчивую закономерность ориентации проявляют субвертикальные разрывы, простирающиеся вдоль островной дуги. Все

⁸ Isacks B., Molnar P.—Rev. Geophys. and Space Phys., 1971, v. 9, No 1, p. 103.

возможные разрывы в очагах землетрясений по направлению своего падения секут наклонную фокальную зону.

В южной части Курильской дуги чаще, чем в северной, наряду с продольными разрывами в очагах землетрясений проявляются крутые разрывы, секущие островную дугу. По своему характеру они являются преимущественно взбросо-сдвигами и сдвигами. В пределах литосферы такие разрывы в очагах отмечаются, в частности, в области соединения Курильской дуги с о-вом Хоккайдо и у северо-восточного края Малой Курильской гряды. Секущие взбросо-сдвиги и сдвиги в очагах землетрясений проявляются и в промежуточных, и глубинных областях фокальной зоны южной части Курильской дуги, при этом устойчивость преобладающей ориентации разрывов в глубине уменьшается. В отличие от северной половины Курильской дуги здесь в фокальной зоне реже встречаются землетрясения со сбросовыми подвижками.

НЕКОТОРЫЕ ВЫВОДЫ

Итак, можно сказать, что результаты исследования землетрясений окраин Тихого океана еще не дают возможности составить полного и достаточно обоснованного представления о тектонических процессах, обуславливающих существование островных дуг и фокальных зон. Для этого необходимы дальнейшие детальные исследования землетрясений в каждой из островных дуг. Однако полученные сейсмические данные позволяют уже сейчас сформулировать следующие заключения относительно существующих взглядов на тектонические процессы в островных дугах Тихого океана.

Фокальные зоны не могут рассматриваться в виде гигантских планетарных разломов, проникающих в мантию на сотни километров. В очагах землетрясений, происходящих на всех глубинах в этих зонах, отсутствуют разрывы, ориентированные вдоль наклонных фокальных слоев.

Сейсмические данные не подтверждают представления о том, что продольные разрывы в литосфере островных склонов желобов представляют собой сбросы, отражающие предполагаемый процесс опускания островных дуг. Существование сбросов и условий субгоризонтального растяжения в литосфере отмечается по сейсмическим данным для океанических склонов желобов.

Для обоснования существования на

окраинах Тихого океана субдукции океанической литосферы часто привлекаются результаты исследования тихоокеанских землетрясений. Однако из их анализа видно, что они не могут служить доказательством этого процесса. Так, сейсмические данные не свидетельствуют однозначно о том, что большие землетрясения в литосфере островных дуг обусловлены пологими надвигами, как это предусматривается схемами субдукции. Проявление субгоризонтальных поперечных сжатий в литосфере островных склонов желобов может обуславливаться не субдукцией, а преобладанием в этой области единопавленных восходящих движений масс. Не может служить обоснованием субдукции и сложное распределение напряжений и разрывов в фокальных зонах ниже 70 км.

Результаты исследования механизма очагов тихоокеанских землетрясений дают основания полагать, что в тектонике литосферы, располагающейся под островными склонами желобов, ведущую роль играют субвертикальные взбросовые перемещения (поднятия блоков) в условиях субгоризонтального поперечного сжатия. Преобладание субвертикальных перемещений сохраняется, возможно, и в фокальных зонах ниже 70 км, но там они, в целом, менее закономерны и могут быть как восходящими, так и нисходящими. Поднятия блоков литосферы в островных склонах желобов вместе с опусканиями блоков в литосфере океанических склонов могут приводить к постепенному смещению островной дуги в сторону океана.

Накопленные к настоящему времени результаты исследований механизма очагов землетрясений островных дуг склоняют к мысли, что землетрясения в фокальных зонах обуславливаются не существованием какой-либо однородной системы напряжений или существованием сверхглубинных планетарных разломов, а, как отмечалось Ю. М. Пушаровским⁹, процессами в зоне контакта областей мантии с разными свойствами, с которой совпадает фокальная зона. Эти процессы, возможно, связаны с дифференциацией вещества в мантии окраин Тихого океана, приводя, в частности, к его восходящим и нисходящим перемещениям, сопровождающимся фазовыми переходами.

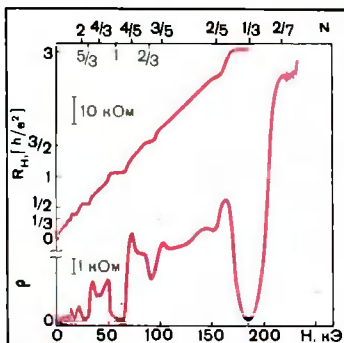
⁹ Пушаровский Ю. М. — Доклады АН СССР, 1978, т. 241, № 4, с. 903.

Дробный квантовый эффект Холла

С. Г. Семенчинский,
кандидат физико-математических наук
Москва

Открытие квантового эффекта Холла в 1980 г. — одно из самых интересных событий в физике твердого тела за последнее десятилетие¹. Эффект наблюдается в двумерных слоях носителей электрического заряда, на границе между двумя разными полупроводниками или между полупроводником и диэлектриком. Если через такой слой, находящийся в магнитном поле, пропустить ток, в перпендикулярном току направлении появляется холловское напряжение. Однако зависимость напряжения от величины магнитного поля H имеет не монотонный, как в классическом случае, а ступенчатый характер, причем на горизонтальных участках ступеней отношение холловского напряжения к току (холловское сопротивление R_H) выражается через постоянную Планка h и заряд электрона e : $R_H = h/Ne^2$, где N — натуральное число. Удельное сопротивление слоя ρ текущему через него току равно нулю.

Было предложено несколько теорий этого явления, отличающихся в деталях, но во всех горизонтальные участки R_H и минимумы ρ связывались с окончанием заполнения носителями N -го уровня Ландау² и началом заполнения $N+1$ -го уровня. Аномалии сопротивления, соответствующих частичному заполнению уровня Ландау, теория не предсказывала.



Зависимость холловского сопротивления R_H и удельного сопротивления ρ от величины магнитного поля H в случае дробного квантового эффекта Холла; $T = 0,55$ К. На кривых видны горизонтальные участки R_H и минимумы ρ , соответствующие нецелым значениям N .

Экспериментальное открытие таких аномалий — вторая сенсация в физике двумерных систем за последние три года. Аномалии, соответствующие заполнению уровня Ландау на $N=1/3$ и $2/3$, были обнаружены американскими физиками во главе с Д. Тсуи (фирма «Белл Лабораториз» и Принстонский университет)³. Выражение для R_H оказалось справедливым и в этом случае. Затем те же исследователи наблюдали аномалии и при $N=4/3, 5/3, 2/5, 3/5, 4/5$ и $2/7$ (знаменатель всегда нечетный)⁴. Явление получило название дробного квантового эффекта Холла.

Эксперименты велись с двумерными слоями на границе раздела монокристалла арсенида галлия с выращенным на нем слоем, в котором около 30 % атомов галлия замещено атомами алюминия. Дробный квантовый эффект Холла наблюдался

лишь в образцах, в которых подвижность носителей была чрезвычайно высока — $(2-5) \times 10^5$ см²/В·с, при температурах ниже 0,5 К; в то же время обычный квантовый эффект Холла наблюдается при подвижности в 10 раз меньшей и при температуре в 10 раз более высокой.

Пока не существует последовательного объяснения дробного эффекта Холла. Интересно гипотеза американского физика Р. Лафлина из Калифорнийского университета о существовании взаимодействия, превращающего коллектив электронов в несжимаемую квантовую жидкость. Так удалось объяснить аномалии при $N=1/m$, где m — нечетное число, причем эта нечетность — следствие того, что электроны подчиняются статистике Ферми. Затем было показано, что возбуждения, которые возникают в лафлинской жидкости (и которые ведут себя как частицы с дробным зарядом e/m), тоже образуют подобное состояние, но подчиняются статистике Бозе — Эйнштейна. В новом состоянии тоже возникают возбуждения и т. д. В результате «аномальные» значения N выражаются цепной дробью:

$$N = \frac{1}{m + \frac{\alpha_1}{P_1 + \frac{\alpha_2}{P_2 + \dots}}}$$

где $\alpha_i = 0, \pm 1$, P_i — четные числа, а m — нечетные⁵. Этот набор содержит все наблюдаемые «аномальные» N .

Однако существование взаимодействия, приводящего к такому результату, еще не доказано.

¹ Семенчинский С. Г., Эдельман В. С. Полевой транзистор и постоянная тонкой структуры. — Природа, 1982, № 9, с. 38.

² Уровни Ландау — энергетические уровни, число мест на которых ограничено и пропорционально величине магнитного поля H .

³ Tsui D. C. et al. — Phys. Rev. Lett., 1982, v. 48, p. 1559.

⁴ Ibid., 1983, v. 50, p. 1953.

⁵ Laughlin R. B. — Rhys. Rev. Lett., 1983, v. 50, p. 1385; Haldane F. D. M. — Ibid., v. 51, p. 605.

Термоядерный реактор-токамак

Б. Б. Кадомцев, В. И. Пистунович



Борис Борисович Кадомцев, академик, директор отделения плазменных исследований Института атомной энергии им. И. В. Курчатова. Основные работы посвящены физике плазмы и проблеме управляемого термоядерного синтеза. Занимался исследованиями устойчивости радиационных поясов Земли, нелинейных волновых процессов, поведения атомов в сверхсильном магнитном поле. Руководит разработкой термоядерного реактора с магнитным удержанием плазмы. Лауреат Государственной премии СССР.



Владимир Илларионович Пистунович, доктор физико-математических наук, начальник лаборатории того же института. Область научных интересов — физика высокотемпературной плазмы и управляемый термоядерный синтез. Принимает участие в проектировании термоядерного реактора на основе токамака.

Сегодня человечество удовлетворяет свои потребности в энергии, главным образом сжигая нефть, газ и уголь. Например, в нашей стране на долю нефти и газа приходится более 70 % добычи всех природных видов топлива и около 25 % составляет добыча угля. Однако запасы нефти и газа ограничены — с учетом роста потребления энергии они могут быть в значительной мере исчерпаны за каких-нибудь 30—50 лет. Кроме того, нефть и газ — это не только топливо, но и ценное сырье для получения целого ряда химических продуктов, производства белка и других жизненно важных веществ.

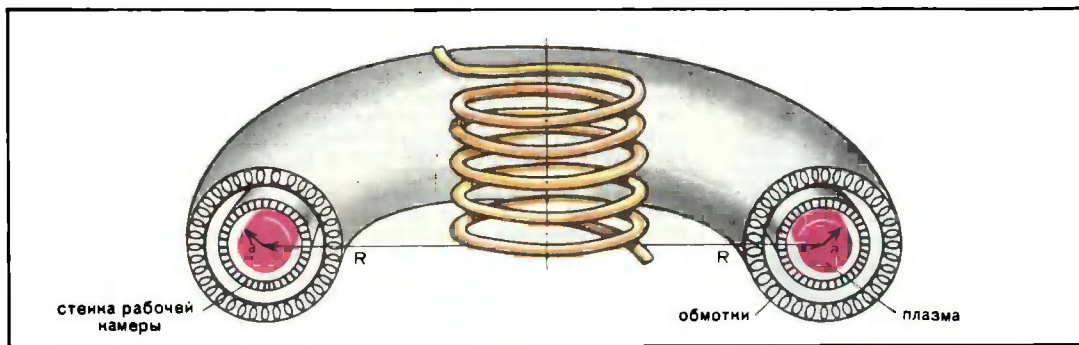
Куда же двигаться энергетике? Путь оптимального ее развития был намечен

нашей страной, построившей 30 лет назад первую атомную электростанцию. Именно ускоренное развитие атомной энергетики и является перспективой на будущее.

Атомные электростанции сегодняшнего дня используют реакцию деления тяжелых ядер. Но имеются еще огромные потенциальные резервы энергии в легких ядрах, которые могут быть реализованы в реакциях синтеза. Водородная бомба — это демонстрация возможности освобождения этой энергии в форме взрыва чудовищной силы. Но в скором времени физики осуществят управляемый термоядерный синтез (УТС), а через десяток-другой лет должны появиться первые опытные термоядерные электростанции.

Не исключено, что необходимые темпы роста производства энергии в перспективе трудно будет поддерживать, даже сжигая во все больших масштабах дешевый уран и вырабатываемый в реакторах на быстрых нейтронах плутоний. Кроме того, с развитием атомной энергетики потребуются обращение с большими массами радиоактивных отходов и ужесточатся требования радиационной безопасности. Сегодня неясно, как это скажется на экономике энергетики деления. УТС же, использующий в качестве топлива на на-

мак представляет собой трансформатор, первичная обмотка которого — это индуктор (катушка возбуждения, присоединенная к источнику питания), а состоящая из единственного «витка» вторичная обмотка — герметичная рабочая камера в форме тора, заполняемая газообразным дейтерием. Давление газа в камере выбирается с таким расчетом, чтобы обеспечить оптимальные условия его пробы индуцируемым вихревым электрическим полем. Пробой ведет к ионизации газа и возникновению в плазме тока, поддержи-



Простейшая принципиальная схема токамака. На рисунке изображен поперечный разрез тора (R — большой радиус рабочей камеры, a — малый радиус плазменного шнура). В центре показана катушка возбуждения (индуктор), представляющая собой первичную обмотку трансформатора, вторичной обмоткой которого является плазменный шнур. Вокруг стенки рабочей камеры расположены катушки, создающие магнитное поле, используемое для удержания и стабилизации плазмы.

чалом этапе дейтерий и литий, а затем только дейтерий, может стать поистине неиссякающим источником энергии, обладающим принципиальными возможностями резкого снижения радиационной опасности.

Последние 30 лет работы по УТС ведутся широким фронтом в различных направлениях. В итоге, одним из наиболее перспективных путей решений этой проблемы признана разработка систем с магнитным удержанием плазмы, среди которых токамаки занимают передовые позиции.

Устройство и принцип работы токамака достаточно просты¹. По существу, тока-

мак на нужном уровне этим полем. Рабочая камера окружена катушками, создающими тороидальное магнитное поле, силовые линии которого замыкаются внутри тора. Плазма нагревается протекающим через нее током и удерживается внутри камеры тороидальным и полоидальным (перпендикулярным к средней плоскости тора) магнитными полями. В самом крупном отечественном токамаке Т-10 таким способом удается нагревать плазму до 10—15 млн град².

Анализ состояния работ на токамаках позволяет утверждать: принципиальные физические проблемы создания и удержания высокотемпературной плазмы будут решены в ближайшие годы. Однако от физической демонстрации УТС до его технической реализации предстоит пройти еще столь же большой и сложный путь, как от запуска первого реактора для деления ядер урана до строительства атомной электростанции. Поэтому уже сейчас становятся актуальными опытно-конструкторские разработки будущего термоядерного реактора. О некоторых из них нам хотелось бы рассказать в этой статье.

¹ См., напр.: Кадомцев Б. Б. Физика токамаков. — Природа, 1979, № 2, с. 21.

² Стрелков В. С. Исследование горячей плазмы на Токамаке-10. — Природа, 1977, № 11, с. 72.

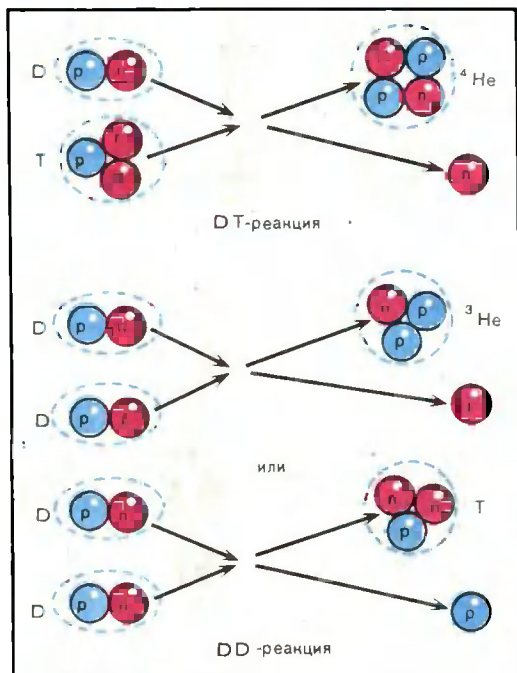
ПЛАЗМА И ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

Цель УТС — обеспечить в земных условиях протекание реакции слияния легких ядер. Наибольший интерес с этой точки зрения представляют реакции с участием изотопов водорода: дейтерия и трития (DT-цикл) либо одного дейтерия, (DD-цикл). В первом случае рождаются α -частица с энергией 3,5 МэВ и нейтрон с энергией 14,1 МэВ. Во втором — с равной вероятностью образуются ^3He и нейтрон или тритий и протон³.

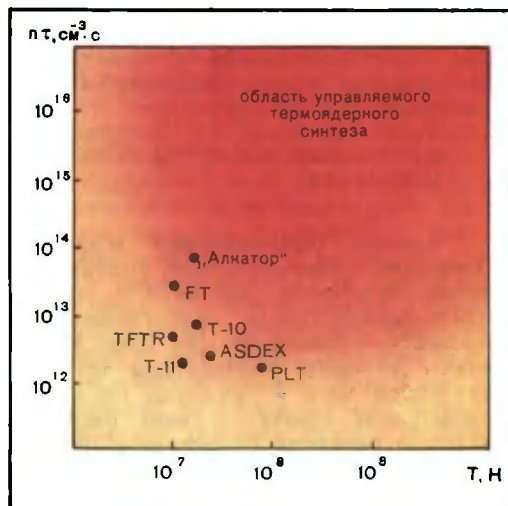
Интенсивность ядерной реакции, т. е. число актов взаимодействия в единице объема за единицу промежуток времени, сильно зависит от энергии сталкивающихся ядер. Поэтому для осуществления УТС требуется нагреть DT-смесь до очень высокой температуры, порядка 100 млн град. Любое вещество при таких температурах представляет собой плазму. Однако даже столь огромная температура сама по себе еще не гарантирует успеха, ибо интенсивность термоядерного синтеза определяется не только температурой плазмы, но и ее плотностью. Так, для наиболее вероятной DT-реакции плотность плазмы в термоядерном реакторе при указанной температуре должна быть не менее 10^{14} частиц/см³.

Поскольку тритий не встречается в природе, его следует воспроизводить в процессе работы реактора. Для этого предусмотрена специальная оболочка, окружающая рабочую камеру и называемая бланкетом термоядерного реактора. Бланкет изготавливают из материала, содержащего литий, так как тритий образуется

³ Выделяющаяся в различных реакциях синтеза энергия изменяется в несколько раз, тогда как их сечения, или вероятности (зависящие от энергии взаимодействующих частиц), различаются более существенно. Так, максимальное сечение DT-реакции превышает соответствующую величину для DD-реакции более, чем в 50 раз. Кроме того, энергия сталкивающихся частиц (температура плазмы), при которой достигается этот максимум, для первой реакции примерно в 10 раз ниже, чем для второй. С этой точки зрения DT-реакция выглядит предпочтительнее и реализуется легче (при меньших значениях температуры и плотности плазмы), так что в настоящее время концепция УТС исходит из использования DT-смеси. Однако тритий — нестабильный (отсутствующий в природных условиях) и весьма дорогой элемент. Его необходимо воспроизводить в самом реакторе. Поэтому в дальнейшем, после отработки необходимых систем, единственным «горючим» реактора станет неизмеримо более дешевый и доступный дейтерий.



Реакции, протекающие в термоядерном реакторе с наибольшей вероятностью.



Параметры плазмы, полученные на различных установках токамак: ASDEX (ФРГ); FT (Италия); «Аликатор», RLT и TFTR (США); T-10 и T-11 (Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова). По горизонтальной и вертикальной осям в логарифмическом масштабе отложены температура плазмы T и произведение ее плотности n на время τ удержания энергии. Значения параметров для установки TFTR относятся к первым экспериментам (с омическим нагревом плазмы).

в реакции ${}^6\text{Li} + n \rightarrow {}^4\text{He} + T$. Сгорающий при синтезе тритий пополняется в литиевом бланкете, так что реактор «топится», по существу, дейтерием и литием. Запасы этих элементов на нашей планете настолько велики, что при прогнозируемых темпах потребления их должно хватить на многие сотни лет.

Теплотворная способность термоядерного «горючего» во много раз выше, чем не только обычного, но и ядерного топлива атомных электростанций. Действительно, при синтезе 1 г DT-смеси выделяется энергии примерно в 20 млн раз больше, чем при сгорании 1 г угля, и в 8 раз больше, чем при полном делении 1 г урана.

По составу бланкета термоядерные реакторы разделяются на «чистые» и гибридные. В бланкете чистого реактора производится лишь тритий. В гибридном же реакторе бланкет наряду с литием содержит исходные материалы для получения делящихся изотопов — уран-238 или торий-232. Образующиеся при их облучении нейтронами плутоний-239 или уран-233 служат топливом для реакторов деления.

В обоих случаях тепловая энергия, выделяющаяся в бланкете, идет на нагрев теплоносителя и преобразуется в электрическую точно так же, как на атомных электростанциях. В чистом термоядерном реакторе единственная полезная «продукция» — это электроэнергия, а в гибридном реакторе к ней добавляются делящиеся изотопы.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ. РЕАКТОРА-ТОКАМАКА

Условие термоядерного «горения». В наиболее «горючей» смеси, содержащей равные количества дейтерия и трития, термоядерное пламя «вспыхивает» при температуре выше 50 млн град. Нагрев плазмы до такой температуры представляет собой хотя и трудную, но вполне разрешимую задачу — ведь плотность плазмы в реакторе примерно в 100 тыс. раз меньше плотности газа при атмосферном давлении.

Для интенсивного протекания УТС в токамаке нужно, кроме того, чтобы плазма занимала достаточно большой объем. Лишь в этом случае частицы и излучение не успеют выйти из плазмы раньше, чем произойдет необходимое для поддержания управляемой реакции число единичных актов синтеза. Математически это можно выразить следующим образом: произведение плотности плазмы n на ха-

рактерное время τ удержания энергии плазмы должно превосходить некоторое критическое значение (зависящее от температуры). Для DT-цикла $n\tau \geq 2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}$. Это соотношение называют условием зажигания термоядерной реакции. Как указывалось выше, в термоядерном реакторе плотность DT-плазмы должна превышать $10^{14} \text{ частиц/см}^3$, поэтому τ составляет примерно 1 с. Величина τ характеризует темп отвода энергии от плазмы к стенкам реактора.

В настоящее время получены вполне надежные экспериментальные и теоретические результаты по удержанию и нагреву плазмы в токамаках. Они позволяют уверенно экстраполировать достигнутые значения ее параметров к тем, которые требуются для реактора.

Нагрев плазмы. Для получения термоядерной температуры нагрев плазмы джоулевым теплом протекающего через нее тока оказывается недостаточным. С ростом температуры сопротивление плазмы уменьшается и эффективность такого способа падает. Для дальнейшего увеличения температуры требуется дополнительный нагрев плазмы.

Наиболее перспективными представляются два метода нагрева: пучками быстрых атомов и токами высокой частоты.

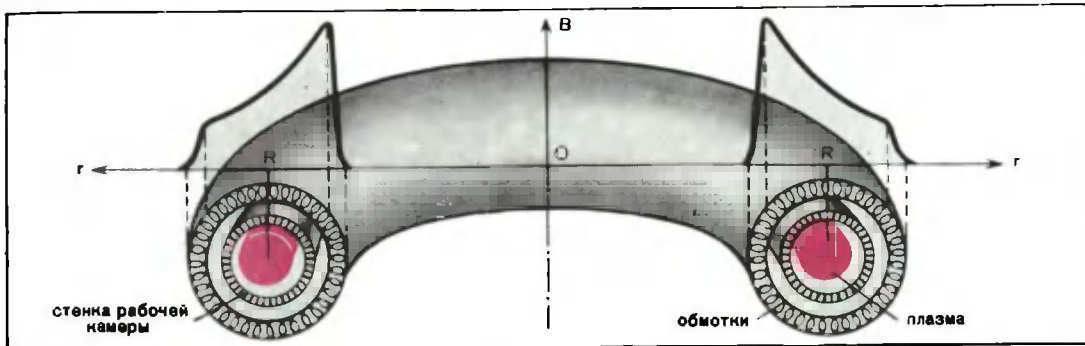
Пучки быстрых атомов формируются с помощью инжекторов — ускорителей заряженных частиц, например дейтерия — дейтронов. Ускоренные дейтроны проходят через специальный слой нейтрального газа и превращаются в быстрые атомы дейтерия, которые беспрепятственно проникают в плазменный шнур токамака под любым углом к магнитному полю. Уже существуют инжекторы с мощностью пучка свыше 2 МВт при энергии атомов 20—40 кэВ. Использование инжекторов привело к значительному повышению температуры плазмы. Так, на токамаке PLT (США) этим способом удалось достичь температуры 70 млн град.

Наряду с инжекцией атомов широко изучается нагрев плазмы высокочастотным электромагнитным полем. Поместив вблизи рабочей камеры петлю с током высокой частоты, можно возбудить в плазме электромагнитные волны. При соответствующем подборе частоты эти волны будут эффективно поглощаться в плазме, нагревая ее. Ввод около 3 МВт мощности в области ионной циклотронной частоты (с которой ионы вращаются в магнитном поле) на той же установке PLT позволил нагреть плазму до 40 млн

град. Если частота возбуждаемых в плазме колебаний близка к циклотронной частоте электронов (которая в 3680 раз выше частоты вращения дейтронов), то происходит интенсивный нагрев электронов плазмы. Высокая эффективность нагрева плазмы таким методом была впервые продемонстрирована в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова и впоследствии подтверждена на других установках. Однако необходимы дальнейшие исследования по нагреву плазмы при вводе в нее мощности масштаба десятков мегаватт.

В экспериментах на токамаке «Дублет-III» (США), где поперечное сечение плазменного шнура имеет форму эллипса, достигнуто значение $\beta=4,5\%$.

Чтобы свести к минимуму затраты на создание сильного (5—6 Тл) магнитного поля, в реакторе предполагается использовать сверхпроводящие обмотки. Однако в магнитных полях большой напряженности сверхпроводимость исчезает. Поэтому один из основных аспектов разработки магнитной системы реактора для УТС — поиск сверхпроводящих материа-



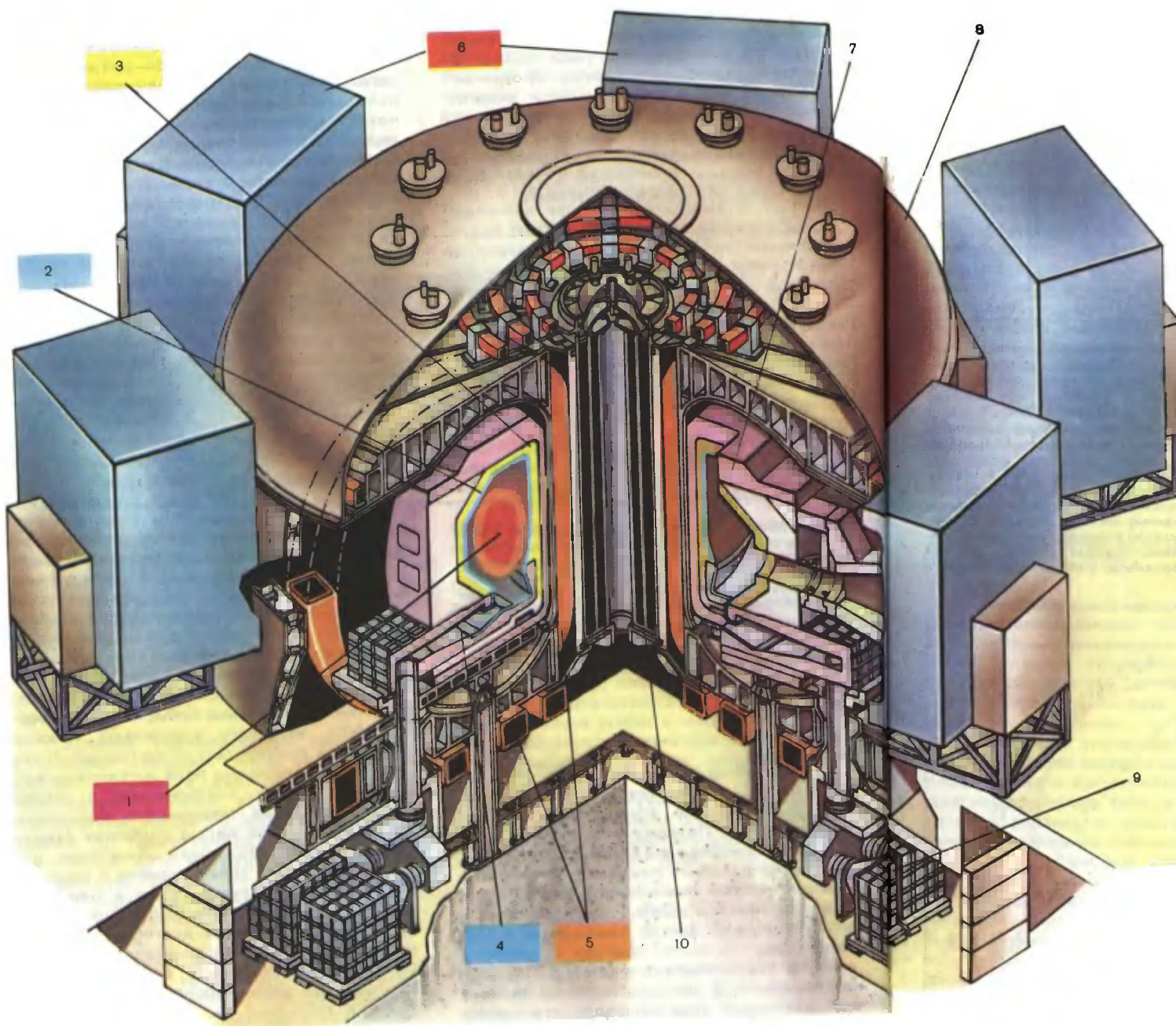
Распределение торондального магнитного поля в поперечном сечении токамака. Наибольшее значение напряженности поля достигает на обмотках с внутренней стороны тора, поскольку здесь плотность тока (число витков на единицу площади) максимальна. Внутри обмоток поле изменяется сравнительно медленно (по закону $1/r$), а снаружи резко падает.

Магнитное удержание. Как отмечалось выше, удержание и стабилизация плазмы в токамаке осуществляются магнитным полем. Поэтому важным параметром реактора-токамака является величина β отношения давления плазмы P , связанного с ее плотностью n и температурой T простой формулой $P=2nT$, к давлению магнитного поля $B^2/8\pi$ (B — магнитная индукция).

Из теоретических расчетов следует, что значение β не может быть велико, так как при этом плазма становится неустойчивой. Для экономически оправданного энергетического реактора эта величина должна составлять не менее 5%. Недавно на токамаке Т-11 с круглым поперечным сечением плазмы получено значение $\beta=3\%$ при сохранении устойчивости плаз-

лов, характеризуемых высоким значением критического (разрушающего сверхпроводимость) магнитного поля⁴. В этом смысле особенно ценен опыт эксплуатации установки Т-7 (СССР) — первого в мире токамака со сверхпроводящими обмотками на основе ниобий-титанового сплава. В центральной части рабочей камеры этой установки поддерживается поле с $B \approx 2,5$ Тл. Естественное желание повысить это значение (что позволяет удерживать плазму с большей плотностью n) заставляет стремиться к увеличению поля на сверхпроводящих обмотках. Сооружаемая в нашей стране установка следующего поколения Т-15 будет с этой целью снабжена сверхпроводящими магнитными обмотками, изготовленными из сплава ниобия с оловом. Максимальное значение поля в реакторе с учетом конструктивных особенностей обмоток из этого сплава достигает примерно 12 Тл. Поскольку магнитное поле в токамаке неоднородно, величина его в центральной части рабочей камеры составит при этом 5—6 Тл.

⁴ Башкиров Ю. А. 10 лет Международной научной лаборатории во Вроцлаве. — Природа, 1978, № 5, с. 34.



Общий вид и основные элементы опытного термоядерного реактора «Интор» (проект): 1 — плазма; 2 — первая стенка рабочей камеры; 3 — бланкет; 4 — камера дивертора; 5 и 5' — тороидальные

и полоидальные обмотки; 6 — инжекторы системы дополнительного нагрева плазмы; 7 — радиационная защита; 8 — криостат; 9 — насосы вакуумной системы; 10 — индуктор.

Полная термоядерная мощность	620 МВт
Длительность рабочего импульса	200 с

ПЛАЗМА

Средняя температура T	10^8 К
Средняя плотность n	$1,4 \cdot 10^{14}$ см $^{-3}$
Ток	6,4 МА

РАБОЧАЯ КАМЕРА

Большой радиус R	5,2 м
Малый радиус a	1,4 м
Объем	320 м 3
Материал первой стенки	нерж. сталь
Толщина первой стенки	12—13,5 мм
Теплоноситель	вода

БЛАНКЕТ

Состав	Pb, C, Li $_2$ SiO $_3$
Толщина	0,5 м
Коэффициент воспроизводства трития	0,65
Годовое потребление трития	7 кг

ДИВЕРТОР

Тип	полоидальный
-----	--------------

МАГНИТНАЯ СИСТЕМА

Тип	сверхпроводящая
Материал обмоток	Nb $_3$ Sn, NbTi, Cu
Поле на обмотках	11,6 и 8 Тл
Поле в центре рабочей камеры	5,5 Тл

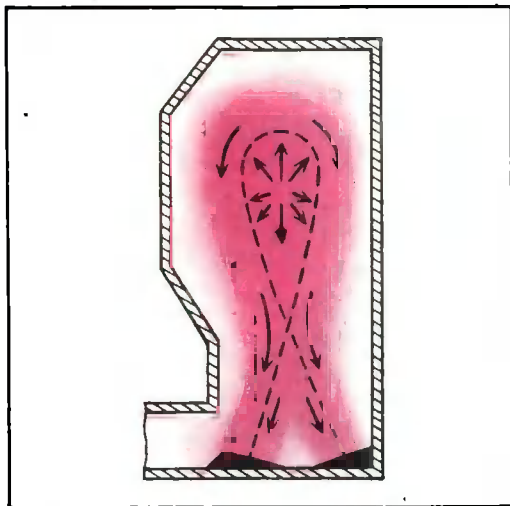
СИСТЕМА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА ПЛАЗМЫ

Способ нагрева	инжекция атомов D
Мощность инжекции	75 МВт
Энергия атомов	175 кэВ
Длительность инжекции	6 с

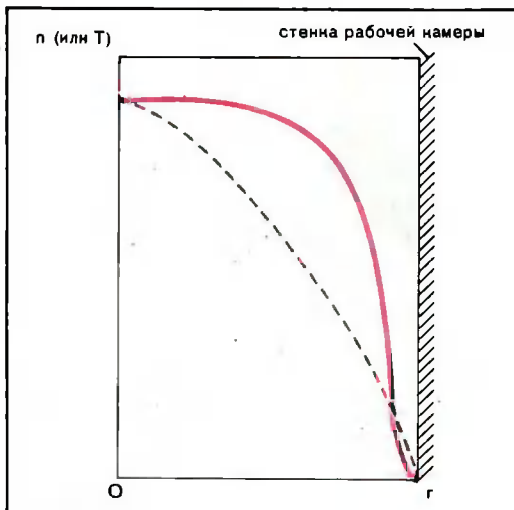
Удаление продуктов реакции из плазмы. В отличие от существующих токамаков, реактор должен работать непрерывно или хотя бы в течение длительных промежутков времени (с краткими остановками). Поэтому неотъемлемой частью термоядерного реактора является устройство, очищающее плазму от «зола» DT-реакции — гелия и других примесей, которые попадают со стенки внутрь рабочей камеры, а также от водорода, образующегося в реакциях DD или D^3He . Накопление в рабочей камере этих продуктов значительно сокращает время «горения» термоядерной реакции.

Существует несколько физических и конструктивных решений такого устройства, именуемого дивертором⁵. Наиболее эффективным из них на сегодняшний день признан так называемый полоидальный магнитный дивертор. Это устройство делит плазму в токамаке на горячую центральную и холодную периферийную области. В горячей области, где протекают термоядерные реакции, силовые линии магнитного поля замкнуты. Ионы гелия и протоны диффундируют вместе с дейтронами и тритонами (ядрами трития) поперек магнитного поля от средней линии тора к периферии, где магнитные силовые линии не замыкаются, а выходят из рабочей камеры и «упираются» в стенки специальной полости дивертора. Следовательно, заряженные частицы, попавшие из центральной области плазмы в периферийную, вдоль магнитных силовых линий сравнительно быстро покидают рабочую камеру и оседают на стенках этой полости или на расположенных в ней коллекторных пластинах. Ионы превращаются в нейтральные атомы, откачиваемые из полости вакуумными насосами.

Первые эксперименты на токамаке с полоидальным дивертором были проведены в нашей стране на установке Т-12. Поведение плазмы в магнитном поле полоидальной конфигурации подтвердило осуществимость требуемых режимов при омическом нагреве плазмы. В последнее время получены новые результаты на токамаке ASDEX (ФРГ), также оснащенном полоидальным дивертором. При нагреве плазмы в центральной части рабочей камеры пучком быстрых атомов водорода параметры плазмы в периферийной области оказа-



Поперечный разрез рабочей камеры термоядерного реактора-токамака с полоидальным магнитным дивертором. Горячая плазма занимает область, ограниченную сепаратрисой (пунктир), где силовые линии магнитного поля замкнуты. В точке пересечения пунктирной линии полоидальное магнитное поле обращается в нуль. Движение ионов (изображено стрелками) поперек силовых линий магнитного поля в этой области обусловлено в основном диффузией и происходит сравнительно медленно. В периферийной области, заполненной более холодной плазмой, заряженные частицы довольно быстро (с тепловыми скоростями) перемещаются вдоль магнитных силовых линий, покидая рабочую камеру и поглощаясь на приемных поверхностях полости дивертора.



Радиальное распределение плотности n или температуры T плазмы в рабочей камере токамака с полоидальным магнитным дивертором (сплошные линии) и без него (пунктир). Видно, что при наличии дивертора область, занятая плотной горячей плазмой, увеличивается.

⁵ Если для удаления примесей из плазмы использовать обычные средства откачки, то большую часть стенки рабочей камеры займут отверстия каналов откачки, что совершенно неприемлемо с инженерной точки зрения.

лись близки к тем, которые необходимы для реактора. Продемонстрирована возможность работы токамака при наличии плотной холодной плазмы и повышенного давления нейтрального газа в полости дивертора. Дальнейшие эксперименты должны показать эффективность работы дивертора в условиях длительного горения термоядерной реакции.

Переход к непрерывному режиму. Установки токамак пока работают в импульсном режиме. Длительность импульсов определяется энергией, запасенной в индукторе, поддерживающем ток в плазме.

Недавно в ряде стран получены первые результаты по безындукционному возбуждению тока в токамаках. С этой целью в плазму вводят электромагнитные волны определенной частоты, которые вызывают упорядоченное движение электронов вдоль магнитного поля. Эксперименты на установках T-7, PLT и GFTI-II (Япония) свидетельствуют о перспективности такого способа возбуждения тока. Исследования в этом направлении позволят в ближайшем будущем определить возможности системы безындукционного поддержания тока в реакторе в течение длительного времени.

ИНЖЕНЕРНЫЕ АСПЕКТЫ ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

Термоядерный реактор-токамак состоит из следующих основных частей: магнитной, криогенной и вакуумной систем, системы энергопитания, blankets, тритиевого контура и защиты, системы дополнительного нагрева плазмы и подпитки ее топливом, а также системы дистанционного управления.

Магнитная система содержит катушки тороидального магнитного поля, индуктор для поддержания тока и индукционного нагрева плазмы и обмотки, формирующие полоидальное магнитное поле, необходимое для работы дивертора и поддержания равновесия плазменного шнура.

Чтобы исключить джоулевы потери, магнитная система, как указывалось ранее, будет полностью сверхпроводящей. Для обмоток магнитной системы предполагается использовать сплавы ниобий — титан и ниобий — олово.

Создание магнитной системы реактора с магнитным полем до 12 Тл на сверхпроводнике и плотностью тока около 2 кА/см^2 — одна из основных инженерных проблем разработки термоядерного

реактора, которую предстоит решить в ближайшее время.

Криогенная система включает в себя криостат магнитной системы и криопанели в инжекторах дополнительного нагрева плазмы. Криостат имеет вид вакуумной камеры, в которой заключены все охлаждаемые конструкции. Каждая катушка магнитной системы помещена в жидкий гелий. Его пары охлаждают специальные экраны, расположенные внутри криостата для уменьшения тепловых потоков с поверхностей, находящихся при температуре жидкого гелия. В криогенной системе предусмотрены два контура охлаждения, в одном из которых циркулирует жидкий гелий, обеспечивающий требуемую для нормальной работы сверхпроводящих катушек температуру около 4 К, а в другом — жидкий азот, температура которого составляет 80—95 К. Этот контур служит для охлаждения перегородок, разделяющих объемы с гелиевой и комнатной температурами.

Криопанели инжекторов охлаждаются жидким гелием и предназначены для поглощения газов, что позволяет поддерживать достаточную скорость откачки при относительно высоком разрежении.

Вакуумная система обеспечивает откачку гелия, водорода, примесей и топлива из полости дивертора или из окружающего плазму объема в процессе работы реактора, а также из рабочей камеры в паузах между импульсами. Чтобы откачиваемый тритий не выбрасывался в окружающую среду, в системе необходимо предусмотреть замкнутый контур с минимальным количеством циркулирующего трития. Откачивать газ можно турбомолекулярными насосами, производительность которых должна быть несколько больше достигнутой на сегодняшний день. Длительность паузы для подготовки рабочей камеры к следующему импульсу при этом не превышает 30 с.

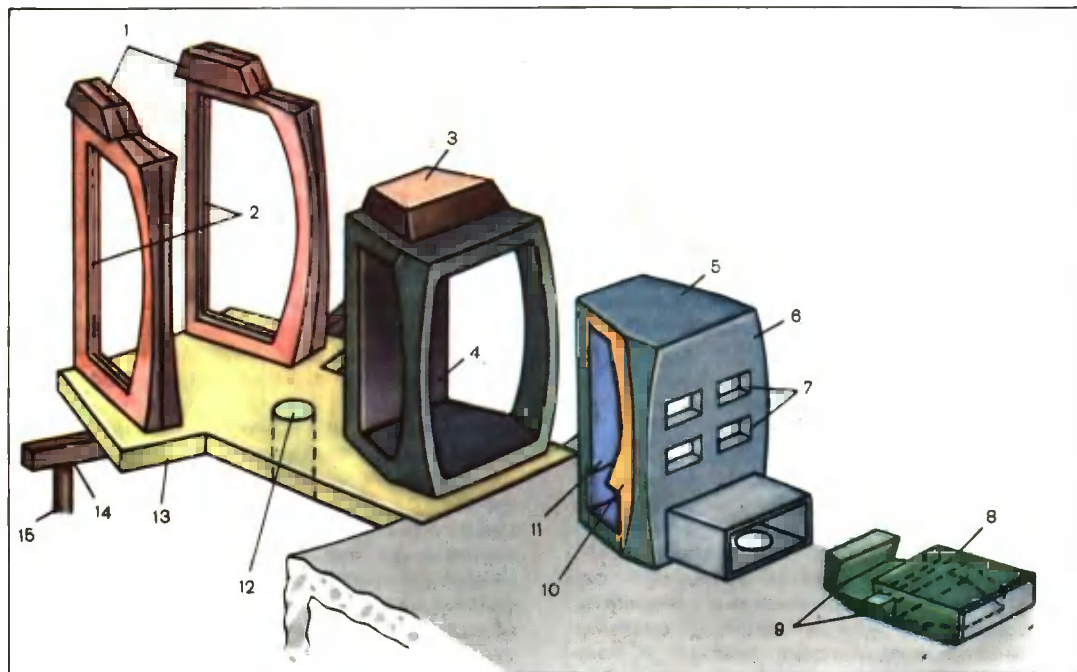
Система энергопитания существенно зависит от режима работы реактора. Она заметно проще для токамака, работающего в непрерывном режиме. При работе в импульсном режиме целесообразно использовать комбинированную систему питания: сеть и мотор-генератор. Мощность генератора определяется импульсными нагрузками и достигает 10^6 кВт .

Blanket реактора расположен за первой стенкой рабочей камеры и предназначен для захвата нейтронов, образующихся в DT-реакции, воспроизводства «сгорев-

шего» трития и превращения энергии нейтронов в тепло. В гибридном термоядерном реакторе бланкет служит также для получения делящихся веществ. Бланкет — это, по существу, то новое, что отличает термоядерный реактор от обычной термоядерной установки. Опыта по конструированию и эксплуатации бланкета пока нет, поэтому требуются инженерно-конструкторские разработки литиевого и уранового бланкетов.

Тритиевый контур состоит из не-

Защита реактора делится на радиационную и биологическую. Радиационная защита ослабляет поток нейтронов и снижает энерговыделение в сверхпроводящих катушках. Для нормальной работы магнитной системы при минимальных энергозатратах необходимо ослабить нейтронный поток в 10^5 — 10^6 раз. Радиационная защита находится между бланкетом и катушками тороидального поля и закрывает всю поверхность рабочей камеры за исключением каналов дивертора и вводов



Составные части секции «Интора»: 1 — верхние опоры тора; 2 — уплотнения вакуумной системы; 3 — полустационарный сектор тора; 4 — полустационарная внутренняя защита; 5 — заменяемый сектор тора; 6 — заменяемая внешняя защита; 7 — гнезда под испытательные и измерительные модули; 8 — заменяемый модуль дивертора; 9 — коллекторные пластины; 10 — бланкет; 11 — заменяемая внутренняя защита; 12 — трубопровод системы откачки частиц из полости дивертора; 13 — нижняя опора тора; 14 — опорная балка; 15 — опорные колонны.

скольких независимых узлов, обеспечивающих регенерацию откачиваемого из рабочей камеры газа, его хранение и подачу для подпитки плазмы, извлечение трития из бланкета и возврат его в систему питания, а также очистку от него отработанных газов и воздуха.

инжекторов. В зависимости от состава толщина защиты составляет 80—130 см.

Биологическая защита совпадает со стенами реакторного зала и сделана из бетона толщиной 200—250 см. Она предохраняет окружающее пространство от радиации.

Системы дополнительного нагрева плазмы и подпитки ее топливом занимают значительное пространство вокруг реактора. Если нагрев плазмы осуществляется пучками быстрых атомов, радиационная защита должна окружать весь инжектор, что неудобно для расположения оборудования в реакторном зале и обслуживания реактора. Системы нагрева токами высокой частоты в этом смысле привлекательнее, так как их устройства ввода

(антенны) более компактны, а генераторы могут быть установлены за пределами реакторного зала. Предстоящие исследования на токамаках и разработка конструкции антенн позволит сделать окончательный выбор среди различных систем нагрева плазмы для первого термоядерного реактора.

Система управления — неотъемлемая часть термоядерного реактора. Как и в любом реакторе, из-за довольно высокого уровня радиоактивности в пространстве, окружающем реактор, управление и обслуживание в нем осуществляются дистанционно — как во время работы, так и в периоды непродолжительных остановок.

Источником радиоактивности в термоядерном реакторе является, во-первых, тритий, распадающийся с испусканием электронов и мягких γ -квантов (период его полураспада составляет около 13 лет), а во-вторых, радиоактивные изотопы, образующиеся при взаимодействии нейтронов с конструкционными материалами blankets и рабочей камеры. Для наиболее распространенных из них (стали, сплавов молибдена и ниобия) активность достаточно велика, но все же примерно в 10—100 раз меньше, чем в реакторах деления аналогичной мощности. В перспективе в термоядерном реакторе предполагается использовать материалы, обладающие малой наведенной активностью, например алюминий и ванадий. Пока же термоядерный реактор-токамак проектируется с учетом дистанционного обслуживания, что накладывает дополнительные требования на его конструкцию. В частности, он будет состоять из соединяемых между собой одинаковых секций, которые заполнят различными стандартными блоками (модулями). Это позволит в случае необходимости сравнительно просто заменять отдельные узлы с помощью специальных манипуляторов.

ОПЫТНЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР

Как воплотить изложенные выше физические основы и инженерные решения в едином проекте реактора? Уже несколько лет в ряде стран ведутся работы над таким проектом. Наиболее разработан международный проект реактора-токамака, получившего название «Интор». Инициатором этой деятельности стала наша страна. В 1978 г. Советский Союз внес предложение в Международное агентство по атомной энергии — объединить

усилия стран-участниц в создании опытного термоядерного реактора. Рабочая группа, состоящая из специалистов СССР, США, Японии и стран Евратома, определила основные параметры установки (приведенные в таблице) и подготовила их физико-техническое обоснование⁶.

К середине 1981 г. успешно завершён первый этап этой большой работы — фаза концептуального проектирования. В проекте сконцентрированы все последние мировые достижения физики плазмы, а также инженерных и технологических разработок термоядерных реакторов.

Работа над проектом показала, что подобный реактор может быть создан в ближайшие годы на базе существующей технологии, современной техники и имеющихся материалов.

Основная задача реактора «Интор» — техническая демонстрация управляемого термоядерного синтеза. Эта установка не будет еще экономически выгодной, но она должна подтвердить возможность получения ядерной энергии легких элементов в форме, доступной для промышленного использования, иными словами — стать прообразом будущего реактора термоядерной электростанции.

⁶ В этих же странах с середины 70-х годов ведутся разработка, проектирование и строительство национальных термоядерных установок нового поколения, которые по ряду параметров сопоставимы с «Интором». Сооружение некоторых из них уже завершено. Подробнее см. в этом номере на с. 101: Новое поколение токамаков вступает в строй (Прим. ред.)

Минералы Кугитангских пещер

В. В. Моршкин

Всесоюзный научно-исследовательский институт
минерального сырья Министерства геологии СССР
Москва

Карстовые пещеры — один из самых благодатных объектов для изучения современного образования минералов. Здесь встречается небольшое число и причем довольно распространенных минералов, таких как кальцит, арагонит, гипс. Но их формы исключительно разнообразны и оригинальны. Из всех карстовых районов Земли по богатству форм минералов выделяются южные районы Средней Азии, и особенно Юго-Восточная Туркмения.

Недавно в этом районе в карстовых пещерах хребта Кугитангтау работала комплексная экспедиция, целью которой было обследование состояния пещер, сильно пострадавших из-за добычи в них дешевого поделочного камня — мраморного оникса, а также выяснение условий создания в этом районе карстового заповедника. Среди участников экспедиции было два минералога — В. И. Степанов и автор статьи. Нам приходилось бывать в этих пещерах и ранее. В результате получено немало данных о своеобразной минералогии Кугитангских пещер.

Хребет Кугитангтау, южный отрог Гиссарского хребта, — сравнительно невысокая монолитная горная цепь длиной около 70 км. Западный его склон сложен известняками юрского возраста и прорезан множеством крупных каньонов. Отсюда и название хребта — «Кугитанг», что по-таджикски означает «гора ущелий». В результате карстовых процессов — растворения известняков поверхностными и подземными водами — здесь образовались пустоты разного размера и форм, в том числе более 30 больших и малых пещер. Длина некоторых из них, представляющих собой сложные лабиринтовые системы, достигает 8 км. Высота крупных залов более 20 м.

Важная особенность Кугитангских пещер — широкое распространение в них

гипса — водного сульфата кальция — $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Юрские известняки хребта Кугитангтау некогда были перекрыты содержащей гипс толщей так называемой гаурдакской свиты. Почти на всей площади западного склона хребта эта толща была снесена эрозией, и лишь местами сохранились небольшие гипсовые холмы — останцы. Гипс сравнительно легко растворяется в воде. И нет сомнений, что именно лежащая сверху гипсоносная толща была источником этого минерала в пещерах, где он отлагался из просачивающихся сверху и растворивших его по пути дождевых и талых вод.

Гипсовые образования в Кугитангских пещерах колоссальны. Если в других пещерах мира гипс встречается довольно редко и лишь в мелких выделениях, то здесь он образует столбообразные сталагмиты на дне пещер, иногда достигающие шестиметровой высоты. В некоторых крупных залах встречаются сотни больших сталагмитов, нередко обросших блестящими гипсовыми кристаллами. Полутораметровые сростки просвечивающих кристаллов — свисающие с потолка «люстры» и каменные «ежи» на полу — характерны для всех гипсовых залов. На многие километры свод и стены лабиринтов покрыты искрящейся в луче фонаря корой гипсовых кристаллов. Ходить по этим великолепным залам и коридорам пещер непросто. Неровный пол завален обломками известняка, отвалившимися от потолка и стен кусками гипсовой коры и упавшими сталагмитами, подточенными водой. Во многих дальних залах вообще нет гипса. Таким образом, в последние тысячи, а возможно и десятки тысяч лет происходит смена древней гипсовой стадии минералообразования в Кугитангских пещерах современной — карбонатной. Ее формирование продолжается во многих пещерах и сейчас.

Главный минерал этой стадии — карбонат кальция (CaCO_3 , кальцит) — вообще самый распространенный пещерный минерал. Он образует бесчисленное количество форм. Это крупные, массивные сталагмиты и сталактиты на полу и потолках, тонкие трубчатые сталактиты на потолках («макаронны»), причудливо изогнутые и разветвленные шпоры — геликтиты, корки кристалликов кальцита на стенах пещер, забереги — ажурные сростки похожих на снежинки дендритов, растущие на поверхности воды от берегов подземных озер, всевозможные переходные и комбинированные формы выделения кальцита в самых разных сочетаниях. Многочисленные формы и дают основную информацию об условиях, существовавших в тех или иных участках пещер в разное время.

Кальцит образуется из известковых вод, содержащих растворенный бикарбонат кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, при распадении которого возникают карбонат кальция (CaCO_3) и углекислый газ (CO_2). Формы кальцита определяются интенсивностью поступления в пещеру известковых вод и скоростью разложения бикарбоната кальция, зависящей от влажности и температуры воздуха пещеры.

Если в пещерах имеются подземные озера, у их берегов образуются забереги, сохраняющиеся и после высыхания или ухода воды из озера. Из медленно капавшей воды растут массивные сталактиты и сталагмиты. Возникшие вначале трубчатые сталактиты при усилении притока вод обрастают толстой радиально-лучистой кальцитовою корой. По их концентрической зональности, связанной с сезонными колебаниями температуры и состава поступающих минерализованных вод, устанавливают возраст сталактитов.

Если при росте сталактита трубчатый канал закупоривается, под напором воды стенка его может прорваться (или раствор начнет просачиваться по границе кристалликов, слагающих сталактит) и от этого места на сталактите начинает расти вбок «шпора» — геликтит. Так образуются сложные сталактит-геликтитовые постройки. При наступлении более сухого режима кристаллизации в основном растут именно геликтиты (под этим термином понимаются все формы, не имеющие, в отличие от сталактитов и сталагмитов, вертикальной ориентации).

В Кугитангских пещерах геликтиты необычайно разнообразны и достигают невиданных размеров: так, в одном из залов самой интересной пещеры района

Новой мы встретили свисающие с потолка клубки сросшихся геликтитов более метра величиной. К сожалению, в настоящее время крупных геликтитовых образований этой пещеры уже не существует. Уникальные залы пещеры особенно сильно пострадали из-за добычи мраморного оникса. Уничтожены и красивейшие сталактитовые залы.

Еще меньшая обводненность, практически полное прекращение поступления вод в пещеру, при сохранении присущей пещерной атмосфере стопроцентной влажности (или близкой к стопроцентной), приводит, как это ни странно на первый взгляд, к разрушению и сталактитов, и геликтитов. Дело в том, что в удаленных от входа тупиковых частях пещер воздух почти неподвижен. Кроме водяных паров он содержит, вероятно, и микроскопические взвешенные в нем капельки насыщенной углекислотой воды. Из-за отсутствия «пещерного ветра» может установиться длительный восходящий поток паров и микрокапель, также поднимающихся вверх. Конденсируясь на потолке, покрытом кальцитовыми образованиями, вода корродирует кальцит. Это четко видно из сравнения геликтитовых образований разных участков: там, где геликтиты покрыты водяной пленкой, их поверхность гладкая и блестящая, местами обросшая корочкой позднего гипса и кристалликами целестина (сульфата стронция). В сухих участках пещер поверхность геликтитов гладкая только сверху, а с нижней стороны они источены тонкими каналами.

Еще одна особенность минералогии пещер хребта Кугитангтау — довольно большое количество в них арагонита, ромбической модификации карбоната кальция. Его формы также разнообразны: дендриты, сталактиты и сталагмиты, забереги. Особенно замечателен небольшой Арагонитовый тупик пещеры Новой. Неровный, с выступами и нишами потолок этого участка покрыт сплошными «зарослями» сложно устроенных агрегатов арагонита, так называемых «железных цветов». Их ветви толщиной примерно от одного до 15—16 мм и длиной до 10 см изогнуты, часто закручены, разветвлены, имеют тонколучистое внутреннее строение и блестящую «шерстистую» поверхность, образованную головками игольчатых кристаллов. Эти ажурные, полупрозрачные, почти белоснежные арагонитовые образования чрезвычайно эффектные. По морфологическому типу они ближе всего к геликтитам. Нередко «железные цветы» и пучки иголь-



Один из залов в пещере Капкун с кальцитовыми сталагмитами и «драпировками» на потолке.

Кальцитовая «Медуза» в пещере Капкун. Высота образования 4 м.



Сросток кальцитовых геликтитов на потолке «Цветочного зала» пещеры Новой.

Гипсовый сталагмит с корой красного кальцита высотой 1,5 м и мелкими сталактитами в пещере Фата-Моргана.

Гипсовые образования в пещере Фата-Моргана.



чатых кристаллов нарастают вокруг арагонитового сталактита, либо же сталактит, расщепляясь при росте, превращается в клубок переплетенных ветвей. Образуется висящий на тонком стебле «арагонитовый шар». На полу тупика растут небольшие арагонитовые сталагмиты.

Происхождение арагонита Кугитангских пещер трудно объяснить. Кристаллизацию этого минерала обычно связывают с присутствием в растворе повышенного количества стронция и магния. Однако в исследованных нами участках пещер встречаются целестин или гидромагnezит (водный карбонат магния) вместе с кальцитом. Во-вторых, арагонит — преимущественно гидротермальный минерал. Он — не редкость в субтермальных, по терминологии В. И. Степанова, пещерах Южной Ферганы, минерализация которых шла с участием глубинных и горячих вод. Кугитангские же пещеры — обычные карстовые, хотя с необычайно высокой для карстовых пещер температурой воздуха (до $+28^{\circ}\text{C}$ в дальних залах), и в них все же преобладает кальцит. Наконец, в этих пещерах одновременно растут и арагонит, и кальцит.

Таковы главные черты минералогии пещер хребта Кугитангтау. Наш рассказ был бы, однако, неполным без описания удивительной пещеры Фата-Моргана, находящейся примерно в 40 км западнее хребта на подгорной равнине и вскрытой несколько лет назад карьером Гаурдакского серного комбината. Эта пещера, образовавшаяся в гипсово-глинисто-карбонатной толще гаурдакской свиты, принадлежит к галерейному типу и состоит из длинного главного коридора шириной 1,5—3 м и множества впадающих в него тупиковых ходов. Общая длина пещеры около 7 км. Это тектоническая трещина, подвергшаяся карстовым процессам. В ее минерализации все необычно. Почти на всем протяжении главного коридора потолок и некоторые участки стен покрыты большими — до метра — кристаллами гипса призматической формы, с гладкими гранями, розового или розовато-сероватого цвета. Поэтому потолок пещеры выглядит как оскаленная пасть с громадными зубами. Морфология кристаллов, их нарастание только на вскрытую пещерой гипсовую породу и строение друзовой коры кристаллов в целом — все это не оставляет сомнений в том, что она образовалась в результате кристаллизации гипса в полости, целиком заполненной раствором. Нигде в мире не описано друзовой полости, хоть

сколь-нибудь близкой по своему масштабу к пещере Фата-Моргана.

Примерно на расстоянии 500 м от входа в пещере появляется настоящая карстовая минерализация — более поздняя, наложенная на друзовую. Это гипсовые формы, схожие с кугитангскими, но более скромных размеров, с кристалликами не более 5—6 см.

В отличие от Кугитангских пещер, в Фата-Моргане гипс растет и теперь; растворения его почти не наблюдается. В современную стадию минерализации входит и кристаллизация кальцита, причем одновременно и совместно с гипсом — феномен, не описанный в литературе. Кальцит дает обычные для пещер, небольшие формы выделения — сталактиты, мелкие геликтиты, корки на стенах и гипсовых колоннах, но зато имеет совершенно особую окраску: от желто-оранжевой и ярко-багряной до почти черной. Судя по данным анализов и спектрам люминесценции, она вызвана не железом, часто окрашивающим пещерный кальцит в желто-бурные и буро-красные тона, а какими-то органическими веществами, присутствующими в малых количествах.

Даже из очень короткого описания минерализации пещер Юго-Восточной Туркмении видно, насколько она богата и разнообразна. Изучать механизмы и факторы кристаллизации минералов (знание которых необходимо для понимания генезиса минералов на рудных месторождениях) в карстовых пещерах сравнительно просто. Пещеры хребта Кугитангтау и прилегающих к нему районов в этом отношении представляют собой объекты совершенно исключительные. Поэтому они нуждаются в самом пристальном внимании исследователей и в самой строгой охране. Эта ценнейшая природная лаборатория процессов современного минералообразования способна дать ответы на многие актуальные вопросы, стоящие перед современной генетической минералогией.

У истоков религии

В. Р. Кабо



Владимир Рафаилович Кабо, доктор исторических наук, старший научный сотрудник Института этнографии им. Н. Н. Миклухо-Маклая АН СССР. Занимается проблемами истории первобытной культуры. Автор монографий: Происхождение и ранняя история аборигенов Австралии. М., 1969; Тасманийцы и тасманийская проблема. М., 1975. За эти работы Президиум АН СССР присудил В. Р. Кабо премию им. Н. Н. Миклухо-Маклая за 1978 г. В «Природе» опубликовал статьи: Природа и первобытное общество: проблемы социальной адаптации (1979, № 4); Природа и первобытное сознание (1981, № 8).

СИМВОЛИКА ПЕРВОБЫТНОГО ОБРЯДА И МИФА

Сохранилась серия фотографий, сделанных в последней четверти прошлого века где-то в юго-восточной Австралии. На снимках — различные эпизоды обряда бора — посвящения мальчиков-аборигенов в группу взрослых мужчин-охотников и знатоков мифологии. На одних фотографиях посвященным показывают прочерченные на земле концентрические четырехугольники, окружности и волнистые линии, на других — проводят над этими же рисунками с закрытыми лицами. На некоторых снимках — символическое закалывание копьями животных, изображенных на поверхности земли среди волнистых линий или лабиринтов. На одной фотографии человек взбирается на дерево, от которого по земле тянутся те же волнистые линии и концентрические четырехугольники. Что все это означает? Только ли религиозный это обряд, или в нем заложено какое-то более широкое содержание? И не напоминает ли это все какие-то иные страницы из истории человечества?

Попытаемся ответить на эти вопросы. Концентрические четырехугольники и длинные волнистые линии, как выяснили исследователи, изображают путь великих героев мифологии в иной мир, в мир мертвых.

Лабиринт — древнейший символ этого мира, его отвлеченная схема. Дерево, стоящее на священной земле бора, — это мировое дерево, ось мироздания, символизирующая его структуру. В основе этой структуры — путь великих героев, связывающий миры земной и небесной (или подземной), куда уходят и откуда возвращаются к новой жизни люди и животные. Дерево, уходящее корнями в землю, а кроной обращенное к небу, — наглядное воплощение этой идеи.

На протяжении тысячелетий в самых различных культурах символика лабиринта имела отношение к смерти и возрождению. Знаменитый лабиринт на острове Крит был частично подземным дворцом, в котором якобы обитал получеловек-полубык Минотавр. Изображение быка стояло и над главным входом в лабиринт. Это был замкнутый в себе мир, как бы прообраз подземного царства мертвых. Бык был верховным божеством и хранителем этого мира. Идея критского лабиринта восходит к очень древнему представлению, к основам европейской культуры. На стенах позднелеолитических пещер Европы встречаются изображения животных, опутанных сложными лабиринтообразными переплетениями линий. А обряды посвящения, или инициации, — это такие обряды, где посвящаемые символически умирают

и возрождаются к новой жизни обновленными существами. То же представление лежит и в основе продуцирующих обрядов, присущих всем первобытным культурам: здесь к новой жизни возрождаются убитые на охоте животные. Вот почему обряды посвящения и продуцирующие обряды нередко слиты воедино. Ведь те и другие основаны на одной и той же системе идей.

За изобразительной символикой первобытного обряда порою скрывается целый мир отвлеченных понятий, выражающих представления людей о мирозда-



Изображение иницируемых и их странствий в ином мире в одной из австралийских пещер.

нии, об обществе. Концентрические окружности, изображенные на земле людьми одного из австралийских племен, символизировали собою все племя и его миропонимание. «Внутренний круг был самим племенем. Внешние концентрические круги изображали жизненный цикл его членов, от первой инициации в юности до полного посвящения в зрелости. Их охватывал круг старейших, высшего совета племени, средоточие всей его мудрости... Затем шли другие круги, связующие племя в единое целое, окружающие его жизнью, продолжающейся на земле и во вселенной. Один из наружных кругов был солнцем; последний круг, охватывающий собою все, был самым небом и всей вселенной»¹.

ПЕРВОБЫТНАЯ РЕЛИГИЯ И ЕЕ ОСОБЕННОСТИ

Религиозные верования здесь тесно переплетены с мировоззрением в целом, с преднаучными представлениями, с ис-

кусством. Через обрядность, в которую вовлечено все общество, они проникают во все сферы общественной жизни. Такое взаимопереплетение форм общественного сознания, их нерасчлененность, их органическую связь с жизнью общества во всех ее проявлениях можно назвать первобытным идеологическим синкретизмом. Явление это — не умозрительная конструкция, о нем свидетельствует вся первобытная культура. Оно сохраняется в известной мере и на более поздних этапах общественного и культурного развития, когда уже идет все более интенсивный процесс расчленения, кристаллизации отдельных форм общественного сознания. У отсталых в недавнем прошлом народов захарь-колдун нередко был разносторонним специалистом — врачом и знатоком целебных трав, предсказателем погоды и прорицателем, кузнецом и рудознатцем. Сухой можжевельный сук, который обладает способностью предсказывать погоду и употребляется в качестве примитивного барометра, в некоторых русских деревнях еще недавно называли «колдуном». И теперь еще у отдельных племен жрец является не только служителем культа, но и хранителем положительных знаний, подобно кельтским друидам, которые, согласно Цезарю, были не только жрецами и судьями галлов, но и ученым сословием.

Многообразные грани духовной жизни человечества первоначально были единым монолитом, который заключал в себе различные формы общественного сознания, позднее обретшие самостоятельное бытие, в том числе и религию. В эпоху первобытности границы этих форм едва начали определяться. Поэтому споры о приоритете тех или иных форм общественного сознания в его эволюции являются в значительной степени беспредметными. Это не исключает, разумеется, того, что все эти формы общественного сознания имели самостоятельные гносеологические и социально-исторические корни. Речь идет лишь о самом характере их становления.

Весьма проблематичен и вопрос о том, какие именно формы первобытной религии могли бы претендовать на исторический приоритет. Они тоже «постоянно сплетаются, контаминируются между собой, порождая сложные и промежуточные формы»². Это не означает, однако, что

¹ Idriess I. L. The Vanished People. Sydney, 1955, p. 67—68.

² Токарев С. А. Проблемы общественного сознания доклассовой эпохи.— В кн.: Охотники, собиратели, рыболовы. М., 1972, с. 264—265.



Аборигены перед обрядом, посвященном событиям мифического прошлого (Австралия).

мы не можем гипотетически, но с известным основанием вычленил некий религиозный комплекс как наиболее архаический и фундаментальный и далее попытаться очертить его основные компоненты.

Уже в эпоху первобытности религия предстает перед нами как вера в реальное бытие сверхъестественных существ и сил, в связь человека с ними и в зависимость его от них, в существование сверхъестественных связей между явлениями, в сверхъестественные свойства материальных и нематериальных предметов и явлений.

Подчеркнем еще раз, что одна из особенностей первобытной религии как исторически определенного этапа в развитии религии заключалась в ее теснейшем взаимодействии с другими сферами общественного сознания. Однако уже материалы по археологии палеолита указывают на первые признаки кристаллизации в синкретическом первобытном сознании собственно религиозных верований. Если древнейшие из этих материалов еще не могут быть признаны в этом отношении бесспорными, то в мустьерскую эпоху появляется все больше фактов, свидетельствующих о становлении религии как самостоятельной сферы общественного сознания.

Эволюция культуры, подобно эволюции в природе, — при всей условности этой

аналогии, ибо законы развития природы и общества различны — в известной мере состоит в дифференциации, расчленении первоначально интегрированных форм, или, по выражению К. А. Тимирязева, «синтетических типов», совмещающих в себе свойства и функции, обособившиеся в ходе эволюции.

Второй вывод, вытекающий из сказанного, заключается в том, что формы первобытного общественного сознания представляют во всей их первобытной специфике, на которую еще не распространяются или распространяются лишь частично понятия и представления, характеризующие те же формы в их развитом виде, на иной стадии социально-исторического развития. Таково требование последовательного историзма. В самом деле, было бы неисторично переносить на первобытную религию или первобытную этику понятия и концепции, характеризующие их в условиях классового общества, хотя это и не значит, что не существует таких «сквозных», ключевых признаков этих форм общественного сознания, которые проходят через все эпохи.

ПЕРВОБЫТНАЯ МИФОЛОГИЯ

Наиболее законченным выражением первобытного идеологического синкретизма является мифология. Особое место и значение первобытной мифологии состоит в том, что она отражает общественное сознание в его целостности. Поэтому в известном смысле ее можно рассматривать как самостоятельную его сферу — другие его формы так или иначе находят в ней свое воплощение. Ее не следует отождествлять с религией, хотя с последней она связана теснее всего. Мифология вбирает представления людей об окружающем мире и вселенной, о сущности и происхождении мира и человеческого общества, и в этих представлениях положительные знания причудливо смешаны с верой в сверхъестественное. Мифологические системы предстают порою сокровищницами первобытных знаний, а эти знания составляют фундамент формирующегося научного миропонимания. В мифологии бесписьменного общества зафиксированы необходимые для существования общества сведения. Так, в мифах австралийского племени вик-мункан, между прочим, говорится о том, где можно найти лучшие источники пищи и сырья для орудий, где расположены лучшие места для стоянок и каковы расстоя-

ния между ними, описываются способы охоты и собирательства, изготовления оружия, утвари, лодок и т. п.³ Не переставая быть мифами, они сохраняют в общественном сознании, в памяти людей все эти ценные сведения и факты.

В мифологии сконцентрированы и религиозные представления первобытного общества; она отражает его этические ценности и социальные нормы; она тесно связана с первобытным искусством и сама является одной из древнейших форм словесного творчества⁴. Будучи отражением первобытного мировоззрения, она стоит у истоков философии. Последняя как самостоятельная область знания в первобытном обществе еще не сложилась, но как система теоретического мышления она уже зарождается, и самые первые опыты человеческого ума в сфере теоретического познания и осмысления мира мы находим в мифологии. Проницательные наблюдатели, сталкиваясь с представителями культурно-отсталых, с их точки зрения, обществ, нередко поражались глубине их представлений о мире, о жизни и смерти, о добре и зле. «Разговоры, которые я вел у себя в больнице со стариками-неграми о кардинальных вопросах жизни и смерти, глубоко меня потрясли», — пишет А. Швейцер. — «Когда начинаешь говорить с обитателями девственного леса о вопросах, затрагивающих наше отношение к самим себе, к людям, к миру, к вечности, различие между белыми и цветными, между образованными и необразованными начисто исчезает»⁵.

Можно возразить, что негры Габона, о которых говорит Швейцер, уже не первобытные люди. Но сравнительно сложная система традиционных представлений, в которой угадываются проблески будущей философии и космологии, зафиксирована и у аборигенов Австралии. Мифология — устная энциклопедия первобытного общества, его мировоззрения и духовных ценностей.

Миф — нередко модель поведения для первобытного общества. Но в то же время и общество моделирует поведение героев мифологии. Миф и общество как бы отражают друг друга. «Если собрать

³ Макконнелл У. Мифы мункан. М., 1981, с. 18.

⁴ Мелетинский Е. М. Поэтика мифа. М., 1976; Он же. Первобытные истоки словесного искусства. — В кн.: Ранние формы искусства. М., 1972.

⁵ Швейцер А. Письма из Ламбарене. Л., 1978, с. 96.

мифы аранда воедино, обнаружится полная и детальная картина повседневных занятий, все еще характерных для аборигенов центральной Австралии. Эти занятия, весь образ жизни аборигенов принесены с собою тотемическими предками, и аборигены слепо следуют традиции, не желая ни изменять, ни улучшать наследие прошлого⁶. И все же развитие продолжается, но оно, как правило, происходит так медленно, что имеет характер естественноисторического процесса. Первобытное общество воспроизводит некий стереотип в масштабе поколения, воспринимающего сложившиеся культурные ценности. В этой приверженности традиции залог устойчивости общества и культуры, но возникает и новое, и в масштабе нескольких поколений мы обнаруживаем социальные и культурные сдвиги — залог социального и культурного прогресса.

Человек первобытного общества не только стремится подражать героям мифологии, он смотрит на себя самого как на живое воплощение мифического предка. Миф, рассказывающий о предке, для аборигена Австралии — рассказ о нем самом, о его собственных деяниях в мифическое Время сновидений, когда герои мифов создавали мир. По его убеждению, он сам принимал в этом участие. И когда люди прекратят живое общение через воспроизведение мифа в обряде, когда они перестанут воспроизводить прошлое, мир, по их мнению, придет к концу. Старик из племени унамбал рассказывает этнографу о своем мифическом предке — источнике жизни Вонджина — такими словами: «Когда я проходил здесь во Время сновидений и оставил свой след на скале...» Он должен теперь приходиться к этой скале перед наступлением сезона дождей, чтобы окрашивать изображение Вонджина свежими красками, и он говорит: «Я окрашиваю себя заново, чтобы снова пошел дождь»⁷.

АРХЕОЛОГИЯ О СТАНОВЛЕНИИ РЕЛИГИИ

О первых элементарных проявлениях религии свидетельствует уже археология палеолита. Так, у порога зимнего жилища в гроте Лазаре на юге Франции — древность его достигает 200 тыс. лет —

обнаружен череп волка, из которого был извлечен мозг через отверстие, проделанное в теменной кости. Люди положили его здесь, покидая пещеру с наступлением весны, для охраны жилища до возвращения его обитателей в начале следующей зимы⁸. Съев его мозг, они, вероятно, считали, что и сами приобрелись к его силе. Раскопки в гроте Лазаре говорят не только о сравнительно высоком уровне общественной жизни, но и о наличии религиозно-магических представлений. На существование в мустьерскую эпоху культа другого дикого животного — пещерного медведя, возможно, указывают преднамеренные захоронения черепов и других костей этого зверя в пещерах Регурду, Драхенлох, Петерсхелле, Зальцфен и иных местах⁹. Медвежьи черепки и кости тщательно сложены между стенами пещер и специальными выкладками из камней. Иногда черепки помещены в особые каменные ящики и накрыты каменными плитами.

Если эти и подобные факты свидетельствуют об отражении в первобытном сознании тесной связи между человеческим и природным мирами, о другом аспекте формирующейся религии говорят следы ритуальной антропофагии и обряда погребения в палеолите.

Многие исследователи убеждены в существовании ритуального каннибализма и культа человеческого черепов на очень ранних стадиях развития¹⁰. Недалеко от Рима, на горе Монте-Чирчео, в гроте мустьерского времени был захоронен череп неандертальца, окруженный камнями, открытый подобно чаше: затылочная кость была снята почти полностью, возможно, для извлечения мозга или изготовления фетиша. Вокруг громоздились кости животных — остатки погребального пиршества. Существует предположение, что все это — следы ритуального убийства, совершенного 55 тыс. лет назад¹¹. Но если это и не так, находка все же свидетельствует о некоем религиозно-обрядовом комплексе. В мезолитической пещере Офнет, в Баварии, погребены 33 че-

⁸ La préhistoire française. P., 1976, t. 1, p. 636—639.

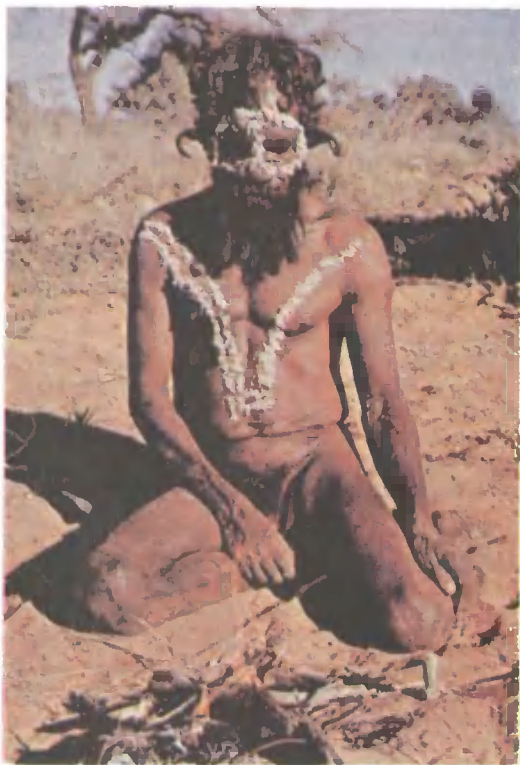
⁹ Bourdier F. Préhistoire de France. P., 1967, p. 222—223.

¹⁰ Rosinski F. M. Belief and cult in human prehistory. — In: The Realm of the Extra-Human. The Hague, 1976, p. 431.

¹¹ Blank A. C. Some evidence for the ideology of early man. — In: Social Life of Early Man. N. Y., 1961, p. 119; Schott L. — Ethnogr.-Archeol. Z., 1979, B. 20, S. 1.

⁶ Strehlow T. G. H. Aranda Traditions. Melbourne, 1947, p. 34—35.

⁷ Lommel D. Die Unambal. Ein Stamm in Nordwest-Australien. Hamburg, 1952, S. 13.



Абориген Австралии, изображающий героя мифического Времени сновидений.

репа, окрашенные охрой; из них двадцать черепов детских. Все черепа ориентированы лицами на запад¹². Таким образом, культ человеческого черепа как обращение человеческой мысли к таинственным свойствам самого человека существовал в Европе уже в среднем палеолите и сохранялся затем на протяжении тысячелетий, а обычаи, при которых отделяются и сохраняются черепа предков, окруженные почитанием, или черепа убитых иноплеменников, были известны еще недавно в Океании, Индонезии, Южной Америке.

Известно, что именно первобытным обществам свойственно наибольшее многообразие погребальных обрядов и форм погребения. Нередко несколько различных форм погребения наблюдается внутри одного племени или даже одной общины. В них отражены общественное положение, пол и возраст умершего, причина и обстоятельства смерти, отражена в них и сама

социальная структура. Эта тенденция заметна уже в характере мустьерских погребений. В некоторых мустьерских погребениях прослеживается намеренно совместное положение погребенных, а в Шанидаре обнаружено захоронение небольшой, возможно, семейной, группы. Наконец, о формировании очень раннего, связанного с погребением обрядово-идеологического комплекса, в котором можно усматривать истоки погребального культа и представлений о жизни после смерти, свидетельствуют такие явления, как преднамеренная ориентация неандертальских захоронений по линии запад—восток, как сочетание скелета неандертальца и челюстей кабана в пещере Схул и скелета неандертальца и рогов горного козла в Тешик-Таше, как обычай оставлять с погребенными те или иные предметы. Так, в Ле-Мустье голова юноши-неандертальца покоилась на осколках кремня, возможно заготовках орудий, а у его руки лежало каменное рубило. Некоторые авторы, не отрицая фактов преднамеренных захоронений в мустьерскую эпоху, полагают, что они объясняются действием элементарных биологических инстинктов, санитарными соображениями и т. п. Подобные объяснения не кажутся убедительными. Отмеченные факторы едва ли могут заставить выдалбливать скалу (в пещере Киик-Коба), класть тело на бок, подгибать его руки и ноги, окружать его рогами диких животных, осыпать его цветами (в пещере Шанидар), оставлять в могиле каменные орудия, однообразно ориентировать захоронения.

Так на заре человеческой истории зарождающееся общественное сознание обратилось сначала к силам природным, находящимся вне человека, а затем к внутреннему миру самого человека как общественного существа, тесно увязывая мир внутренний с миром внешним.

Мустьерские погребения свидетельствуют и еще об одном важном сдвиге в общественном сознании — об осознании ценности человеческого существа, прежде всего, конечно, представителя своей общности, об эмоциональной привязанности к нему.

МАГИЯ И ПРОДУЦИРУЮЩИЕ ОБРЯДЫ

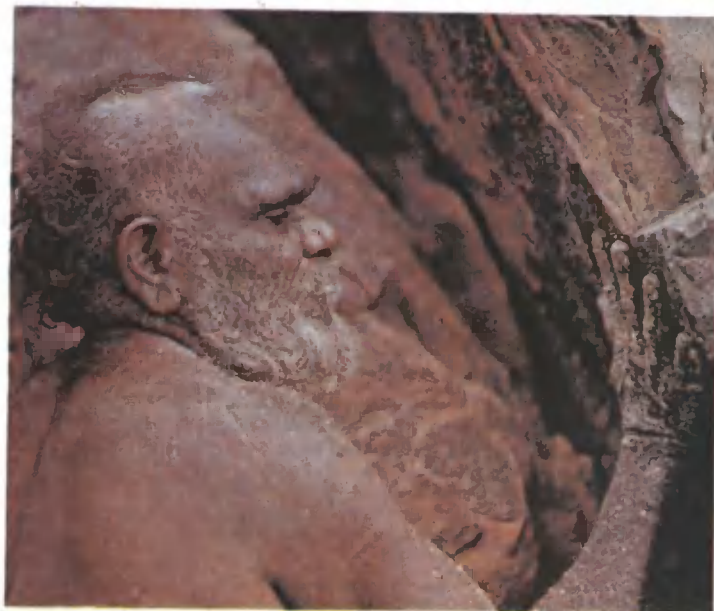
Существует мнение, согласно которому первобытное сознание обращается к религии только тогда, когда происходят или угрожают события, нарушающие

¹² Mollison T.— *Anthropol. Anz.*, 1936, B. 13, S. 79.

Столбы, посвященные памяти умерших [о-в Мелвилл, северная Австралия]. Пластика каждого памятника и символический рисунок на нем говорят о тотеме умершего, его смерти и возрождении.

Обновление краски на изображении мифического предка [Австралия].

Голова быка со сложным лабиринтообразным переплетением линий, изображающих путь животного в мире мертвых. Возможно, рисунок был связан с обрядом возрождения животных. Палеолитическая пещера Альтамира (северная Испания).



привычную последовательность явлений, опасные, стихийные, разрушительные, когда человек не уверен в успехе своих действий, когда исход последних не полностью зависит от его воли¹³. Факты показывают, однако, что люди прибегают к религиозно-магической практике и для того, чтобы утвердить нормальный, обычный порядок вещей. Таковы широко распространенные в первобытном обществе продуцирующие обряды, направленные на сохранение и воспроизводство мира живой природы и самого человеческого рода, причем в мире природы наибольший интерес для первобытного человека представляют объекты охоты и собирательства. В известном смысле люди рассматривают религиозно-магическую деятельность как продолжение хозяйственной деятельности и в то же время как ее предпосылку. Прибегая к продуцирующим обрядам, они стремятся к сохранению естественных ресурсов на их обычном уровне, к поддержанию нормального функционирования сил природы. Многие продуцирующие обряды ориентированы на восстановление нарушенного охотничьей деятельностью равновесия в природе, на возрождение убитых животных. Так, у эскимосов на побережье Берингова моря религиозно-обрядовая деятельность направлена главным образом на поддержание на должном уровне поголовья диких животных — объектов охоты. Самые важные обряды имеют целью вернуть убитых на охоте тюленей обратно в море и этим обеспечить их возвращение к новой жизни¹⁴.

Во всем этом выразилась одна из характерных особенностей первобытного сознания. Объективно первобытный человек бессилен перед стихийными силами природы и общества, его попытки воздействовать на них религиозно-магически имеют призрачный, иллюзорный характер. В конечном счете, из этого бессилия и рождается религиозная практика первобытного человека. Субъективно, однако, первобытный человек верит в свои способности с помощью магии противостоять естественной и социальной среде. Магия в целом и продуцирующие обряды как разновидность магических обрядов играют в религиозной практике первобытного общества важную роль, и объяснить их мож-

но только верой людей в то, что они могут эффективно воздействовать на природу и других людей. В то же время магическая практика и сама способствовала тому, что люди чувствовали себя увереннее, ощущали себя в большей безопасности. Магические акты, непосредственно направленные на природную и социальную среду и вместе с тем оказывающие воздействие на внутренний, психический мир человека, в силу своей элементарной природы относятся к древнейшим явлениям религиозной деятельности.

Характер и направленность продуцирующих обрядов, как и первобытной магической практики в целом, дают основание полагать, что здесь мы имеем дело с одним из наиболее архаичных явлений культуры, дожившим вплоть до этнографической современности. Поэтому-то так ярко сказывается в них первобытно-синкретическое начало. Здесь и магическое воздействие на природу, и искусство (первобытная драма, музыка, пляска, рисование на телах участников и живопись на стенах пещер), и элементы первобытной философии (раскрытие в обряде определенного систематизированного миропонимания), и педагогика (обряды эти нередко сочетаются с обрядами посвящения молодежи в мир взрослых членов коллектива), и первобытная историография (воспроизведение в наглядной форме деяний предков — мифических и действительных), и экономический аспект. Первобытное общество смотрит на продуцирующие обряды как на мероприятие величайшего значения — ведь от них, как полагают люди, зависит само их существование.

Функция продуцирующих обрядов является в действительности иллюзорно-экономической, так как она преследует достижение экономических целей иллюзорными средствами. Но связь религии с экономикой может быть и более очевидной. Религиозная и хозяйственная деятельность подчиняется каждой собственному ритму, но временами эти ритмы сливаются; на примере эскимосов это показал М. Мосс, а на примере австралийцев мурингин — Л. Уорнер¹⁵. В обоих случаях религиозные обряды при-

¹³ См., напр.: Токарев С. А. Цит. соч., с. 262—263; Malinowski B. *Magic, Science and Religion*. Boston, 1948, p. 1, 12, 15.

¹⁴ Waal Malefijt A. de. *Religion and Culture*. N. Y., 1968, p. 301—302.

¹⁵ Mauss M. *Essai sur les variations saisonnières des sociétés Eskimos. Étude de morphologie sociale*. — In: *L'Année Sociologique*. P., 1906, t. 9; Warner W. L. *A Black Civilization*. N. Y., 1937.

урочены к определенным периодам хозяйственного года. Так, в период изобилия пищи общины мурингин собираются в полном составе, к ним присоединяются другие общины и начинаются совместные обряды, а наряду с ними обмен предметами, имеющими большую экономическую и религиозно-обрядовую ценность. Экономическое и религиозное тесно переплетаются. Нередко это ведет к недооценке исследователями экономического аспекта подобных явлений, где экономическое облечено в религиозную форму, но имеет самостоятельное значение. Именно в сфере церемониального или обрядового обмена выпукло выступает экономическая роль религиозных обрядов у охотников и собирателей. Интенсивный обмен материальными, а также духовными ценностями (мифами, песнями, плясками) сопровождал религиозно-обрядовую деятельность многих австралийских племен¹⁶. То же характерно для охотников других континентов.

ТОТЕМЫ, КУЛЬТУРНЫЕ ГЕРОИ, ДЕМИУРГИ

Наряду с продуцирующей и посвященной обрядностью, очень важное место в жизни первобытного общества занимает тотемизм. Он объединяет в себе и религиозно-мифологическое осмысление кровнородственных и иных социальных связей, и ритуально-идеологическое утверждение единства общества и природы, и систематизацию явлений окружающего мира и самого общества. Тотемизм — древнейшая форма осознания социальных отношений, один из важнейших и, видимо, очень рано возникших институтов, организующих общественное и индивидуальное поведение в природной и социальной среде. Понимание тотемизма как явления исключительно религиозного ошибочно; оно является в такой же мере явлением социальным. В то же время он тесно смыкается с другими сферами общественного сознания и является еще одним свидетельством первобытного синкретизма.

Неверно и распространенное объяснение тотемизма как явления, имеющего лишь утилитарную направленность, способствующего главным образом сохранению экономически ценных видов животных и растений. Многие тотемы экономи-

чески бесполезны, не представляют интереса как объекты охоты и собирательства, а некоторые вовсе не являются животными или растениями. Например, у аборигенов северной Австралии родовыми тотемами могут быть ветры, звезды, прилив, гром и т. д. Объяснение таких тотемов как символов социальной идентификации, средств классификации социальных общностей напрашивается само собой. «Тотемизм предполагает логическую эквивалентность между миром естественных видов и миром социальных групп», — пишет К. Леви-Стросс. — Тотем в тотемической системе предстает не как естественный феномен, а как орудие мысли¹⁷. Но и такое объяснение тотемизма представляется односторонним. Распределение тотемов между различными социальными группами не является лишь попыткой первобытного ума расчленить и логически упорядочить окружающий мир. Тотемизм как явление значительно сложнее и многограннее, чем только способ классификации предметов и явлений природы и соответствующих элементов социальной структуры, ибо он уходит корнями в древние синкретические пласты первобытного общественного сознания. По словам С. А. Токарева, «ключ к решению проблемы тотемизма... не в объекте, а в субъекте тотемических отношений, не в тотеме, а в тотемической родовой группе»¹⁸. Но субъектом тотемических отношений может быть не только род — известные такие формы тотемизма, как фратриальный, секционный, половой, даже индивидуальный тотемизм. Первоначально субъектом этих отношений была, вероятно, родовая община. Тотемы далеко не всегда призваны отличать один род от другого — роды одной половины племени могут иметь общий тотем. Наконец, существует локальный тотемизм, когда принадлежность к тотемической группе определяется по местности, а не по родству — вероятно, одна из древнейших форм тотемизма, идентифицирующая первобытную социальную общность с ее территорией, а явление это имеет глубочайшие исторические корни. Переплетение тотемической идеологии и территориальности, многосторонней связи социальных общностей с территориями их расселения убедительно подтверждается многочисленными фактами.

¹⁶ Thomson D. F. *Economic Structure and the Ceremonial Exchange Cycle in Arnhem Land*. Melbourne, 1949.

¹⁷ Levi-Strauss C. *The Savage Mind*. L., 1966, p. 104.

¹⁸ Токарев С. А. *Ранние формы религии и их развитие*. М., 1964, с. 66.

Отметим еще одно характерное явление первобытного сознания, вероятно, не менее архаичное, чем перечисленные. Речь идет о культурных героях, демиургах и других могущественных мифологических существах, носителях творческих, созидательных функций в системе первобытных верований. Образы эти имеют в культурах наиболее отсталых охотников и собирателей широчайшее распространение — мы встречаем их у аборигенов Австралии, семангов, пигмеев Центральной Африки, бушменов и других народов¹⁹ — и при этом обладают рядом универсальных черт. Это свидетельствует о глубокой древности явления. Мыслятся эти герои и демиурги чаще всего как люди, хотя при этом иногда выглядят и ведут себя как зооморфные существа. На ранних стадиях развития, когда человек в своем сознании еще сливался с природой, им была присуща двойственная антропозооморфная сущность. Возможности культурных героев не безграничны; они создают мир из аморфной космической субстанции, которая уже существовала до их появления. Они предстают скорее ремесленниками, формирующими мир из предсуществующей материи, а не творцами в подлинном смысле слова, созидающими нечто из небытия, подобно богам развитых религий.

Здесь мы являемся свидетелями становления образа единого бога-творца во всей сложности и противоречивости этого процесса. Демиурги первобытных религий — исторически наиболее ранняя форма в развитии этой идеи.

Почему же образы культурных героев и демиургов занимают столь значительное место в архаических религиозно-мифологических системах? Очевидно, это объясняется тем, что в них олицетворено созидательное начало пробуждающейся человеческой личности и коллектива, обобщена трудовая деятельность людей эпохи, когда закладывались основы культуры. Чтобы в первобытном общественном сознании смогли формироваться эти образы, люди сами должны были ощутить свои творческие возможности. Почвой, на которой возникли и складывались образы демиургов, была сама созидательная деятельность первобытного человека; даже имена многих из этих существ образованы от слов «делать», «создавать», «творить».

Известно, что образы творцов-демиургов первобытных религий дали повод для конструирования теории первобытного монотеизма, которая состоит в попытке доказать, что мифологические образы небожителей, демиургов и культурных героев, фигурирующие в религиях отсталых народов, — искаженные остатки первоначального представления о едином, всемогущем боге-творце. В действительности они не остатки такого представления, а, напротив, далекие его предтечи. Они появились в общественном сознании не в результате откровения, как полагают сторонники теории прамонотеизма, а в итоге длительного социально- и культурно-исторического развития.

Таким представляется нам наиболее древний религиозно-обрядовый комплекс.

Природное окружение оказывает глубокое воздействие на первобытное сознание. Естественные условия выступают для общества не прямо и непосредственно, их восприятие и воздействие опосредованы человеческой активностью, обусловленной развитием производительных сил. В мировоззрении первобытного общества связь человека с природой занимает важнейшее место. Поэтому и его религиозно-обрядовая система в значительной мере направлена на поддержание оптимальных отношений с природной средой. Эти отношения мыслятся им не как преодоление природы, господство над ней, а скорее как сохранение установленного раз и навсегда порядка вещей. Нерасторжимая связь социальной общности с землей, верований и обрядов с конкретной местностью — одна из наиболее характерных черт первобытной религии. Здесь человек ощущает свою связь с землей и как связь со своим священной прошлым, с предками, с героями мифологии. Без ясного понимания этого явления невозможно до конца понять и современное движение аборигенов Австралии за восстановление своего неотъемлемого права на традиционные, племенные земли. Ведь это движение нередко выражается в требовании вернуть аборигенам их древние тотемические святыни, которые воплощают для них их самобытную культуру во всей ее полноте. В такой, казалось бы, неожиданной для современного общества форме обнаруживается подъем национального самосознания среди тех групп аборигенов Австралии, которым удалось сохранить элементы своей традиционной культуры.

¹⁹ Элькин А. Коренное население Австралии. М., 1952, с. 195—198.

Сель-Унгур — древнейшая пещерная стоянка Ферганской долины

У. И. Исламов,
доктор исторических наук

Институт археологии АН УзССР
Самарканд

Археологические памятники, раскрывающие древнюю историю Ферганской долины, немногочисленны. В литературе описано несколько местонахождений, которые датированы эпохой мустье (100—35 тыс. лет до н. э.). Это Кайрак-Кум, Капчигай, Чонгара, Сарикурган, Соурбулак, Актам и др. Архаичный облик каменных орудий, найденных на этих разбросанных стоянках, свидетельствует о том, что первобытные люди заселяли Ферганскую долину уже в плейстоцене, задолго до окончания ледникового периода. Однако все эти находки относятся к так называемому подъёмному материалу, который собран на поверхности земли и не приурочен к конкретному стратиграфическому слою. В не потревоженных же культурных слоях каменные орудия мустьерской и более ранней, ашельской, эпохи до сих пор на территории Узбекистана не встречались. Открытие, сделанное в Сель-Унгуре, проливает новый свет на проблему первоначального заселения человеком Средней Азии.

Пещера Сель-Унгур находится примерно в 100 км к юго-западу от Ферганы, на западной окраине поселка Хайдаркан. Относительная высота ее расположения над уровнем реки Обишурсая — 30—40 м. Эта огромная, глубиной 120 м пещера состоит из двух длинных коридоров; в большом коридоре шириной 34 м на расстоянии 65 м от входа имеется ответвление — малый коридор шириной 12 м и длиной 56 м.

Пещеру Сель-Унгур трижды (в 1955, 1960 и 1964 гг.) посетил А. П. Окладников. Заложив шурф у правого борта пещеры, он впервые обнаружил здесь несколько каменных отще-



Пещерная стоянка Сель-Унгур. Вход в пещеру, обращенный к востоку, имеет высоту около 25 м и ширину 34 м.

пов (заготовок), относящихся к заключительной поре каменного века — эпохе верхнего палеолита. Детальное исследование пещеры было начато в 1980 г. палеолитическим отрядом Ферганской комплексной экспедиции Института археологии АН УзССР под руководством автора этого сообщения.

Сделав несколько раскопов в пещере, мы собрали богатейший каменный и фаунистический материал: около 500 каменных изделий и более 2000 фрагментов костей животных. В толще пещерных напластований нам удалось выявить четкую стратиграфию; пять культурных слоев мощностью от 20 до 40 см разделены стерильными прослойками (от 30 до 100 см), не содержащими никаких археологических остатков. Это означает, что первобытные люди пять раз поселялись в этой пещере и почему-то периодически надолго оставляли свое убежище.

Найденные нами каменные орудия — ручные рубила, скребла и другие изделия —

изготовлены на грубо сколотых с ядрищ отщепах; характер их обработки (крупная оббивка, примитивная грубая ретушь) свидетельствует о ранней форме этих орудий труда, датируемых нами ашельской эпохой.

В совместном залегании с этими древнейшими каменными орудиями обнаружены остатки фауны, тоже характерной для этой далекой эпохи. По определению палеонтолога А. Б. Батырова, найденные кости принадлежат пещерному медведю, снежному барсу, носорогу, пещерной гиене, благородному оленю, плейстоценовому ослу, быку тура и другим животным.

Таким образом, впервые на территории Узбекистана открыта многослойная пещерная стоянка, в нижней части отложений которой в не потревоженном состоянии встречены ашельские каменные орудия и кости крупных млекопитающих плейстоцена, служивших объектом охотничьего промысла раннепалеолитического человека.

Научное значение Сель-Унгурса тем более велико, что стратифицированные мустьеро-ашельские стоянки до сих пор были неизвестны не только в Ферганской долине, но и на территории всей Средней Азии.

Новый железорудный регион на западе СССР

Н. А. Корнилов



Николай Александрович Корнилов, доктор геолого-минералогических наук, заведующий сектором Белорусского научно-исследовательского геологоразведочного института Министерства геологии СССР. Специалист по рудным месторождениям, связанным с докембрийским кристаллическим фундаментом. Научный руководитель одного из разделов проблемы «Железорудные формации докембрия Европейской части СССР» Государственного комитета СССР по науке и технике.

В результате специальных тематических исследований и геологоразведочных работ последних лет на западе нашей страны выявлен новый перспективный железорудный регион, включающий территорию четырех республик — Белоруссии, Литвы, Латвии и Эстонии. Площадь этого Белорусско-Прибалтийского региона довольно значительна — 381,7 тыс. км², она соизмерима с площадью наиболее крупных европейских государств и на 20 % больше площади Карелии и Кольского п-ова вместе взятых.

Чтобы оценить значение нового железорудного региона, рассмотрим общие тенденции в развитии железорудной базы страны.

НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ

В обширной литературе по железорудным месторождениям СССР принято писать, что основные запасы железных руд у нас в стране связаны с Криворожским бассейном и Курской магнитной аномалией (КМА). Это, конечно, верно. В настоящее время Криворожский бассейн дает стране примерно половину железных руд; темпы их добычи на КМА быстро возрастают. Но в той же литературе нередко отмечается, что запасы железных

руд этих крупнейших месторождений неисчерпаемы, что они обеспечат развитие нашей черной металлургии на весьма длительный период. Здесь-то и нужны некоторые пояснения.

Обычному читателю (даже геологу) может показаться непонятным, почему при наличии таких, действительно, колоссальных железорудных объектов в настоящее время в разных районах разрабатывается несколько десятков не только крупных, но и средних по масштабам месторождений железа, почему в таких широких масштабах ведутся поиски новых месторождений и новых железорудных бассейнов. Объяснений здесь несколько. Прежде всего промышленности необходимы огромные количества железных руд. Причем годятся не любые природные концентрации железа, а лишь удовлетворяющие таким геолого-экономическим требованиям, как необходимое минимальное содержание железа и запасы руды, географическое положение, глубина залегания рудных тел и т. д.

По содержанию железа руды принято делить на богатые, содержащие более 45—46 % железа, и бедные, но легкообогатимые, в которых обычно содержится 30—35 % железа. Первые используются в металлургии без предварительного обо-

гащения, вторые перед поступлением в плавку обязательно попадают на горнообогатительные комбинаты, где из них получают так называемую товарную руду — концентрат с 65—67 % железа. В зависимости от характера железных руд установлены предельные глубины подсчета их запасов и отработки. Месторождения бедных железных руд типа железистых кварцитов разрабатываются сейчас открытым способом — карьерами, при этом предельная глубина подсчета запасов для них не превышает 600—700 м. Богатые железные руды отрабатываются преимущественно подземным способом — шахтами глубиной до 1500 и даже до 2000 м. Столь значительная глубина отработки богатых руд обусловлена высокой их ценностью, оправдывающей большие эксплуатационные затраты.

Каковы же масштабы добычи железной руды у нас в стране?

В настоящее время из недр ежегодно извлекается около 500 млн т так называемой сырой железной руды, большая часть которой нуждается в обогащении. Осуществить эту грандиозную работу удается лишь, добывая руду в десятках карьеров и шахт на разных месторождениях, и даже такие гиганты, как КМА и Кривой Рог, не могут полностью справиться с этой задачей. Не могут главным образом потому, что в пределах их рудных зон невозможно разместить необходимое количество достаточно крупных и одновременно действующих карьеров и шахт. Учитывая быстрое нарастание горнодобывающих работ в традиционных железорудных районах, где карьеры уже достигли глубины 200—300 м, а шахты — 1 км, целесообразным и своевременным представляется постепенный переход к освоению новых железорудных объектов и регионов, отвечающих современным требованиям к промышленным месторождениям железных руд. К таким регионам, бесспорно, относится и Белорусско-Прибалтийский, изучение которого началось свыше 10 лет назад.

ОСОБЕННОСТИ РУД БЕЛОРУССКО-ПРИБАЛТИЙСКОГО РЕГИОНА

В настоящее время в кристаллическом фундаменте региона выявлено 6 железорудных месторождений. Три из них представлены железистыми кварцитами (Околовское месторождение в Белоруссии, Стайцельское — в Латвии, Йыхвисское — в Эстонии), одно — ильменит-магнетито-

выми рудами (Новоселковское месторождение в Белоруссии) — два — богатыми магнетитовыми рудами (Варенское месторождение в Литве и Гарсенское — в Латвии).

Месторождения железистых кварцитов мало чем отличаются от руд этого типа, выявленных в других районах мира. Здесь и характерная полосчатая текстура, обусловленная чередованием рудных и нерудных прослоев, и наблюдающаяся под микроскопом тонкая полосчатость, и магнетит в качестве главного рудного минерала, и типичный парагенезис нерудных минералов, и сравнительно низкое содержание железа (28—35 %), и характерные габариты рудных залежей, достигающих сотен метров, а иногда и нескольких километров в длину и лишь нескольких десятков метров в глубину.

Околовское и Йыхвисское месторождения залегают под осадочным чехлом на глубине 220—300 м, Стайцельское — на глубине более 680 м. Прогнозные ресурсы железных руд первых двух месторождений составляют около 1 млрд т для каждого. При несомненном сходстве Околовского, Йыхвисского и Стайцельского месторождений их руды характеризуются некоторыми особенностями. Железистые кварциты Околовского месторождения являются амфибол-магнетитовыми, пироксен-магнетитовыми, амфибол-пироксен-магнетитовыми и магнетитовыми. В Стайцельском месторождении преобладают гранат-магнетитовые руды, а в Йыхвиском — гранат-магнетитовые с роговой обманкой и пироксеном. Для железистых кварцитов Стайцельского и Йыхвисского месторождений характерно обычно высокое для руд данного типа содержание окиси марганца (2—6 вес. %), входящей главным образом в состав граната. Наряду с этим железистые кварциты Околовского месторождения, КМА и Кривого Рога содержат лишь десятые доли процента окиси марганца.

На Околовском месторождении мы попытались выявить первичную природу рудовмещающих пород и в результате пришли к выводу, что руды этого месторождения относятся к вулканогенной железисто-кремнистой формации. Особенности минерального состава железистых кварцитов месторождения, а также изотопный состав кислорода, входящего в состав магнетита, свидетельствуют, что железная руда сформировалась за счет железистых морских осадков, богатых кремни-

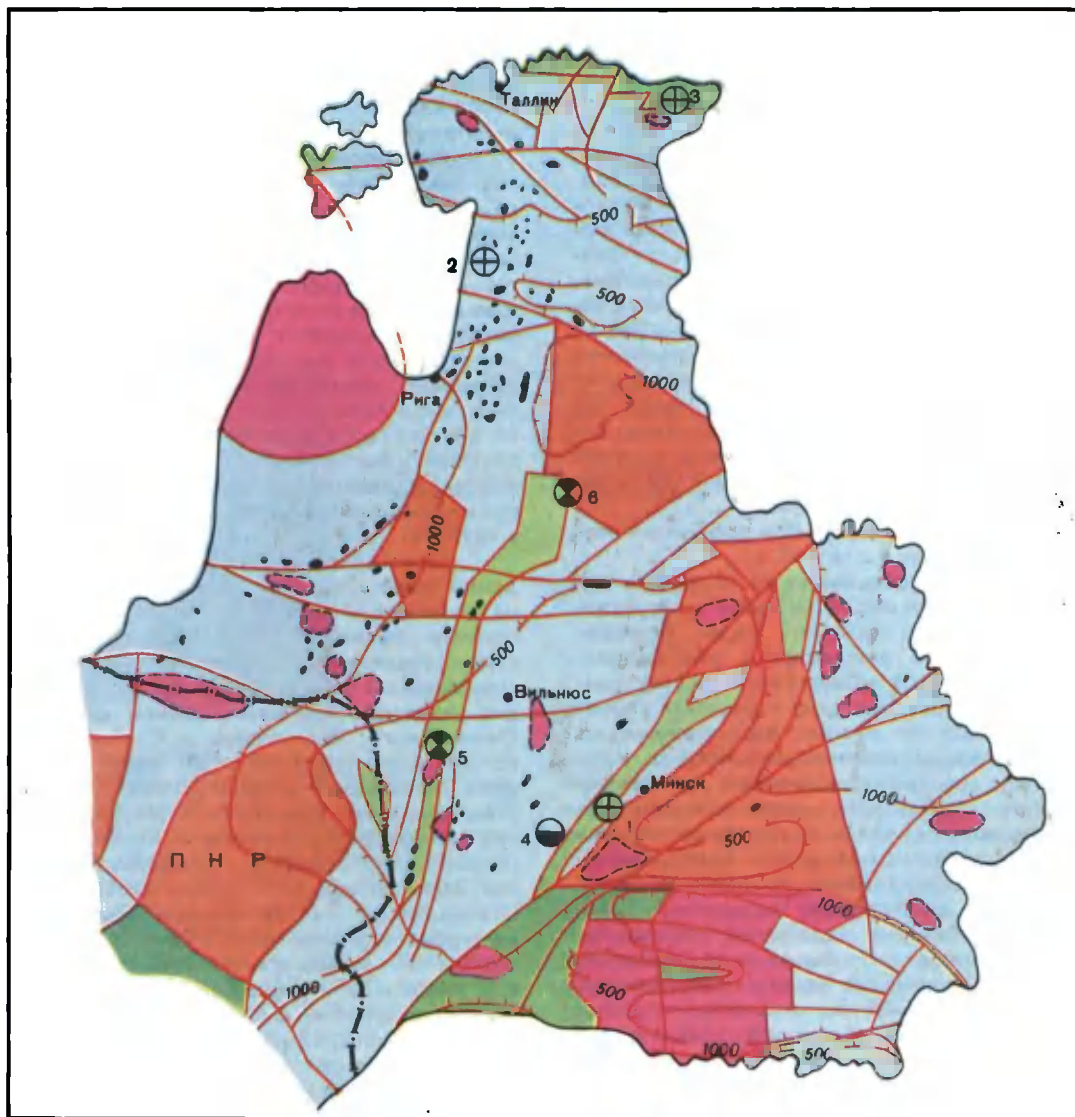


Схема размещения железных руд в докембрийском кристаллическом фундаменте Белорусско-Прибалтийского региона. Масштаб 1:5 000 000.

Месторождения:

-  железистых кварцитов (1 — Околовское, 2 — Стайцельское, 3 — Ямханское)
-  ильменит-магнетитовых руд (4 — Новоселковское)
-  богатых магнетитовых руд (5 — Варенское, 6 — Гарсанское)
-  Наиболее крупные магнитные тела

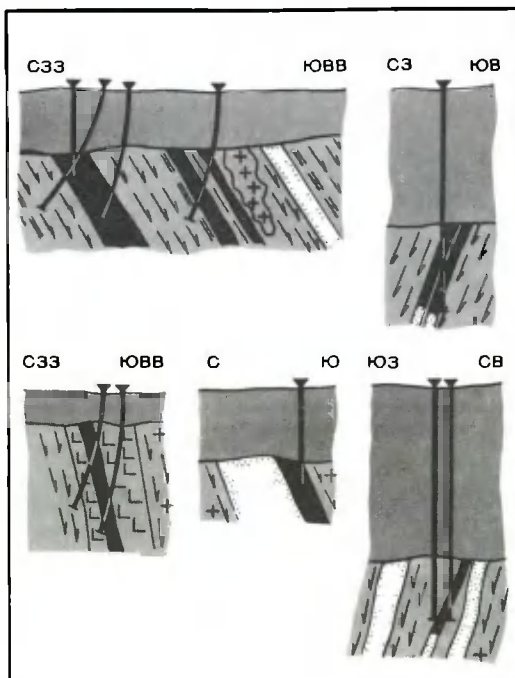
-  Основные разломы
-  Глубина залегания фундамента
-  Нижнепротерозойские породы
-  Верхнеархейские породы
-  Нижнеархейские породы
-  Гранито-гнейсовые массивы
-  Интрузии гранитоидов

стым, карбонатным и глинистым веществом. А основная часть окружающих руду пород — биотитовых гнейсов и амфиболитов — образовалась в результате метаморфизма вулканических пород. Геологические особенности месторождения также не противоречат представлению о вулканогенном источнике железа: в центральной части рудной зоны скважинами вскрыты наиболее мощные и богатые пласты железистых кварцитов, которые «расщепляются» (по-видимому, с удалением от жерла палеовулкана) на множество маломощных, бедных железом пачек.

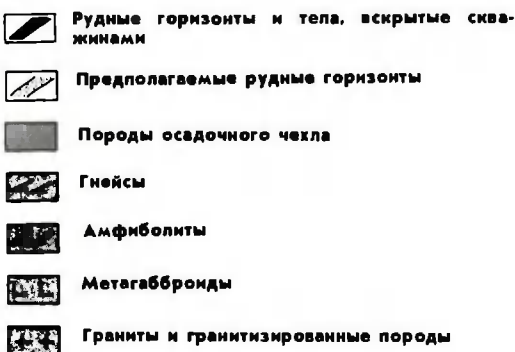
Как теперь установлено, вулканогенные железисто-кремнистые формации, подобные рассмотренной, типичны для отложений архея, особенно для верхней их части, в то время как осадочные железисто-кремнисто-сланцевые формации, представленные в КМА и Криворожском железорудном бассейне, сформировались позже — в нижнем протерозое. Конечно, наиболее крупные концентрации железистых кварцитов связаны во всем мире с формациями второго типа, однако и вулканогенные формации в целом ряде случаев представлены крупными промышленными объектами (например, Костомукшское месторождение в Карелии, Оленегорское — на Кольском п-ове).

В регионе имеются железные руды еще одного типа — ильменит-магнетитового. Они представлены в Новоселковском месторождении и в ряде рудопроявлений Белоруссии и Эстонии. В Новоселковском месторождении руды приурочены к линзовидному массиву метагабброидов длиной свыше 1,5 км и шириной до 0,5 км. Мощность рудной зоны, состоящей из нескольких почти параллельных рудных тел, — 180 м, протяженность — 1200 м. Руды Новоселковского месторождения бедные, но легкообогащаемые; по масштабам это среднее месторождение. Положительными особенностями данного месторождения являются сравнительно неглубокое залегание рудной зоны под осадочным чехлом (160 м), а также комплексный характер руд, в которых кроме железа присутствуют титан, ванадий и другие рудные компоненты.

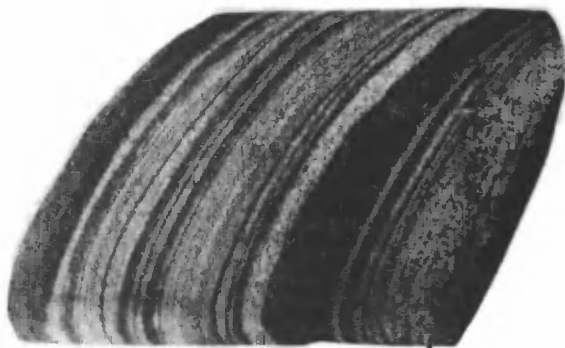
Нами была отмечена интересная особенность Новоселковского месторождения, проливающая свет на его генезис. Во вмещающих руду габброидах мы обнаружили большое количество реликтов очень тонкозернистых основных пород (близких к микрогаббро и диабазам), в которых рассеяно ильменит-магнетитовое орудене-



Геологическое положение вскрытых скважинами железорудных залежей и месторождений региона. Слева направо показаны разрезы Околовского и Стальцельского месторождений железистых кварцитов, Новоселковского месторождения ильменит-магнетитовых руд, Варанского и Гарсенского месторождений богатых магнетитовых руд.



ние. Выявленные реликты в периферических их частях постепенно сменяются среднезернистыми и крупнозернистыми габброидами — характерными породами массива. На основании этих наблюдений и последующих специальных исследований была выдвинута концепция о формировании габброидов и связанных с ними ильменит-магнетитовых руд в резуль-



Полосчатая текстура железистого кварцита Окопского месторождения. Темные прослои — магнетит и силикаты, светлые — кварц.

тате преобразования первичных гипабиссальных или эффузивных пород, содержащих рассеянное титано-магнетитовое оруденение. Одним из подтверждений глубокого метаморфического преобразования руд Новоселковского месторождения служит довольно низкое содержание двуокиси титана в магнетите. Оно свидетельствует о метаморфическом происхождении магнетита и сосуществующего с ним ильменита. По имеющимся данным, руды этого месторождения относятся к магматогенно-метаморфогенной ильменит-магнетитовой рудной формации.

Из открытых за последнее время месторождений большой интерес представляет Варенское месторождение богатых магнетитовых руд в Литве. Оно выделено по геофизическим данным и результатам бурения. Глубина залегания месторождения под осадочным чехлом — 350—360 м. Руды сосредоточены в столбообразном рудном теле или нескольких сближенных телах, окруженных гнейсами и гранитами. Общий диаметр рудных тел, судя по размерам магнитной аномалии, равен 550—600 м. Скважиной вскрыто рудное тело, где почти на всем 50-метровом интервале обнаружена необычайно богатая магнетитовая и серпентин-магнетитовая руда, содержащая 80—95 % магнетита. Содержание железа в руде также очень высокое — 60—62 % (даже богатые руды Кривого Рога и КМА обычно содержат не более 55—57 %). Из нерудных минералов в руде присутствуют серпентин, флогопит, тальк, оливин и шпинель. Местами руда имеет своеобразную структуру сильно оруденелого серпентинизированного магнетитового оливинита. Генезис Варенского месторождения оконча-

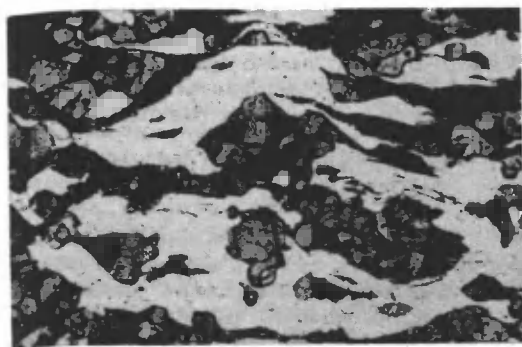
тельно не выяснен. Оно имеет общие черты как со скарновыми, так и с магматическими месторождениями. Подобные богатые магнетитовые руды были в свое время описаны академиком В. А. Обручевым для месторождения Ликони (Италия). По предварительной оценке, Варенское месторождение является крупномасштабным.

В Гарсенском месторождении Латвии скважиной вскрыты кварцево-магнетитовые, сульфидно-магнетитовые и магнетитовые руды, большая часть которых относится к богатым. Глубина залегания руд под осадочным чехлом довольно значительна — около 950 м, мощность вскрытой рудной залежи равна 24 м. Для обследованного рудного интервала характерен постепенный переход от кварцево-магнетитовой бедной руды типа железистых кварцитов к богатой магнетитовой и сульфидно-магнетитовой рудам. При этом хорошо видно, что превращение бедной руды в богатую наступает в результате растворения кварцевых прослоев и выноса кремнезема, сопровождаемых сближением и сжатием рудных прослоев. Именно так образуются богатые метаморфические остаточные руды. Согласно геофизическим данным, в месторождении имеется целая серия сближенных рудных залежей общей мощностью около 200 м, протянувшихся на несколько километров. Поэтому предварительно месторождение оценивается как крупное.

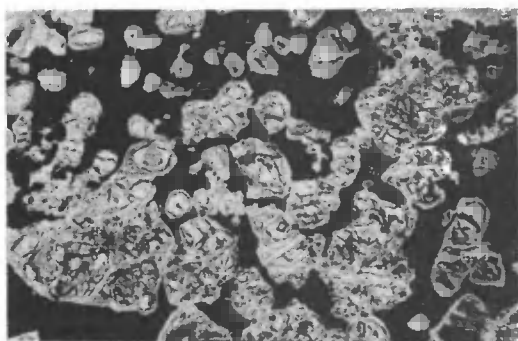
Помимо рассмотренных наиболее крупных железорудных объектов, в кристаллическом фундаменте Белорусско-Прибалтийского региона скважинами выявлены десятки сравнительно небольших рудодопроявлений.

ПЕРСПЕКТИВЫ НОВОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО РЕГИОНА

Кристаллический фундамент в пределах Белорусско-Прибалтийского региона скрыт под осадочным чехлом и разбурен очень незначительно: в среднем одна скважина приходится на площадь около 200 км². Естественно, что при такой редкой сети скважин трудно было оценить перспективы фундамента на промышленные железорудные месторождения. Более того, в геологической литературе регион вообще не было принято упоминать в качестве перспективного на какие-либо руды. К сожалению, отголоски этих представлений встречаются и по сей день. Причиной же всему — широко распро-



Микрофотография железистого кварцита Йыхинского месторождения. Черный цвет — магнетит, серый — гранат и пироксен, белый — кварц [увел. в 23 раза].



Микрофотография богатой серпентин-магнетитовой руды Варенского месторождения. Черный цвет — магнетит, серый — серпентин, развивающийся по оливиниту [увел. в 30 раз].

страненное мнение о якобы глубоком залегании фундамента в пределах региона.

Чтобы объективно рассмотреть вопрос о перспективности региона, большим коллективом геологов Белоруссии, Литвы, Латвии и Эстонии под общим руководством автора в последние годы были проведены планомерные и целенаправленные исследования. Первоочередная их задача — оценить глубину залегания кристаллического фундамента, так как этот параметр является одним из важнейших при экономической оценке нового месторождения. К сожалению, на имевшихся картах положение фундамента и его рельеф отражались изогипсами, т. е. высотами по отношению к условному уровню моря. Это отнюдь не характеризовало мощность осадочного чехла, перекрывающего фундамент и, соответственно, глубину его залегания. На основании геофизических и других исследований нами были построены 2 изопакиты со значениями 500 м и 1 км, отражающие мощность осадочного чехла и соответственно глубину залегания фундамента.

Почему были выбраны именно такие изопакиты?

Выше отмечалось, что предельной глубиной подсчета запасов бедных легкообогатимых железных руд принято считать 600—700 м, а богатых — 1,5 километра. Поэтому площади, где фундамент выступает над изопакитой 500 м, можно рассматривать как благоприятные для выявления месторождений бедных и богатых руд. Те же территории, где фундамент выступает над изопакитой 1 км, благоприятны для месторождений богатых руд. Расчеты показали, что на 1/3 части региона фундамент залегает на глубине менее 500 м, а на 2/3 всей площади —

на глубине менее 1 км. Таким образом, 2/3 площади огромного Белорусско-Прибалтийского региона перспективны для поисков промышленных месторождений железных руд. Иными словами, большая глубина залегания фундамента с позиций современных геолого-экономических требований не является препятствием для поисков и открытия здесь промышленных железорудных месторождений.

При малом объеме бурения в пределах региона поиски новых железорудных месторождений ведутся прежде всего геофизическими методами. Вся территория региона покрыта среднemasштабной магнитной съемкой. Ее высокая эффективность основана на том, что докембрийские железорудные месторождения являются в основном магнетитовыми. В геофизических полях на поверхности Земли эти руды порождают магнитные аномалии, изучая которые геологи и находят скрытые железорудные месторождения. Однако, все не так просто. Магнитные аномалии на поверхности могут быть обусловлены не только железными рудами, но и породами с повышенной магнитностью, например габброидами. Кроме того, интенсивность магнитных аномалий на поверхности сильно уменьшается с увеличением глубины залегания железорудного месторождения; она зависит также от формы месторождения, ориентировки в нем вектора остаточного намагничивания и других факторов. Поэтому магнитная аномалия не всегда свидетельствует о железорудном месторождении, особенно в том случае, когда резко меняется глубина залегания фундамента и связанных с ним месторождений.

Чтобы нивелировать влияние перепадов глубины залегания фундамента,

В. Н. Зандер, А. Н. Берковский и другие предложили формулу, по которой величину наблюдаемого на поверхности магнитного поля можно пересчитать на интенсивность намагничивания или намагниченность глубинного объекта. Исходными параметрами при этом послужили интенсивность магнитного поля в эпицентре аномалии, форма аномалии и глубина залегания магнитного тела, выходящего обычно на поверхность кристаллического фундамента. Ценность пересчета заключается в том, что с его помощью по величине измеряемого на поверхности магнитного поля можно определить степень намагниченности скрытых на глубине тел. Вычисленная же величина намагниченности позволяет, в свою очередь, судить о «рудном» или «нерудном» характере глубинного тела.

По указанной методике пересчитаны параметры более чем двух тысяч локальных магнитных аномалий региона, часть из которых обусловлена скоплением железных руд в кристаллическом фундаменте. Важно, что подавляющее большинство этих аномалий приходится на районы, где нет скважин.

Опытным путем было установлено, что чем выше величина намагниченности глубинных объектов, тем с большей вероятностью данной аномалии отвечает железорудное месторождение. Так, по наблюдениям в пределах Балтийского кристаллического щита установлено, что «железорудными» являются аномалии с вычисленной интенсивностью намагничивания пород (J) более 6 тыс. ед. СГС. По нашим данным, в пределах БССР крупным рудопроявлением (с запасами около 25 млн т) соответствует величина J , равная 2,5 тыс. ед. СГС. Опытным путем мы пришли к следующему делению магнитных тел по величине J : от 2 до 5 тыс. ед. СГС — тела, с которыми могут быть связаны железные руды; от 5 до 7 тыс. ед. СГС — перспективные; от 7 до 10 тыс. ед. СГС — высокоперспективные; выше 10 тыс. ед. СГС — наиболее перспективные. Выделение последней группы в качестве наиболее перспективной на железные руды хорошо подтверждается близкими значениями J для аномалий над вскрытыми скважинами железорудными месторождениями и крупными объектами (от 14,6 до 39,0 тыс. ед. СГС).

Вычисление интенсивности намагничивания для двух с лишним тысяч локальных магнитных аномалий региона позво-

лило выделить среди них 774 магнитных тела, где J превышает 2 тыс. ед. СГС. Таким образом, только треть всех магнитных аномалий представляет интерес при прогнозе железорудных месторождений.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Благодаря огромной площади региона нам удалось выявить некоторые общие закономерности размещения железорудных месторождений, рудопроявлений, а также скрытых на глубине и обладающих высокими магнитными свойствами тел, с которыми могут быть связаны новые железорудные месторождения.

Основными структурными элементами кристаллического фундамента, определяющими размещение железных руд, являются древнейшие гранито-гнейсовые массивы и разделяющие их складчатые зоны, которые образованы чередующимися линейными блоками гнейсо-мigmatитов и гранулит-базитов. Первичные супракrustальные породы, залегающие в основании всех этих структурных элементов, относятся большинством специалистов к нижней части архея, к так называемому беломорскому комплексу принятой сейчас стратиграфической шкалы докембрия. На этом фоне местами развиты породы верхнего архея, приуроченные, как нам представляется, ко вторичным структурам типа грабен-синклиналей; с ними и связаны железистые кварциты (в частности, железистые кварциты Околовского месторождения). Нижнепротерозойские породы достоверно установлены лишь на отдельных локальных участках, и с ними не ассоциируют какие-либо железорудные проявления.

Главная закономерность в размещении всех железорудных месторождений и рудопроявлений, а также практически всех магнитных тел такова: почти все они приурочены к складчатым зонам и отсутствуют на больших площадях, занимаемых гранито-гнейсовыми массивами. Внутри складчатых систем, имеющих ширину до 250 км, основная часть магнитных тел совпадает с линейными блоками гранулит-базитов, а иногда и с глубинными разломами, разделяющими блоки различного состава.

Главная причина насыщенности складчатых систем железными рудами заключается, видимо, в повышенной проницаемости здесь земной коры, нарушенной многочисленными круто падающими глубинны-

ми разломами. Можно предположить, что железо поступало по этим разломам как составная часть основных вулканитов, а также выносилось с вулканическими эксгальциациями при подводных излияниях основных и кислых вулканитов и перемещалось в рассеянном виде в составе различных, преимущественно основных, магматических пород. Весьма существенным рудогенерирующим процессом было и метаморфогенное рудообразование. Особенно важную роль играли, как нам представляется, процессы ультраметаморфизма. Они обусловили переотложение и концентрацию железных руд в результате воздействия позднейших субплатформенных гранитоидов на первичные, обогащенные железом породы. По-видимому, подобные ультраметаморфические руды широко развиты в регионе, и при обосновании перспектив его рудоносности им необходимо уделить должное внимание. Возможно, к образованиям сходного типа относится Варенское месторождение богатых магнетитовых руд в Литве.

Имеется еще одна важная региональная закономерность: месторождения, проявления железных руд и магнитные тела образуют своеобразные ассоциации — рудные поля (например, Кореличское, Варенское, Околовское). В регионе нами выделена и более крупная совокупность железорудных объектов — Западно-Белорусско-Прибалтийский железорудный пояс. Он объединяет большое количество магнитных тел, проявлений и месторождений железных руд и протягивается в субмеридиальном направлении почти на 700 км.

В последнее время в размещении железорудных объектов выявлена также региональная металлогеническая зональность. Установлена она на примере Западно-Белорусско-Польской складчатой системы, наиболее полно изученной в пределах Белорусской антеклизы. В поперечном сечении этой системы легко проследить, что чисто железные руды приурочены к краевым ее частям, граничащим на востоке с Минско-Полоцким, а на западе (в ПНР) — с Мазовецким гранито-гнейсовыми массивами. Месторождения же и проявления титано-железных руд совпадают с центральной частью системы. Представителями железных руд в восточной части складчатой системы являются железистые кварциты Околовского месторождения и примыкающих к нему рудопроявлений, а в западной части — проявления магнетитовых кварцитов, вскрытых скважиной в ПНР. Титано-железное оруденение пред-

ставлено месторождениями и проявлениями ильменит-магнетитовых руд, связанных с метабазитоидными.

В соответствии с гипотезой развития геосинклиналей Ж. Обуэна и представлениями Г. С. Момджи, титано-железорудную формацию центральной части складчатой системы можно рассматривать как эвгеосинклиальную, а кремнисто-железистую — как краевую геосинклиальную. Таким образом, титано-железное оруденение локализовалось внутри базальтоидов в центральной части эвгеосинклинали, тогда как железное, малотитанистое, связанное с эксгальциационной деятельностью, — в осадках краевых частей эвгеосинклинали. Важно отметить, что подобное зональное размещение железных руд имело место уже на самых начальных стадиях развития земной коры, в раннем докембрии. Оно может быть использовано при проведении металлогенического районирования региона на структурно-формационной основе.

Исследования перспектив Белорусско-Прибалтийского региона на железные руды продолжаются. К этому региону применимы слова известного специалиста по геологии рудных месторождений академика С. С. Смирнова: «То, что мы обнаружили до сих пор, это лишь малая доля того, что мы можем еще открыть». Проведенный анализ геофизических данных и глубины залегания фундамента позволяет высказать предположение, что основные железорудные богатства региона еще скрыты от нас. Значение железных руд региона будет бесспорно расти по мере все более детального его изучения и расширения добычи руд в уже известных железорудных районах. Можно считать, что практическое использование железорудных месторождений региона начнется в конце этого — начале следующего века.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Бирюков В. С. ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ БАЗЫ СССР И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДЧНЫХ РАБОТ. М.: Недра, 1976.

Быховер Н. А. ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗА МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ. М.: Недра, 1978.

Корнилов Н. А., Деревянкин Ю. А., Шатров Л. Л. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БЕЛОРУССКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА. — Советская геология, 1980, № 9, с. 73.

Л. А. ЗИЛЬБЕР — МЫСЛИТЕЛЬ И ЭКСПЕРИМЕНТАТОР

В этом году исполняется 90 лет со дня рождения Льва Александровича Зильбера, глубокого мыслителя, блестящего экспериментатора, автора нескольких крупнейших открытий в биологии и медицине, чьи труды занимают почетное место в отечественной и мировой науке.

Научная деятельность Л. А. Зильбера продолжалась почти полвека и совпала с созданием основ теоретической медицины, превращением биологии из науки описательной в экспериментальную.

На протяжении этого громадного периода менялись не только теоретические воззрения, но и методы исследования в основных биологических дисциплинах, и всегда труды Л. А. Зильбера и его учеников оставались на вершине развития мировой науки.

Начав свою работу в науке как бактериолог и микробиолог, Лев Александрович быстро приобрел также и основательные иммунологические познания. В 1922—1923 гг. ему удалось сделать первое крупное открытие — получить наследственную трансформацию бактерий из одного серологического типа в другой. Это был первый описанный в науке случай направленного наследственно закрепленного изменения свойств живого организма. Эти опыты на несколько лет опередили широко известные опыты Дж. Гриффитса с трансформацией пневмококков.

К этому же периоду относятся его работы по аллобиотрофии — симбиозу вирусов и микробов, не утратившие актуальности и сейчас, когда проблемы взаимоотношений вирус — клетка находятся в центре внимания исследователей.

Создание сахарных бациллярных вакцин показало, что уже в начале своего научного пути Лев Александрович стремился тесно связать теоретические исследования с практическими нуждами здравоохранения.

К 1935 г. Л. А. Зильбер уже общепризнанный авторитет в области бактериологии, микробиологии, иммунологии. Именно в это время

он круто меняет направление научных поисков, устремляясь в область вирусологии, тогда еще совсем молодой науки, не имевшей ни достаточного опыта, ни традиций. В истории отечественной вирусологии роль Л. А. Зильбера огромна — он не только был инициатором развития вирусологических исследований в нашей стране, не только создателем советской школы медицинских вирусологов, но и внес громадный личный вклад в вирусологию как науку.

В руководимой Л. А. Зильбером первой энцефалитной экспедиции 1937 г. на Дальнем Востоке был открыт возбудитель и переносчик весенне-летнего энцефалита. Эта работа стала классическим, хрестоматийным примером организации подобного типа, она составляет славу и гордость отечественной вирусологии. В кратчайшие сроки, всего за 4 месяца (с мая по август 1937 г.), в труднейших условиях работы в тайге в очагах заболевания был выделен возбудитель энцефалита и установлена роль клещей как переносчиков этого заболевания.

Уже в то время намечается новый круг научных интересов Льва Александровича, а именно интерес к вирусам как возможным этиологическим агентам, вызывающим превращение нормальных клеток в опухолевые. В 1944 г. Л. А. Зильбер впервые формулирует гипотезу, получившую позднее название вирусо-генетической. Последние 20 лет жизни Лев Александрович целиком отдал развитию и углублению созданной им гипотезы. Вирусо-генетическая концепция, встречающаяся в штыки большинством современников, является сейчас базой дальнейшего изучения роли вирусов в раковых заболеваниях, ведущей современной теорией онкогенеза.

Льву Александровичу принадлежит заслуга создания новой научной дисциплины — иммунологии рака. В период полного скепсиса и неведения в существование в раковых клетках белков, отличных от белков нормальных клеток, в лаборатории Л. А. Зильбера были откры-



ЛЕВ АЛЕКСАНДРОВИЧ ЗИЛЬБЕР
16 [28].III 1894 — 10.XI 1966
Фото 1936 г.

ты специфические антигены опухолей [1947]. Позднее им было сформулировано представление о двух типах иммунитета — к вирусу и к раковой клетке,— лежащее в основе всех современных работ по иммунологии рака. Хотелось бы подчеркнуть необычную актуальность всех работ Зильбера, причем это касается не только вирусо-генетической теории, но и problem трансформации бактерий, и аллобиоформ,

и энцефалита, и амиотрофического бокового склероза, и эпидемиологии рака и многих других вопросов. Это свойство таланта всякого крупного исследователя, безусловно, будет четко отмечено читателем, вниманию которого предлагаются публикуемые ниже статьи.

Академик Н. Н. Блохин,
президент Академии медицинских наук СССР

Вирусы, онкогены и рак

Л. Л. Киселев,

доктор биологических наук

Институт молекулярной биологии АН СССР
Москва

В современном естествознании проблема превращения нормальных клеток в раковые заняла одно из главенствующих мест и выделилась в особое научное направление — молекулярную онкологию, лежащую на стыке молекулярной биологии, молекулярной генетики, вирусологии, онкологии, биоорганической химии и энзимологии.

Громадный интерес к этой проблеме обусловлен, во-первых, исключительной важностью ее решения для здоровья человека, во-вторых, фейерверком поражающих воображение открытий, порожденных новой, генноинженерной методической основой исследований и, наконец, в-третьих, ясным сознанием того, что молекулярные основы канцерогенеза теснейшим образом связаны с общебиологическими проблемами, такими как регуляция деления клеток, дифференцировка, дедифференцировка, онтогенез.

В достигнутом сегодня уровне наших знаний о природе злокачественной трансформации огромную роль сыграли теоретические представления, возникшие четыре десятилетия назад, долгое время не находившие ни понимания, ни экспериментальной поддержки, потом доказанные, получившие силу непреложного закона, а затем видоизмененные и углубленные достижениями последних лет. Речь идет о вирус-генетической концепции возникновения опухолей, создателем которой был Лев Александрович Зильбер. Идеи, высказанные им еще в 40-х годах нашего столетия, стали не только основой всей его последующей научной деятельности, но и определили наиболее плодотворный путь развития онкогенной теории в целом¹.

Мысль, что особые опухолевые вирусы могут вызывать превращение нормальных клеток в раковые, или, говоря иначе, трансформировать нормальные клетки в раковые, была высказана в начале века рядом исследователей, в том числе и И. И. Мечниковым². Участие вирусов в канцерогенезе у животных впервые было показано в 1910 г. в опытах американского вирусолога П. Рауса, одного из основоположников вирусологии рака. К началу 40-х годов было открыто еще несколько опухолевых вирусов, однако вирусная концепция происхождения опухолей оставалась, мягко говоря, малопопулярной.

В чем же состояла новизна зильберовского подхода в теории онкогенеза? Лучшее всего ответить на этот вопрос словами автора. «Роль вируса в данном случае (ракового перерождения клетки) сводится к тому, что он изменяет наследственные свойства клетки, превращая ее из нормальной в опухолевую, и образовавшаяся таким образом опухолевая клетка служит источником роста опухоли... Можно предположить, что мутация, которая имеет место при превращении нормальной клетки в опухолевую, обусловлена геным аппаратом. При действии опухолевых вирусов и вирусоподобных агентов на клетку нормальная клетка превращается в опухолевую, и эти изменения носят наследственный характер. Вирус, совершивший это превращение, уже не играет роли в дальнейшем развитии опухоли. Наследственные изменения клетки под влиянием опухолевого вируса возможны путем воздействия как на генный аппарат, так и на протоплазматические детерминанты наследственности. Если некоторые неопухолевые вирусы и другие инфекционные агенты спо-

¹ Первое изложение Л. А. Зильбером вирус-генетической теории рака см.: Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии, 1945, вып. 3, с. 43—53; вып. 4/5, с. 16—25.

² См.: Зильбер Л. А. Вирус-генетическая теория возникновения опухолей. М., 1968, с. 11.

способны вызвать клеточную пролиферацию, то это еще не значит, что они способны вызвать наследственные изменения свойств клетки. Последняя способность присуща только опухолевым вирусам, и характер их воздействия на клетку поэтому принципиально отличается от характера воздействия инфекционных агентов...»³

Читателю 1984 г. почти невозможно представить себе, что эти мысли относятся к тому времени, когда еще не сформировались такие науки, как молекулярная биология, биохимия вирусов, не были известны такие феномены, как лизогения, трансдукция, инфекционность нуклеиновых кислот, когда не существовало молекулярной генетики высших организмов, — одним словом, когда почти ничего не было известно ни об опухолевых вирусах, ни о геноме трансформируемых ими клеток.

К центральной идее воздействия вируса на генетический аппарат клетки Зильбер пришел, отталкиваясь не от свойств опухолевых вирусов, которые в то время были почти неизвестны, а от изменения наследственных свойств клеток под действием внешних факторов, т. е. от идеи трансформации наследственных свойств клеток. Осуществленная Зильбером серологическая трансформация бактерий вультгарного протей в Х-протей в 1922 г. был первый в мире четко описанный и документированный случай бактериальной трансформации, подтвержденный другими исследователями. В 1928 г. Дж. Гриффитс продемонстрировал трансформацию пневмококков, О. Эвери с сотрудниками доказали, что эта трансформация обусловлена ДНК. Затем Зильбер ссылается на опыты по наследственным изменениям некоторых вирусов (речь идет о рекомбинации у вирусов животных). «Все эти факты с определенностью говорят о том, что бактериальные клетки и вирусы могут приобрести новые свойства под влиянием внешних экстракцеллюлярных факторов и что подобное изменение может иметь наследственный характер, — иначе говоря, бактериальные клетки могут мутировать... Почему же не предположить возможность подобного процесса у клеток высших животных?»⁴ Лишь в 60-е годы наследственная трансформация клеток животных *in vitro* под действием онковиральных ДНК ста-

ла фактом науки, но именно эти мысли были весьма важны в момент создания вирусогенетической теории.

Суммируя все известное к началу 60-х годов об опухолевых вирусах, Зильбер еще раз с предельной ясностью формирует основные положения концепции, конкретизируя вместе с тем идею о воздействии опухолевого вируса на генетический аппарат клетки путем встраивания (интеграции) генома вируса в геном клетки⁵.

Это положение, высказанное почти четверть века назад, сегодня не только подтвердилось, но и получило дальнейшее развитие, и имеются все основания полагать, что встроенный геном вируса превращается в структурные гены клетки, способные направлять синтез вирусоспецифических белков.

К 1966 г. постройка здания вирусогенетической теории была завершена, и в нее вошли все накопленные к тому времени знания о молекулярной природе рака: «Опухолевая конверсия клеток вызывается не вирусом, а его нуклеиновой кислотой. Вирус является только носителем того фактора, который вызывает опухолевую конверсию. Новая генетическая информация, приносимая нуклеиновой кислотой вируса в клетку, инкорпорируется полностью или частично в геном клетки»⁶.

Логика мысли, логика развития проблемы приводит к лаконичной формулировке: «Рак как проблема молекулярной биологии. В конце концов, рак — это заболевание генома клетки, и вполне естественно ожидать успехов в лечении этого заболевания тогда, когда будут изучены процессы, определяющие и регулирующие нормальное и патологическое функционирование клеточного генома. Это — задача биохимии и молекулярной биологии»⁷.

И снова нас не может не поразить то, что это написано не пять или десять, а больше двадцати лет назад.

В 40—50-е годы идеи Зильбера никем не разделялись; он в одиночку, вопреки господствовавшим в то время взглядам, отстаивал свою концепцию. В следующие 10 лет ситуация изменилась:

³ Зильбер Л. А. Вирусная теория происхождения злокачественных опухолей. М., 1946, с. 52, 55, 59—61.

⁴ Там же, с. 55.

⁵ Зильбер Л. А., Абелев Г. И. Вирусология и иммунология рака. М., 1962; Зильбер Л. А. — *Вопр. вирусол.*, 1961, вып. 1, с. 3.

⁶ Зильбер Л. А. Вирусогенетическая теория возникновения опухолей, с. 22.

⁷ Зильбер Л. А. — *Вестник АН СССР*, 1962, вып. 7, с. 228.

и в нашей стране, и за рубежом начали появляться сторонники вирусно-генетической теории. Однако только после смерти Зильбера созданная им теория завоевала всеобщее признание.

С конца 60-х годов вирусно-генетическая теория — наиболее обоснованная среди других как экспериментально, так и теоретически концепция канцерогенеза. Конечно, лавина новых фактов нуждается в дальнейшем развитии этой теории. Различные новые концепции канцерогенеза будут включать в себя, как составную часть, идеи вирусно-генетической теории, подобно тому как открытие непостоянства и подвижности генома не отменило законов наследственности Менделя о неразрывности наследственного фактора при скрещиваниях.

В первое 20-летие существования вирусно-генетической концепции доминировал интерес к первой ее части, касающейся онкогенной роли вирусов. Бесчисленные и небезуспешные попытки выделить все новые и новые онковирусы наталкивались на большие методические трудности; ведь чтобы обнаружить онковирусы, часто необходимо не только время, но и особые, благоприятные для этого условия. К началу 60-х годов роль вирусов в возникновении многих опухолей у животных была доказана. Однако это не убеждало в непогрешимости концепции в целом, поскольку прямых данных (при обилии косвенных) о непосредственном взаимодействии геномов опухолевого вируса и трансформируемой клетки еще не было получено. В известном смысле наступил критический момент в развитии вирусно-генетической концепции.

Зильбер ясно понимал, что решающее слово здесь принадлежит новым биохимическим и молекулярнобиологическим методам исследований. Действительно, в 1968—1969 гг. методами молекулярной гибридизации нуклеиновых кислот было установлено, что ДНК-содержащие опухолеподобные вирусы встраивают свой генетический материал в наследственный аппарат нормальных клеток, вызывая тем самым их злокачественное перерождение⁸. Однако у подавляющего большинства природных опухолевых вирусов носителем генетической информации служит не ДНК, а РНК, а внедрение РНК-ового генома вируса в ДНК-овый геном клетки казалось маловероятным. Замечательное открытие

Д. Балтимора и Г. Темина, отмеченное впоследствии Нобелевской премией, полностью сняло это кажущееся противоречие. Было доказано, что информация, записанная в РНК опухолевых вирусов (получивших теперь название ретровирусов), с помощью особого белка — фермента ревертазы — может быть «переписана» в ДНК-овую форму. Такая ДНК-овая форма генома ретровируса, называемая провирусом, была обнаружена в геноме трансформированных клеток. Таким образом, в начале 70-х годов установлено, что все опухолеподобные вирусы независимо от химической природы их генетического аппарата — ДНК-овой или РНК-овой — могут внедряться в наследственный аппарат трансформируемой ими клетки.

С конца 60-х — начала 70-х годов начался новый этап в разработке экспериментальной стороны вирусно-генетической теории, когда интерес исследователей постепенно стал смещаться в сторону развития второй половины концепции — генетической. Поскольку основной постулат теории — воздействие вируса на геном — был уже доказан, необходимо было конкретизировать концепцию в терминах современной молекулярной биологии и молекулярной генетики.

Р. Хьюбнер и Дж. Тодаро спустя много лет после Л. А. Зильбера высказали предположение, что в нормальных клетках существуют «спящие» (латентные) опухолеподобные вирусы, которые могут быть активированы, и выдвинули свою гипотезу онкогенеза, согласно которой геном ретровирусов состоит из генов, нужных собственно вирусу (вирогенов), и генов, вызывающих трансформацию (онкогенов). Оба типа вирусных генов, будучи встроены в геном клетки, становятся генами трансформированной клетки⁹. Очевидно, что эта концепция, дополняя теорию Зильбера, согласуется с ней, связывая трансформирующее действие вируса (в тех случаях, когда в геноме вируса содержится онкоген) с конкретным участком его генома.

Протовирусная гипотеза Темина допускает образование ретровирусных генов, наряду с невирусными онкогенами клетки, из клеточных генов в процессе онтогенеза¹⁰.

⁹ Huebner R. J., Todaro G. J. — Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1969, v. 64, p. 1087.

¹⁰ Temin H. M. — J. Nat. Cancer Inst., 1971, v. 46, p. 3.

⁸ См.: Киселев Л. Л. — Усп. совр. биол., 1969, т. 68, вып. 6, с. 381.

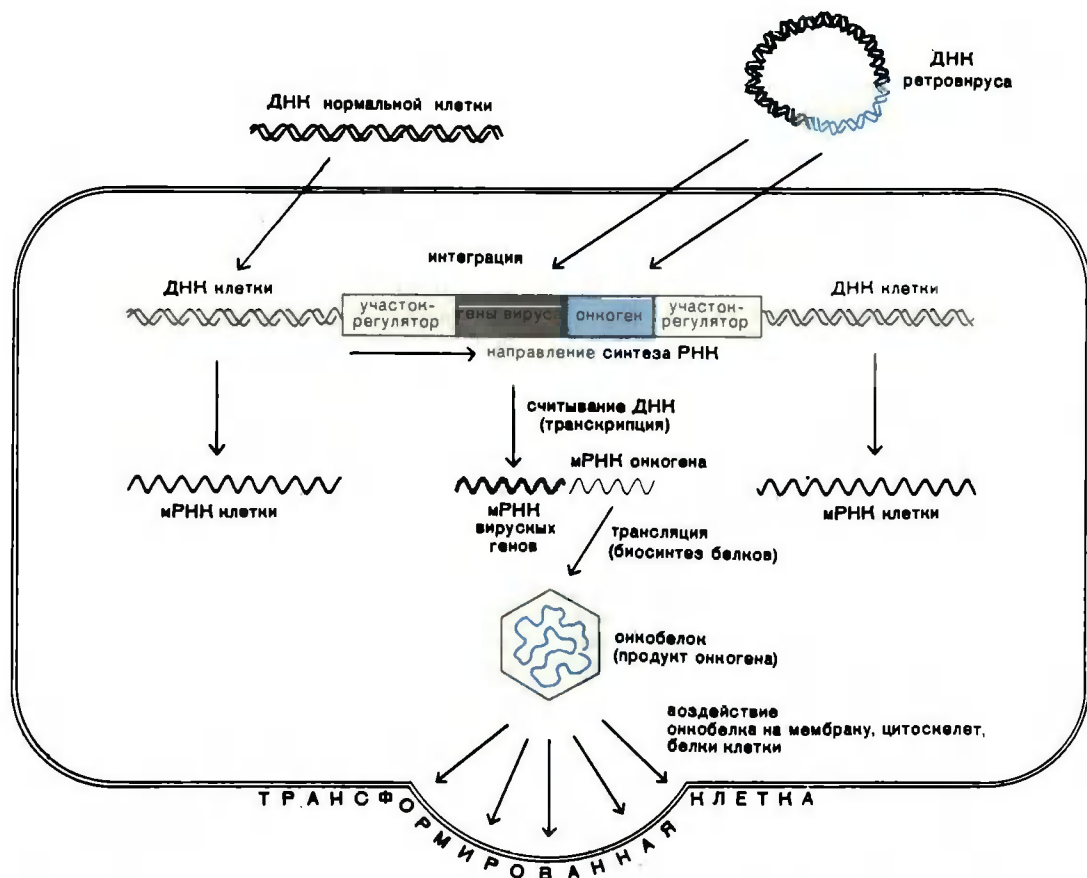


Схема встраивания (интеграции) генома опухолевого вируса в геном клетки и образование продукта онкогена — онкобелка. Сначала ретровирус (РНК-содержащий опухолевый вирус) с помощью фермента ревертазы переписывает свою генетическую информацию в ДНК-овую форму (провирус). Только после этого возможно взаимодействие провируса с клеткой: ДНК ретровируса встраивается в геном нормальной клетки (происходит интеграция). Встроенный в ДНК клетки вирусный геном начинает функционировать обычным порядком и вырабатывает в том числе онкобелок, который в трансформированной клетке влияет на различные части клетки (мембрану, цитоскелет, ферменты и т. д.).

Ряд исследователей (в наиболее четкой форме применительно к ретровирусам об этом писали П. Вогт и А. Алтштейн) полагают, что онкогены не являются истинными генами вируса, а захвачены им из генома клетки и «присвоены».

Согласно промоторной гипотезе Г. П. Георгиева, клетка превращается в опухолевую, когда некоторые клеточные гены в результате встраивания вирусного генома оказываются рядом с вирусным

промотором. В результате клетка теряет контроль над работой этого гена и становится злокачественной¹¹.

С развитием технологии получения рекомбинантных молекул ДНК, методов генетической инженерии, методов расшифровки химического строения нуклеиновых кислот предположение о существовании вирусных онкогенов и об их происхождении из генома клетки получило прямое подтверждение. Мы сейчас знаем, что в опухолевых ретровирусах содержится более 15 разных активных онкогенов.

Помимо ретровирусов, содержащих активные онкогены, существует большая группа ретровирусов (например, вирусы, вызывающие лейкоз), в составе которых онкогенов не найдено. Механизм их трансформирующего действия на клетки пока не установлен, хотя по этому поводу в последние годы высказано много гипотез. В основе этих гипотез лежит

¹¹ Georgiev G. P.—C. Theor. Biol., 1969, v. 25, p. 473.

Онкогены ретровирусов

	Сокращенное обозначение онкогена	Рак животных			Трансформация в культуре
		саркома	карцинома	острый лейкоз	Фибробласты
ВИРУСЫ ПТИЦ					
Саркомы Рауса	src	+	—	—	+
» Фуджинами	Δ gag-fps	+	—	—	+
» Ямагучи	Δ gag-yes	+	—	—	+
» Рочестер-2	Δ gag-ros	+	—	—	+
Карциномы МН2	Δ gag-mht / myc	+	+	+	+
Миелоцитоматоза MC29	Δ gag-myc	+	+	+	+
Эритробластога	Δ gag-erb	+	+	+	+
Миелобластога	Δ gag-myb-env	—	—	+	—
Эритробластога-E26	Δ gag-myb-ets	—	—	+	—
Ретикулоэндотелиоза	rel	—		+	—
Саркомы SKV	ski	+			
ВИРУСЫ МЛЕКОПИТАЮЩИХ					
Саркомы мышей Молони	mos	+	—	+	+
Саркомы крыс Харви и Кирстен	ras	+	—	+	+
Лейкоза мышей Абельсона	Δ gag-abl	—	—	+	+
Остеосаркомы мышей FBJ	fos	+	—	—	+
Саркомы кошек ST и GA	Δ gag-fes	+	+	+	+
» » SM	Δ gag-fms	+	—	—	+
Гемангиосаркомы мышей	bas	+			+
Саркомы обезьян	Δ env-sis	+	—	—	+

Таблица построена согласно сводкам начала 1983 г. Отсутствие плюса или минуса означает отсутствие данных или их непроверенность. Gag и env — обозначения генов ретровирусов, кодирующих внутренние белки вирусной частицы и белок оболочки, соответственно. Знак Δ означает, что в состав онкогена входит часть гена gag или env. Трехбуквенные латинские обозначения в составе онкогенов [src, fps и т. д.] означают ту часть онкогена, которая имеет клеточный предшественник (протоонкоген), эти сокращения образованы от названия ретровируса, в котором впервые был обнаружен данный фрагмент онкогена или онкоген. Для myb существует синоним amv.

исходное положение вирусно-генетической теории о воздействии вируса на генетический аппарат клетки.

Как известно, существуют опухоли, возникающие под действием различных канцерогенных веществ. Изучение молекулярной природы таких опухолей и их возможной связи с вирусным канцерогенезом уже началось. И в этой области положение о раке как болезни генома клетки и представление об онкогенах, рожденное онковирусологией, сохраняет свою силу. Безусловно, и при изучении так называемого невирусного канцерогенеза решающую роль будут играть идеи и методы, разработанные при изучении вирусного канцерогенеза.

Доказанное сейчас клеточное происхождение онкогенов в принципе позволяет считать, что активные онкогены могут

возникать без участия вируса, только за счет изменений генома клетки под действием физических и химических канцерогенов. Такие изменения могут быть точечными мутациями, а также более крупными хромосомными перестройками — делециями и транслокациями. Однако для невирусного канцерогенеза (возможность которого не отрицал Зильбер) до сих пор не существует единой концепции молекулярных основ трансформации, тогда как механизмы вирусного канцерогенеза расшифрованы с несоизмеримо большей глубиной и ясностью.

Заканчивая краткий и неполный очерк возникновения и развития вирусно-генетической теории, попытаемся поставить вопросы, которые нуждаются в наиболее интенсивной экспериментальной разработке и кажутся актуальными.

Весьма важно точно охарактеризо-

вать различия в структуре и функции, существующие между активно трансформирующими онкогенами ретровирусов и их трансформационно неактивными предшественниками в геноме — протоонкогенами. Такое сравнение позволит понять, с одной стороны, особенности молекулярного строения онкогенов, определяющие их опухолеродные свойства, и, с другой стороны, узнать, какие события в клетке могут породить активные онкогены из неактивных протоонкогенов, если это происходит. По-новому может быть поставлена проблема физического и химического канцерогенеза. Необходимо изучить на молекулярном уровне, как влияя канцерогенные воздействия на строение и работу протоонкогенов. Весьма важно выделить из генома клеток, трансформированных канцерогенами, активные онкогены и попытаться их идентифицировать.

Все яснее вырисовывается многоступенчатый характер самого процесса трансформации. Сейчас можно выделить, по крайней мере, два этапа: сначала клетки становятся «бессмертными», т. е. приобретают способность к неограниченному делению, затем происходит собственно трансформация (специфические изменения биохимических, морфологических и других признаков). Поэтому очень важно, во-первых, разделить факторы и молекулярные события, связанные с каждым из этих этапов, и под этим углом зрения проанализировать действия онковирусов, онкогенов и их продуктов, а также невирусных канцерогенов.

Открытие онкобелков — продуктов ретровирусных онкогенов — наметило прямой путь к расшифровке всей цепи событий, ведущих от онкогена к трансформированной клетке. Однако пока неясно, каким образом онкобелки меняют свойства клетки. Наиболее популярны рабочие гипотезы, согласно которым онкобелки, благодаря своей ферментативной активности, изменяют ультраструктуру клетки (цитоскелет, внешняя мембрана) и воздействуют на ферменты энергетического обмена¹², однако экспериментальных данных пока недостаточно.

Важнейшим разделом современной молекулярной онкологии остается онковирусология, о чем наглядно свидетельствует возрастающий интерес к этой стремительно развивающейся области: за последние три года издано несколько огромных то-

мов, которые справедливо называют энциклопедией наших знаний о молекулярных механизмах происхождения рака¹³; статьи по онковирусам заняли добрую половину выпусков международного журнала по вирусологии *Journal of Virology*; онковирусы приобрели общепризнанный интерес — о них постоянно печатают статьи и комментарии ведущие международные журналы по биологии *Cell* и *Nature*; с 1982 г. выходит новая многотомная серия *Advances in Viral Oncology*¹⁴; ежегодно в мире не менее десятка крупнейших научных собраний посвящаются онковирусам. В СССР осуществляется научная программа «Онкоген», в которой участвуют Академия наук СССР и Академия медицинских наук СССР, на заседаниях президиумов АН и АМН СССР заслушивались сообщения о работах по программе, в которой центральное место занимают онковирусы и онкогены. В Институте молекулярной биологии АН СССР и во Всесоюзном онкологическом научном центре АМН СССР создан банк ретровирусных онкогенов. Социалистические страны успешно сотрудничают в рамках программы «Ревертаза — онкоген», в которой главное место отводится ретровирусам человека и сельскохозяйственных животных.

Хотя в современной молекулярной онкологии внимание сосредоточено в большей степени на молекулярногенетической стороне природы рака, не сняты с повестки дня и вопросы об онковирусах как непосредственных агентах, ответственных за возникновение опухолей и лейкозов у человека. В последние годы американские и японские исследователи показали, что злокачественное перерождение клеток иммунной системы — Т-лимфоцитов — может быть связано с особым, ранее неизвестным, ретровирусом, получившим сокращенное обозначение HTLV, или ATL. Другой вирус, ДНК-овый, по-видимому, непосредственно отвечает за возникновение рака печени — это вирус гепатита. Возможно, некоторые опухоли человека своим появлением обязаны таким ДНК-овым вирусам, как вирус Эпштейна-Барр, папилломы, герпеса. Вероятно, этот список будет продолжен. Все меньше остается сомнений в том, что распространен-

¹² Cooper J. A., Hunter T. — *J. Biol. Chem.*, 1983, v. 258, p. 1108.

¹³ *Viral oncology*. N.Y., 1980; Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol., 1980, 44; *Molecular Biology of RNA Tumor Viruses*. N. Y. — L., 1980; *RNA Tumor Viruses*. N. Y., 1982.

¹⁴ *Advances in Viral Oncology*, N. Y., 1982 — 1984, v. 1—4.

ное онкологическое заболевание сельскохозяйственных животных — лейкоз крупного рогатого скота — вызывается особым ретровирусом¹⁵.

Хотелось бы обратить внимание на то обстоятельство, что, несмотря на бурное и стремительное развитие молекулярной онкологии, в вирусно-генетической теории остаются идеи, до сих пор не реализованные, однако ни в малейшей мере не утратившие своей злободневности.

Зильбер подчеркивал, что задачи будущих исследований будут заключаться в том, чтобы уничтожить или блокировать провирус в геноме трансформируемой клетки. Тогда эти мысли намного обогнали свое время и, разумеется, не могли быть реализованы. Однако сейчас, когда мы знаем полную нуклеотидную последовательность большинства ретровирусных онкогенов, когда мы знаем, что онкогены направляют синтез онкобелков, когда мы знаем, что многие онкобелки способны избирательно фосфорилировать другие белки и свои собственные по остатку аминокислоты тирозина, появилась возможность воздействовать как на онкогены, так и на онкобелки. Можно думать об избирательных блокаторах, которые сугубо направлены связывались и реагировали бы с тем или иным онкогеном и (или) онкобелком. Сейчас мы знаем, какие именно онкогены вызывают образование некоторых опухолей у человека, поэтому блокатор может быть направлен против определенного типа опухоли. Конечно, на этом пути существуют очень серьезные трудности, однако, учитывая уровень теперешних знаний о молекулярных механизмах канцерогенеза, нам кажется своевременным привлечь внимание исследователей к этой старой идее Зильбера.

Необходимо выяснить взаимосвязь проретровирусов и мобильных генетических элементов: ярко выраженное сходство их структурно-функциональной организации подчеркивалось многими исследователями, однако их эволюционные взаимоотношения и биологические последствия этой гомологии еще неясны. До сих пор остается непроясненной возможная связь между эндогенными проретровирусами и трансформацией. Повсеместная распространенность эндогенных проретровирусов (включая человека)¹⁶ и их близость к экзогенным трансформирую-

щим ретровирусам делает такую взаимосвязь вполне правдоподобной.

Нуждается в подробной молекулярно-генетической расшивке механизм трансформирующего действия ретровирусов, не содержащих онкогенов. Такие работы ведутся, однако четких однозначных результатов пока не получено.

Еще неясен до конца вопрос о местах встраивания проретровирусов в геном клетки. Хотя в ряде случаев считается, что интеграция носит множественный и случайный характер, вполне возможно, что на фоне множественного внедрения трудно определить уникальное место интеграции, которое как раз и существенно для последующей трансформации¹⁷.

Несомненный интерес представляют те случаи, когда ретровирусы, вызвав трансформацию клетки, сами исчезают из генома клетки или остаются в ней, но «молчат». Механизм злокачественного перерождения в этом случае еще неясен.

Разумно задаться вопросом, в какой мере новый уровень нашего понимания молекулярных основ возникновения опухоли скажется на практической медицине, на клинической онкологии. Наивно думать, что эти достижения автоматически приведут к новым средствам профилактики или лечения рака. Однако можно ожидать, что на наших глазах возникнет новая область, пограничная между теоретико-экспериментальной и клинической онкологией. Еще в начале 60-х годов Зильбер настойчиво звал онколого-экспериментаторов в клинику, и первым конкретным ответом на этот призыв было открытие Г. И. Абелевым альфа-фетопротеина и его последующее использование для молекулярной иммунодиагностики рака печени у человека¹⁸. Сейчас возможностей реализации направления «от эксперимента — в клинику» несравненно больше.

В связи с тем, что продукты некоторых онкобелков могут оказаться ростовыми факторами (типа гормонов), целесообразно искать пути блокирования их актив-

¹⁵ Лагановский С. Я., Ложа В. П., Киселев Ф. Л. Лейкоз крупного рогатого скота. — Природа, 1982, № 12, с. 74.

¹⁶ Chumakov I. M. et al. — Gene, 1982, v. 17, p. 19; Zabarovsky E. R. et al. — Ibid., v. 23, p. 379; Rapaske P. et al. — Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1983, v. 80, p. 678.

¹⁷ Varmus H. E. — Science, 1982, v. 216, p. 812; Nusse R., Varmus H. E. — Cell, 1982, v. 31, p. 99.

¹⁸ Подробнее см.: Кавецкий Р. Е. Иммунология опухолей — реальный выход в клинику. — Природа, 1976, № 5, с. 38.

ности и активности их генов. Не следует откладывать начало такого рода работ до полного выяснения молекулярных основ трансформации. История медицины учит, что лекарства часто находили задолго до того, как полностью становилась ясной природа болезни.

Слушая Л. А. Зильбера

Ю. М. Васильев,
доктор медицинских наук

Всесоюзный онкологический научный центр АМН СССР
Москва

«Сегодня будет докладывать Лев Александрович Зильбер. Это — крупный вирусолог, недавно начавший заниматься онкологией. Он будет рассказывать о вирусной теории рака. Разумеется, теория эта совершенно неверна, но послушать его стоит: Лев Александрович очень хорошо говорит и возбуждает мысль». Примерно это сказал мне зимой 1947 года мой учитель, Леон Манусович Шабад¹, когда я, студент третьего курса, в очередной раз пришел к нему в лабораторию онкологии. Так, по его совету, я впервые попал на доклад Зильбера, первое из многих его выступлений, которое я слышал. Я никогда не был ни учеником, ни сотрудником Зильбера. Я был лишь его слушателем и потом — иногда — его собеседником, но, может быть, именно поэтому мне легче со стороны оценить то необычное впечатление, которое производили его выступления.

Необычным было и то, о чем он говорил, и то, как он говорил. Прежде всего, все было очень красиво: красив был сам докладчик, красивы, сдержанны и выразительны были его жесты, говорил он хорошо поставленным голосом, в чуть приподнятом тоне. Казалось, что ты слушаешь не просто научный доклад, а монолог из героической драмы, монолог в несколько старомодном романтическом стиле, но от этого особенно привлекательный. Этот стиль удивительно соответствовал содержанию выступлений. Лев Александрович призывал онкологов к героическому деянию — перестроить все свое мышление

Замечательные достижения онковирусологии и молекулярной онкологии последнего десятилетия — неоспоримое доказательство научной интуиции Зильбера, его уникальной способности видеть дальше того, что позволяло современное ему состояние биологии.

и создать теоретическую онкологию на новой основе — на основе вирусной теории возникновения опухолей. Тому, кто начал заниматься онкологией недавно, трудно себе представить, насколько еретической и неожиданной казалась проповедь вирусной теории в 40—50-х годах. К тому времени было уже накоплено большое число фактов о канцерогенных веществах, о возникновении опухолей под влиянием радиации. Активно изучались закономерности действия этих агентов, и в частности их мутагенные эффекты, и казалось, что достаточно продолжить разрабатывать эти направления, чтобы выяснить основные механизмы канцерогенеза.

Отрывочные данные о нескольких опухолеродных вирусах (вирусе саркомы Рауса, вируса папилломы Шоупа, «факторе молока») оставались где-то на периферии внимания большинства исследователей; казалось, что к появлению подавляющего большинства опухолей эти или подобные им агенты никакого отношения не имеют. Да и вирусы ли это? Может быть лучше говорить об эндогенных вирусоподобных агентах? И вот на фоне этих устоявшихся представлений Зильбер утверждает, что вирусы являются причиной всех опухолей и призывает центральной задачей онкологии сделать изучение опухолеродных вирусов и воздействие этих вирусов на генетический аппарат клетки.

Вскоре наряду с проповедью вирусной теории в выступлениях Зильбера появилась еще одна тема: тема специфических антигенных свойств опухолевых клеток. И этот подход оказался совершенно неожиданным для онкологов: в то время и у нас, и за рубежом все были убеждены, что иммунология опухолей — направ-

¹ Леон Манусович Шабад (1902—1982) — известный советский онколог-экспериментатор, академик АМН СССР.



Л. А. Зильбер. Москва, 1964 г.

ление совершенно бесперспективное. Широкими мазками, не вдаваясь в детали, Зильбер рисовал перед слушателями яркую картину будущего развития онкологии, такого же блестящего, как развитие бактериологии; ведь выяснение этиологической роли вирусов позволит начать специфическую вакцинацию и специфическую диагностику, а может быть, и специфическую терапию.

Страстность и убедительность речей Зильбера были таковы, что во время его выступлений казалось, что надо немедленно бросить все и идти вслед за ним. Сомнения и вопросы возникали лишь потом. Казалось бы, выступления Зильбера должны были вызвать у многих отрицательную реакцию: кому хочется соглашаться с тем, что надо менять все свои взгляды, да и романтический приподнятый стиль, некоторая театральность выступлений должны были бы раздражать слушателей. Но у меня и, кажется, у большинства слушателей раздражения не возникло: все было так интересно и хорошо изложено, что, даже если ты не соглашался в конце концов с выводами до-

кладчика, сохранялось убеждение, что ты слышал что-то новое и важное.

Когда я познакомился с Зильбером несколько ближе, я увидел, что приподнятость и праздничность стиля свойственны ему в частном маленьком разговоре так же, как и в большом публичном выступлении, что это не внешняя искусственно взятая на себя роль, а неотъемлемая черта его личности. Из рассказов свидетелей я узнал потом, что тот же стиль, ту же способность воодушевлять окружающих, он сохранил в самых неблагоприятных условиях, в трудные периоды жизни. Поэтому, думая о стиле Зильбера, я часто вспоминаю пастернаковские строки: «Если даже вы в это выгались, ваша правда, так надо играть».

За выступлениями Зильбера почти всегда следовали дискуссии, и они также были чрезвычайно интересны, особенно если оппонентом его бывал яркий, остроумный и знающий все про канцерогенез Шабад. Он очень точно указывал на пробелы в аргументации, на факты, противоречащие гипотезам, на возможности других интерпретаций фактов, сообщенных докладчиком, и т. д. Во время этих споров Зильбер нередко негодовал и возмущался, Шабад был более спокоен. «Представления о том, что опухоли вызываются вирусами, все еще остаются недоказанной гипотезой», — заключил как-то свое выступление Шабад. «Это не гипотеза и даже не теория. Вирусное происхождение опухолей — это уже концепция», — немедленно ответил Зильбер. Споры эти продолжались в течение многих лет, но они не были бесплодными: хотя никто из спорящих, конечно, не признал полностью правоту своего противника, взгляды их, да и слушателей тоже, постепенно менялись. Например, вначале Зильбер считал, что специфический опухолевый антиген должен обязательно быть белком опухолеродного вируса, тогда как Шабад указывал на возможность клеточного эндогенного происхождения этого антигена, и вскоре Зильбер согласился с тем, что такая возможность существует.

В дискуссиях этих никогда не чувствовалось никакой личной неприязни. Да ее и не было, наоборот, и Шабад и Зильбер относились друг к другу с уважением и симпатией. Достаточно сказать, что, когда готовилось заседание, посвященное 60-летию Шаблада, с основным докладом, посвященным научной деятельности юбиляра, мы попросили выступить Зильбера. Он охотно согласился, и, разумеется, доклад

этот, как все его доклады, был блестящим.

Но Зильбер бывал и другим: резким и беспощадным в тех случаях, когда речь шла о плохих работах или псевдонаучных теориях. Своими выступлениями, всем своим обликом Зильбер повышал моральный уровень любого научного собрания, на котором он присутствовал. Приведу только один пример. В начале 50-х годов активно выступала группа экспериментаторов, которые утверждали, что при пересадке опухолевых клеток животному другого вида (гетеротрансплантации) эти клетки постепенно меняют видовую специфичность, например клетки опухоли мыши, пересаженные крысе, становятся крысиными и т. д. Этот удивительный результат трактовался как доказательство возможности «направленного перевоспитания» опухолевых клеток. Я не называю имен участников этих работ, так как вряд ли им самим хочется о них сейчас вспоминать.

В. Н. Степина, работавшая в лаборатории Зильбера, и я, работавший тогда в лаборатории Е. Е. Погосянц, независимо проверили эти утверждения экспериментально. Как и следовало ожидать, оказалось, что вывод о «перевоспитании» опухолей есть результат грубых методических ошибок, что чуда не происходит и опухолевые клетки при гетеротрансплантации сохраняют свою исходную специфичность. В 1956 г. на сессии Академии медицинских наук СССР, посвященной онкологии, мы доложили эти данные. Руководитель опытов по «перевоспитанию» также представил доклад, где настаивал на своих выводах, не приводя каких-либо новых аргументов и не опровергая наших результатов. Вместо этого в конце доклада он призвал нас к совместной работе: создадим комиссию и за лабораторным столом выясним, кто прав. Помню, я тогда несколько растерялся: не хотелось тратить еще многие месяцы на совместные опыты с людьми, которые отказываются признавать факты и хотят доказать свою правоту вопреки очевидному. Да и вопрос-то был уже по существу ясным, не представлявшим научного интереса. Вместе с тем, если отвергнуть публично призыв к совместным опытам, то кто-то может подумать, что мы их боимся. И здесь выступил Зильбер. Он разобрал вопрос по существу, а закончил словами: «Нет, мы не будем ставить с вами совместные опыты; у нас и у вас слишком разные критерии научной истины. Поэтому мы не можем с вами вместе

работать». Эта ремарка Зильбера навсегда закрыла дискуссию о «перевоспитании»; возобновить ее никто больше никогда не пытался.

Прошло уже больше тридцати лет после первых выступлений Зильбера по проблемам канцерогенеза. Разумеется, за это время некоторые теоретические положения и фактические данные оказались забытыми. Кто, например, теперь помнит об опытах с переносом фильтратами опухолей, вызванных канцерогенными веществами, которые в конце 40-х годов казались сильным аргументом в пользу вирусной теории опухолей. Сейчас мало кто будет продолжать настаивать на том, что вирусы — причина всех опухолей. Однако главные направления развития онкологии были намечены Зильбером удивительно верно: ведь вирусологические и иммунологические исследования заняли центральное место в изучении механизмов канцерогенеза. Именно исследования механизмов вирусной трансформации вывели онкологию на молекулярнобиологический уровень и привели к открытию онкогенов — наибольшему достижению теоретической онкологии, а может быть, и всей биологии за последние годы. Эти исследования столь быстро развиваются и столь плодотворны, что сейчас вряд ли кто-нибудь захочет устраивать дискуссии об общих путях развития онкологии, подобные дискуссиям 40—50-х годов. Впрочем, стремление предсказать будущее развитие своей области науки, конечно, будет существовать всегда, и поэтому успешный прогноз развития онкологии, сделанный Зильбером, и сегодня не может не вызывать восхищения.

Однако Зильбер оставил в онкологии не только память о своих предвидениях. Ведь он не только пророчествовал, но и организовал работу на угаданных им новых направлениях и, прежде всего, собрал людей для этой работы. Его романтический стиль, его воодушевление и стремление к крупным целям и здесь оказались очень плодотворными: они привлекли к нему много талантливых людей, и в том числе людей, сильно отличавшихся от него по складу, стремившихся к получению максимально детализированных фактов. Говоря об организации работы, Зильбер часто повторял, что в науке нашего времени «побеждают большие батальоны». Собранный им самим «батальон» оказался не только большим, но и отборным, и выступления Зильбера очень скоро перестали быть проповедями одиночки: они под-

креплялись многими докладами его сотрудников, насыщенными фактическими данными.

Школа Зильбера уже к концу 50-х годов стала одним из мировых центров исследований по вирусологии и иммунологии опухолей, в ней были сделаны и продолжают делаться многие первоклассные работы. Эта школа вскоре стала также замечательным методическим центром. Помню, каким техническим чудом казалось нам препаративное разделение клеточных компонентов на сепараторе, о котором рассказывал Г. И. Абелев на сессии АМН СССР в 1956 г. Сейчас, тридцать лет спустя, как и тогда, все мы ходим к «зильберовцам» учиться новым техникам: как готовить моноклональные антитела, как создавать библиотеки генов — да и мало ли еще чему, всего не перечислишь.

Студенты

(Из воспоминаний)

Л. А. Зильбер

По окончании Псковской губернской гимназии в 1912 г. я поступил на биологическое отделение физико-математического факультета С.-Петербургского университета, Тынянов¹ — на биологический факультет того же университета, а Летавет² — в Военно-медицинскую академию.

Поступление в университет вызвало окончательный разрыв с отцом. Профессиональный музыкант, прослуживший капельмейстером в 94-м пехотном Омском полку с 90-х годов прошлого столетия до Октябрьской революции и продолжавший

Коллективы, образующиеся вокруг ярких и активных исследователей, нередко быстро увядают и рассеиваются без следа после смерти вдохновлявшего их учителя. Со школой Зильбера этого не произошло. Сейчас, спустя 17 с лишним лет после смерти Зильбера, его школа продолжает существовать и развиваться, она ощущается всеми нами как нечто целостное со своим стилем. Стиль этот определить точно трудно, но, может быть, главное в том, что Лев Александрович сумел передать своим лучшим ученикам способность жить не только сегодняшними заботами, способность к «стратегическому научному поиску», как он сам любил выражаться. Выбор учеников и воспитание школы — наиболее успешный из замечательных стратегических поисков, задуманных и осуществленных им.

затем служить в той же должности в Красной Армии, он был свято убежден, что самое высокое призвание — это музыка, а самый лучший вид деятельности — военная служба. Уроженец Финляндии, так и не научившийся вполне правильно говорить и писать по-русски, он всегда утверждал, что самое важное в жизни — это порядок, что в Финляндии порядка больше, чем в России, и что идеальный порядок — в армии.

Много труда потратил отец, чтобы сделать из меня музыканта. Совсем малым часами играл я гаммы и другие упражнения на мокрой от слез скрипке. Когда мне было лет 10, отец повез меня в Петербург к знаменитому тогда профессору консерватории Ауэру. Ауэр прослушал адажио из концерта Чайковского и мазурку Венявского, которые я сыграл ему в страшном волнении, и сказал отцу, что возьмет меня в свой класс с осени. Для меня настали тяжелые дни. Я не хотел быть музыкантом и хотел продолжать учиться в гимназии. Отец, очень волевой человек,

Отрывок из воспоминаний, написанных в 1964—1965 гг. Хранится в семейном архиве. Публикация Л. Л. Киселева. Другие отрывки печатались в «Науке и жизни» (1966, № 12; 1974, № 3), сборнике «Прометей» (1968, № 5).

¹ Тынянов Юрий Николаевич (1894—1943) — русский советский писатель, литературовед, с юношеских лет друг Л. А. Зильбера.

² Летавет Август Андреевич (р. 1893) — советский гигиенист, академик АМН СССР, лауреат Ленинской и Государственной премий, альпинист, заслуженный мастер спорта, друг всей жизни Л. А. Зильбера.

всячески принуждал меня подчиниться его воле. В конце концов я разбил свою детскую скрипку. Это было страшным преступлением в глазах отца. Он всю жизнь коллекционировал скрипки, сам их ремонтировал, составлял из кусочков разных скрипок новые, покрывал их какими-то особыми лаками, и для него не было более приятного занятия. Не знаю, чем бы все это кончилось, если бы не заступничество матери. Будучи сама хорошей пианисткой, долгое время дававшей уроки игры на рояле, а позже театральным администратором и владелицей «Депо роялей и пианино», она, видимо, была совсем другого мнения о моих музыкальных дарованиях, чем отец, и решительно стала на мою сторону в войне с ним. Меня не отвезли осенью в консерваторию, и я продолжал учиться в гимназии.

Когда я кончал гимназию, и в семье обсуждался вопрос о дальнейшем образовании, отец в самой категорической форме настаивал, чтобы я подавал документы в Военно-медицинскую академию. Чтобы облегчить мое поступление в эту академию, он послал заявление военному министру с просьбой принять меня вне конкурса, принимая во внимание его беспорочную многолетнюю службу в армии, отмеченную многими наградами. Я, однако, подал в университет и был принят. Отец прекратил со мной всякую связь, и мы помирились только много лет спустя, когда он был уже глубоким стариком.

В Петербурге сначала жилось трудно. Мать могла бы немного помогать мне, но в семье было твердое правило — не принимать никакой помощи от родителей после окончания гимназии. Матери разрешалось присылать табак и гильзы (это было дешевле, чем покупать готовые папиросы), иногда дарить ботинки, кое-какое белье. Бывали дни, когда обедать было не на что. Тогда можно было взять в студенческой столовой стакан молока за 2 копейки и съесть, запивая молоком, фунт-другой пышного ситного, который стоял на каждом столе, нарезанный крупными кусками в неограниченном количестве.

На второй год пребывания в университете я, в связи с хорошими успехами, получил стипендию около 200 рублей в год. Можно было бросить уроки и сесть в лабораторию. Я начал работать в гистологической лаборатории профессора А. С. Догеля³ под непосредственным руководством его тогдашнего ассистента Немилова.

Состав профессуры того времени на всех факультетах был блестящий. За не-



Л. А. Зильбер. 1914 г.

большими исключениями это были крупные ученые с европейскими именами. Посещение лекций не было обязательным, и профессор другого уровня не собирал аудитории, и курс не мог состояться. Мне выпало счастье учиться химии у Чугаева⁴, биологии — у Шимкевича⁵, физиологии — у Введенского⁶, геологии — у Иностранцева⁷, гистологии — у Догеля. Некоторые

³ Догель Александр Станиславович (1852—1922) — русский гистолог, член Петербургской Академии наук (1894), известен трудами по морфологии интерорецепторов.

⁴ Чугаев Лев Александрович (1873—1922) — русский химик, основатель отечественной школы по химии комплексных соединений, лауреат Премии им. В. И. Ленина (1927).

⁵ Шимкевич Владимир Михайлович (1858—1923) — русский зоолог, академик Российской Академии наук (1920), пропагандист и теоретик эволюционного учения.

⁶ Введенский Николай Евгеньевич (1852—1922) — русский физиолог, основатель научной школы, член-корреспондент Петербургской Академии наук (1908).

⁷ Иностранцев Александр Александрович (1843—1919), русский геолог, член-корреспондент Петербургской Академии наук (1901), автор трудов по геологии Европейского Севера России.

курсы собирали студентов всех факультетов. Петражицкий⁸ читал курс «Философия права» на юридическом факультете. Про него говорили, что он думает по-польски, пишет по-немецки и читает по-русски. Его лекции были столь богаты разнообразным материалом и столь интересны, что ему приходилось читать в Актовом зале, ибо ни одна университетская аудитория не могла вместить всех желающих. Мы слушали также Шляпкина⁹ и Бодуэна де Куртенэ¹⁰ у филологов, Платонова¹¹ — у историков и многих других.

Коридор был местом дискуссий. О чем мы только там не дискутировали! О литературе и искусстве, о науке и философии, о любви и поэзии, о форме студенческих организаций и допустимости для них пользоваться благотворительными суммами, о качествах и недостатках читаемых нам лекций и о многом другом. Но больше всего дискутировались политические вопросы. В подавляющей массе студенчество того времени было демократичным, и ненависть к царизму объединяла самые широкие круги тогдашней молодежи. Но были и небольшие монархические группы. Принадлежащих к ним студентов нетрудно было узнать даже по внешнему виду. Они всегда были хорошо одеты, чаще всего в студенческих сюртуках, в торжественных случаях при шпагах, здоровые парни с выхоленными лицами. Иногда они пытались агитировать, особенно новичков из далеких губерний, и тут завязывались дискуссии, едва не кончавшиеся дракой.

Петербургский университет реагировал на все крупные политические события того времени...

Крупные волнения были в университете, когда был объявлен первый студенческий призыв во время войны. Была созвана в Актовом зале общестуденческая

сходка (всех факультетов). Зал был переполнен, вероятно, собралось около двух тысяч человек. Ректор университета профессор Гримм выступил с большой речью. Он говорил, что эта война — за родину, за отечество, за демократию, что все партии, в том числе и социалистические, поддерживают правительство и т. п. Ему не дали продолжать, среди шума и свиста он сошел с кафедры. Начались выступления студентов. Говорили студенты, связанные с подпольными революционными организациями. Одни из них говорили, что эта война грабительская, что она не нужна народу и что студенты не должны в ней участвовать, другие, что родину надо защищать, но не царскую Россию, а Россию демократическую. Те и другие резко выступали против самодержавия и призывали к революции. На сходке присутствовали и студенты-монархисты. Много раз они пытались прерывать ораторов, кричали, свистели. Наконец, они запели «Боже, царя храни». Их было человек 200, но хор оказался могучим и говорить уже было невозможно. Тогда мы образовали, сцепив крепко руки, двуслойную стену и стали выдавливать их из зала в коридор. В дверях завязалась драка. В этот момент из коридора раздался громкий крик. Кто-то с грузинским акцентом кричал: «Товарищи! В университете полиция! Хватайте фараонов за винтовки!» Когда вместе со многими я выскочил в коридор, я увидел шеренгу приставов в светлых серых шинелях, при шашках, за ними двигалась линия городских в черных шинелях с винтовками в руках. Они пытались преградить дорогу студентам и загнать всех обратно в Актовый зал. Но из этого ничего не вышло. Масса студентов прорвала стену околочных и полицейских и пробилась в свободное пространство коридора. Совет грузина оказался очень полезным. Студенческие руки хватались за полицейские винтовки и сдвигали в сторону их вместе с городскими, которые их крепко держали, а в это время другие студенты пробегали мимо. Однако всем бывшим на сходке выйти из зала не удалось. Там осталось несколько десятков студентов, и полиция начала проверять их документы. Среди них был и Тынянов.

В коридоре остались многие сотни студентов, бурно обсуждавшие происшедшее. Через некоторое время мы увидели выходящего из зала студента, которого вели двое городских. Конечно, с ним заговорили, и выяснилось, что его ведут в шинельную, чтобы взять матрикул, который он

⁸ Петражицкий Лев Иосифович (1867—1931) — русский юрист, один из основателей буржуазной психологической школы права.

⁹ Шляпкин Илья Александрович (1858—1913) — историк литературы, в том числе древнерусской, издатель полного собрания сочинений А. С. Грибоедова (1889).

¹⁰ Бодуэн де Куртенэ Иван Александрович (1845—1929) — русский и польский языковед, член Петербургской Академии наук (1897), оказал большое влияние на развитие общего языкознания.

¹¹ Платонов Сергей Федорович (1860—1933) — русский историк, академик Российской Академии наук (1920); председатель Археографической комиссии (1918—1929).



Л. А. Зильбер (в центре) с Ю. Н. Тынниковым (слева) и братом В. А. Кавериним. Конец 30-х годов.

оставил в пальто. Матрикулом называлась тогда студенческая книжка, по которой нас пропускали в университет, в ней регистрировалась сдача экзаменов, зачетов и т. п. Сразу созрел план освобождения товарищей, арест которых мог привести к тяжелым последствиям. Им передали в зал, чтобы они говорили, что матрикулы в пальто. На пути их следования в толпе очищали свободное узкое пространство длиной в 10—15 шагов и, когда студент с городовыми подходил к нему, его вталкивали в это пространство, он пробегал несколько шагов, и толпа сзади него смыкалась, и городовые уже не могли найти его.

Так удалось освободить несколько человек. Приехал полицеймейстер Петербурга и распорядился очистить коридор. Приставы и околоточные искали убежавших студентов, студенты-монархисты помогали им. Кто-то из них указал на меня. Я побежал по уже значительно опустевшему коридору, выбежал на лестницу и влетел на кафедру Догеля, где я тогда уже рабо-

тал. Кто-то за мной гнался. В первой же комнате за столом сидел доцент Немилов. Он сразу же показал мне на стул против себя. Я плюхнулся на него, и Немилов придвинул мне свой стакан чаю. В этот момент появился пристав.

— Сюда убежал студент. Где он?

— Здесь нет никого постороннего. Вероятно, он побежал на третий этаж. Ищите скорее.

Немилов говорил очень спокойно, барабанил пальцами по столу. Я сидел спиной к приставу, боясь выдать себя частым дыханием. Пристав вышел, и было слышно, как он побежал по коридору вверх.

У профессора Александра Станиславовича Догеля, который возглавлял кафедру гистологии, было три ассистента. Дейнега, Немилов и самый молодой был Заварзин.¹² Все они стали крупными учеными и оставили значительный след в науке. Заварзин недавно вернулся из научной командировки в Германию. Веселый, жизнерадостный,

¹² Заварзин Алексей Алексеевич (1886—1945), советский гистолог, создатель научной школы, академик АН и АМН СССР, один из основателей эволюционной гистологии.

шумный, с большим чувством юмора, он очень комично рассказывал о немецких нравах, осмеивая стремление немцев казаться более трудолюбивыми, более точными, более умными и более добродетельными, чем они были, по его мнению, на самом деле. Последнее относилось, конечно, к немецким девушкам и, по-видимому, базировалось на некотором личном опыте.

Немилов был старше и сдержаннее. Он читал необязательный курс о железах внутренней секреции, и его лекции собирали полную аудиторию.

Еще сдержаннее был высокий усатый Дейнега. Под его непосредственным руководством я начал изучать маленькую железу, которая лежит в разветвлении сонных артерий и функция которой была неизвестна.

Все они очень хорошо относились к молодежи — внимательно, доброжелательно, снисходительно. На кафедре работало 3 студента. Ее обслуживали 2 служителя (Василий большой и Василий малый) и уборщица. Но когда произошло описываемое происшествие, в лаборатории никого не было.

Когда пристав исчез и в коридоре стало тихо, я хотел уйти. Немилов не пустил меня. Он взял мой номерок, запер меня в лаборатории и принес мне пальто. Мы еще долго сидели с ним. Он рассказывал мне изумлявшие меня факты о поразительной координации деятельности желез внутренней секреции и в заключение дал мне толстую книгу на немецком языке, посвященную описанию работы этих желез.

— Вы читаете по-немецки?

— Очень плохо, и сожалению.

— Вот и учитесь по этой книге. Даю ее Вам до осени.

Мы вышли вместе. Было уже около восьми часов. Только перейдя Неву и убедившись, что все благополучно, он оставил меня.

На следующий день, придя в университет, я узнал печальные новости. Шесть студентов арестовано, им грозит военный суд. Несколько десятков студентов, переписанных в Актовом зале, исключено из университета. Среди них Тынянов.

Университет бурлил. Часам к 12 появились прокламации, призывающие к забастовке до тех пор, пока не будут освобождены арестованные и не приняты исключенные. Ни одна лекция не состоялась. Делегация студентов пошла к ректору.

Профессор Гримм был очень вежлив и очень тверд. До тех пор пока не прекра-

тится забастовка и не возобновятся занятия, не может быть никаких разговоров о восстановлении исключенных и освобождении арестованных; продолжая забастовку, студенты только отягчают положение своих товарищей.

Через несколько дней стало известно, что арестованных студентов не отдали под суд, а выслали в Вологодскую губернию.

Дело о восстановлении исключенных студентов затянулось, их восстановили через месяц — полтора. Тынянов к своему исключению отнесся равнодушно. Он работал в библиотеках и спокойно ждал, чем все кончится.

Жизнь наша в Петербурге была очень содержательной, интересной. Поразительно, что на все хватало времени. И учились мы хорошо, и читали много, и ходили в театры и на всевозможные диспуты и вечера, и много занимались студенческой общественной работой. Всю последующую жизнь... я страдал от недостатка времени, порой острого. Ну а тогда огорчителен был только хронический недостаток денег, даже не самое необходимое.

В Петербургском Народном доме было 300 бесплатных мест. Там бывали оперные спектакли с участием Шаляпина, Липковской и многих других тогдашних знаменитостей. Конечно, на эти 300 мест претендовали тысячи, главным образом студентов. Запись в очередь устанавливалась за 10—14 дней с двойной проверкой в течение суток, а последние сутки стояла живая очередь. Эти триста мест были на третьем или четвертом этаже, и когда перед спектаклем нас впускали в здание, нужно было бежать наверх сломя голову, чтобы поскорее занять лучшие передние места для себя и своих друзей. Была разработана специальная система, как бежать по лестнице вдвоем, втроем, вчетвером, чтобы не мешать друг другу и занять возможно большее количество мест. Все это было очень весело, а то, что мы видели, вознаграждало за все трудности.

На всю жизнь запомнился мне Шаляпин в «Мефистофеле» Бойто, когда он, появившись где-то в глубине сцены маленьким невзрачным чертом, вырастает с каждым шагом, двигаясь к рампе, и превращается в могучего дьявола, презирающего и мир, и людей. Его голос покрывал оркестр.

Мы обожали Липковскую, особенно ее Розину в «Севильском цирюльнике» — очаровательную, шаловливую, ее изумительный по чистоте и звучанию голос. У нас не было денег на цветы, но всегда, когда

удавалось попасть в оперу с ее участием, мы ждали ее у выхода из театра для артистов, встречали аплодисментами и на руках несли до экипажа.

Мы очень любили Театр музыкальной драмы. Этот театр, как мне кажется, был интересной попыткой использовать в опере принципы, положенные в основу создания Художественного театра в Москве. Режиссеры этого театра стремились освободиться от всего условного, что есть в каждой опере, от всей «вампюки», которой были весьма богаты в то время особенно провинциальные постановки, и создать подлинно реалистические спектакли, в которых жили и действовали живые люди.

Все это и прекрасные певцы — как солисты, так и ансамбли — создавало необычайную убедительность исполнения, и мы вместе с Германом начинали верить, что «наша жизнь — игра» и вместе с Гремминым, что «любви все возрасты покорны». Впрочем, последнее не вызывало у нас сомнений и без Театра музыкальной драмы.

В Петроградском университете училось много студентов псковичей. Они, как и студенты из других городов, образовывали объединения, которые назывались землячествами. Основная задача землячества заключалась в помощи нуждающимся студентам. Почти единственным источником средств для этого служили вечера, концерты и балы, которые устраивались отдельными землячествами (или их группами) в родных городах и Петрограде.

На вечерах устраивались различные аттракционы, лотереи-аллегри, киоски с продажей вин, шампанского и т. д. Отчет о каждом таком вечере нужно было представлять в соответствующее казенное учреждение. Перед началом вечера вертящийся ящик с билетами лотереи-аллегри запечатывался полицейским приставом, который предварительно сосчитывал билеты с выигрышами и пустые. На каждый выигрышный разрешалось иметь не более 10 пустых. У нас были, однако, расходы, которые нельзя было показывать в отчете. С каждого вечера шли отчисления на рабочую печать, революционные организации и т. п. Поэтому было необходимо значительно увеличить количество пустых билетов и тем самым доходность лотереи. Делалось это так. Студент, одетый не в студенческую форму, подходил к ящику, чтобы купить себе несколько билетов. Он размешивал правой рукой билеты в ящике, как бы выбирая желаемый, и в этот момент он выбрасывал левой рукой пачку пустых билетов из-под левого борта пиджака.

Я достиг большого совершенства в этих манипуляциях и, проделывая их многократно, никогда не попадался...

Весной 1915 г. у меня были сданы экзамены за все 4 курса естественного отделения физико-математического факультета. Четырехлетний курс за 3 года — это было неплохо. Но нужно было решать, что делать дальше.

Я решил осуществить свое давнее желание и перевестись на медицинский факультет. Этот перевод могло разрешить только Министерство народного просвещения. После соответствующего ходатайства я получил разрешение перевестись на медицинский факультет Томского университета.

Однако денег на билет до Томска у меня не хватало, а летом занять ни у кого не было возможности. Все годы в Петрограде золотая гимназическая медаль Летавета служила нам оборотным капиталом. За нее давали в ломбарде 25 рублей — месячный прожиточный минимум — и мы закладывали ее много раз.

Но Летавет уже учился в Московском университете, куда он поступил после разгрома Военно-медицинской академии, и я решил ехать сначала до Москвы, надеясь подработать там денег на билет до Томска. Думал ли я тогда, что «подрабатывать» мне придется десятки лет!

ПУБЛИКАЦИИ Л. А. ЗИЛЬБЕРА В «ПРИРОДЕ»

ОБ ИЗУЧЕНИИ ПРИРОДЫ РАКА. 1955, № 4.

НА VII МЕЖДУНАРОДНОМ РАКОВОМ КОНГРЕССЕ. 1958, № 12.

ВИРУСЫ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ РАКА. 1962, № 11.

СТРАТЕГИЯ НАУЧНОГО ПОИСКА. 1969, № 10.

План физического исследования поверхности Луны 1873 года

Ю. Г. Шкуратов,
кандидат физико-математических
наук

Астрономическая обсерватория Харьковского
государственного университета им. А. М. Горького

Л. Я. Мелкумова

Институт радиофизики и электроники АН УССР
Харьков

8 (20) марта 1873 г. на заседании Русского физического общества был доложен план физического исследования поверхности Луны, составленный основателем и первым председателем Общества, профессором Санкт-Петербургского университета Федором Фомичом Петрушевским¹. В этот день на заседании присутствовали 16 членов общества, а место председателя занимал Д. И. Менделеев. Доклад был принят с большим интересом, о чем свидетельствуют краткие протоколы Общества. Что же необычного было в докладе Петрушевского?

Русское физическое общество существовало только второй год. Оно впервые в России объединило наиболее прогрессивную часть физиков, а также влиятельных лиц, интересующихся физикой, и стало на общественные средства издавать физическую часть «Журнала Русского Физико-Химического Общества», из которого в 1931 г. выделился «Журнал экспериментальной и теоретической физики» (ЖЭТФ). Идея создания в России такого общества, видимо, зрела давно. Об этом свидетельствует энтузиазм, с которым небольшая группа людей включилась в его работу. «Интерес здешнего ученого сосло-

История науки полезна уже по одному тому, что она освобождает от необходимости вторично изображать и обдумывать то, что уже было открыто и изобретено другими.

Ф. Ф. Петрушевский

вия к занятиям физикой совсем не так слаб, как думали многие незадолго до основания нашего Общества; эта мысль, оказавшаяся ошибочной, была причиной... того обстоятельства, что Физическое Общество не составилось несколькими годами ранее ...»²

Общество заседало ежемесячно, иногда чаще, и заслушивало 1—3 доклада. Обычно это были небольшие работы, посвященные довольно частным вопросам. Например, на том же заседании, 8 марта 1873 г., Д. И. Менделеев рассказал о созданном им дифференциальном барометре, а некто Бобылев заканчивал сообщение об относительном притяжении наэлектризованных шаров. План физического исследования лунной поверхности Петрушевского был первым докладом на заседании Общества, в котором выдвигалась научная программа исследований, рассчитанная на много лет. Таким образом, этот доклад был полезен не только для постановки конкретных исследований Луны, но и имел большое значение для формирования стиля и научного уровня молодого общества, воспитавшего впоследствии крупнейших русских физиков (О. Д. Хвольсона, А. И. Садовского и многих других).

¹ Петрушевский Ф. Ф. План физического исследования поверхности Луны. — Журнал Русского Физико-Химического Общества (ЖРФХО), 1873, т. 5, вып. 5, с. 219—238.

² Отчет председателя Общества о деятельности Физического Общества в 1872—1873 гг. — Там же, 1874, т. 6, вып. 1, с. 13—14.

Подробности плана Петрушевского мало известны даже специалистам. В то же время, как будет видно из дальнейшего, этот документ заслуживает внимания.

Если попытаться кратко сформулировать основное содержание доклада Петрушевского и оценить его современную значимость, то не будет преувеличением сказать, что это истоки программ тех исследований, которые велись и ныне ведутся селенологами методами дистанционного оптического анализа. Более того, в некоторых направлениях этот план все еще далек от завершения и в наше время.

Изложение плана начинается с анализа загадочной истории, связанной с исчезновением кратера Линней. «Астрономы были чрезвычайно заинтересованы известием, полученным в 1866 г. из афинской обсерватории; ее директор Шмидт высказал предположение, что лунный кратер, которому Бер и Медлер дали название Линней, исчез. Если бы это исчезновение оправдалось, то наука приобрела бы важное сведение о действии вулканических сил на Луне».

Анализируя имеющиеся наблюдательные материалы, Петрушевский приходит к выводу об ошибочности сообщения Шмидта (не лишне здесь заметить, что кратер Линней до сих пор благополучно существует!), указывая, однако, что проблема нестационарных явлений на Луне отнюдь не закрыта окончательно: «Остается только подготовить возможность заключений о вулканических силах Луны в будущем, тщательно изучая поверхность Луны во всех отношениях»³.

Петрушевский, конечно, не был первым, кто обсуждал вопрос о современном лунном вулканизме; исследования возможных явлений такого рода начались давно и до сих пор не утратили своего значения. У Петрушевского привлекает скептицизм, основанный на строгом анализе только научно достоверных фактов. Этой сдержанности недостает в настоящее время при продолжении исследований нестационарных явлений на лунной поверхности. Очень заманчиво, например, едва видимые тонкие радужные канты вокруг наиболее контрастных деталей, обусловленные атмосферной дисперсией (особенно когда Луна низко над горизонтом), принять за извержение вулкана или другое явление, происходящее на этом небесном теле.

Существуют ли вообще нестационарные явления на поверхности Луны? Вспомним сенсационные спектрограммы кратера Альфонс, полученные в ночь со 2 на 3 ноября 1958 г. известными советскими астрофизиками Н. А. Козыревым и В. И. Езерским в Крымской астрофизической обсерватории. Из этих данных как будто бы следует положительный ответ на поставленный вопрос: в момент съемки происходило извержение (выброс газов) в центральной горке кратера. К сожалению, никаких других аналогичных данных до сих пор нет.

Но вернемся к плану Петрушевского. Его дальнейшее содержание касается исследований спектрофотометрических, поляризационных, тепловых, даже магнитных и электрических характеристик лунной поверхности доступными средствами с целью, выражаясь современным языком, получения информации о происхождении и эволюции Луны. Пожалуй, именно у Петрушевского впервые четко прозвучала мысль о том, что с помощью исследований характеристик света, рассеянного лунной поверхностью, можно попытаться определить физические параметры грунта. В качестве реперов Петрушевский предлагал использовать измерения оптических характеристик земных пород. «Все исследования Луны, которых подробности едва намечены в настоящем плане, получают особую важность, когда будут исследованы земные тела по той же программе... Следует продолжать подобные исследования над горными породами, как такими, каковыми они являются на поверхности Земли, т. е. покрытые лишаями, окислами железа и других металлов, так и обнаженными»⁴. Не истоки ли это сравнительной планетологии?

В нашем столетии, в докосмическую эпоху, эту идею можно проследить практически во всех работах, касающихся оптики Луны. Большими энтузиастами сравнительного анализа оптических свойств Луны и земных пород были наши крупнейшие планетологи В. В. Шаронов, Н. П. Барабашов, Ю. Н. Липский и др. Этот анализ позволил в общем правильно предсказать состав и структурные особенности поверхностного слоя лунного грунта, что было подтверждено исследованиями Луны с помощью космических аппаратов.

Остановимся на некоторых наиболее интересных моментах плана физического исследования Луны 1873 г.

³ Петрушевский Ф. Ф. План физического исследования поверхности Луны, с. 220.

⁴ Там же, с. 230.



Федор Фомич Петрушевский.
24.III (5.IV) 1828 — 17.II (4.III) 1904.
Фотография 1870-х годов. Публикуется впервые.

Петрушевский понимал большую важность спектральных наблюдений Луны; собственно, в развертывании систематических исследований ее поверхности со спектроскопом и состояла одна из главных идей его плана. Для выполнения наблюдений Петрушевский, понимая тонкость задачи, разработал оригинальный спектроскоп, позволяющий сравнивать спектры участков Луны со спектром всей Луны. Это должно было позволить визуально улавливать слабые различия спектров разных участков поверхности. Видимо, уже в то время Петрушевский имел некоторый опыт спектральных наблюдений Луны. «Вид спектров,— писал он,— представлял столько разнообразия, что не оставалось никакого сомнения относительно различия

в цветах различных частей Луны, заслуживающего полного внимания и специального изучения»⁵.

Серьезные исследования спектральных (цветовых) характеристик Луны начались лишь в 60—70 годах нашего столетия в связи с подготовкой и реализацией космических полетов к Луне советских автоматических межпланетных станций серии «Луна» и американских экспедиций «Аполлон». Общая идеология современных спектральных исследований Луны состоит в сопоставлении спектров изучаемого района со спектром какого-либо района, принятого за стандарт, или... спектром всей Луны. Мы видим, что метод Петрушевского был применен спустя почти 100 лет.

Научная интуиция не обманула Петрушевского. Изучение цветовых различий участков лунной поверхности дали для селенологии очень много. В частности, оптическая классификация лунных базальтов, выполненная на основе спектральных исследований, показала, что в земные лаборатории попали отнюдь не все виды пород, существующие на лунной поверхности⁶. На основе оптических измерений Луны, лабораторных исследований образцов лунного грунта и некоторых других данных в настоящее время удалось разработать специальную методику прогнозирования химико-минералогического состава любой части лунной поверхности и тем самым открыть возможность более обоснованного выбора районов будущих посадок космических аппаратов на Луну.

Много места в плане физического исследования лунной поверхности 1873 г. уделено задачам поляриметрии. «Исследования небесных тел поляризатором составляет новый отдел оптических наблюдений, которые мало были прилагаемы к исследованию поверхности Луны... Вообще же исследования поляризации лунного света весьма ограничены»⁷.

Здесь мы подходим, на наш взгляд, к наиболее драматичной части плана Петрушевского. Дело в том, что слова, написанные им 110 лет назад, совершенно справедливы и сейчас: поляризационные

⁵ Петрушевский Ф. Ф. Заметки о лунном спектрофотометре.— ЖРФХО, 1873, т. 5, вып. 8, с. 401.

⁶ Pieters C. Mare basalt types on the front side of the Moon: a summary of spectral reflectance data.— In: Proc. Lunar Sci. Conf. 9—th. Houston, 1978, p. 2825.

⁷ Петрушевский Ф. Ф. План физического исследования поверхности Луны, с. 227.

исследования Луны в сравнении с исследованиями другими методами и сейчас «весьма ограничены». А главное, до сих пор полностью не ясна роль поляриметрии как метода дистанционной оптической диагностики лунного вещества.

Вот как сам Петрушевский определял задачи лунной поляриметрии: «Цель исследования света Луны полярископами заключается в следующем: напряженность поляризованного света может дать некоторое понятие о зеркальности или кристалличности рассматриваемой местности. Определяя при различных высотах Солнца количество поляризованного света для какой-нибудь местности, удастся, может быть, найти угол если не полный, то наибольшей поляризации для некоторой местности. Так как есть связь между поляризацией и преломлением света, хотя бы и непрозрачного тела, а также известны указания на соотношение показателя преломления света и плотности тел, то, может, исследования поляризованного света позволят открыть новый признак тел на поверхности Луны. Помимо этой отдаленной цели, количество отраженного и поляризованного света некоторой поверхностью само по себе представляет положительный признак, так что польза собирания материалов относительно распределения поляризации света на Луне не подлежит сомнению»⁸.

Сейчас хорошо известно, как степень поляризации света, отраженного лунной поверхностью, зависит от угла фазы. Действительно, как и предполагал Петрушевский, при некотором угле (95—110°) поляризация достигает максимума. Установлено также, что положение этого максимума несколько различно для разных участков Луны. Как правило, темные морские области лунной поверхности по сравнению с материковыми имеют большой угол, при котором достигается максимум, но воспользоваться этой зависимостью для оценки коэффициента преломления частиц грунта еще никому не удалось. Известно также, что величина максимума поляризации $P_{\max}$ сильно изменяется по лунной поверхности и при этом тесно коррелирует с альбедо q наблюдаемых областей. Установлено, что эта зависимость описывается соотношением $\lg q + C_1 \lg P_{\max} = C_2$, где C_1 и C_2 — приближенно постоянные величины. Эта корреляция является выражением эффекта Умова. Он описан Н. А. Умовым в на-

чале нашего столетия, но в общих чертах уже был известен современникам Петрушевского (возможно, самому Петрушевскому) в середине прошлого столетия.

Для Луны характерно то, что корреляция величин q и $P_{\max}$ оказалась очень тесной. До недавнего времени не было даже ясно, чем обусловлен разброс точек на этой зависимости: ошибками измерений или некоторыми тонкими физическими причинами. В связи с этим в научной литературе появились скептические высказывания в отношении целесообразности изучения величин $P_{\max}$, возникло некоторое разочарование в поляриметрии как в эффективном методе дистанционного исследования Луны. Лишь недавно удалось доказать, что разброс точек не связан с ошибками (точнее, связан не только с ошибками), что он как раз и является главной целью поляризационных исследований Луны при больших фазовых углах⁹. Когда это было понято, появились теоретические работы, в которых намечены пути, позволяющие связать данные измерений $P_{\max}$ с микроструктурными свойствами лунного грунта и величиной коэффициента преломления частиц. Подчеркнем, что все это сделано лишь спустя почти 110 лет после того, как идея была высказана.

В своем плане Петрушевский касался также вопроса исследований инфракрасного излучения лунной поверхности. «Есть еще один деятель, о котором мы можно судить на большом расстоянии, — это теплота... Исследование теплоты Луны по частям никогда не было сделано за недостаточную чувствительность наших термомультипликаторов; при настоящем положении этой части физики решение вопросов, касающихся Луны, вполне принадлежит будущему»¹⁰.

Только в середине 60-х годов нашего столетия были получены надежные карты тепловых свойств лунной поверхности¹¹. Скорость остывания поверхностного слоя грунта сильно зависит от его плотности. Таким образом, «исследование теплоты грунта по частям» во время затмений дало в руки селенологов важнейшую информацию о вариациях по поверхности Луны степени раздробленности грунта.

⁹ Шкуратов Ю. Г. — Астрон. ж., 1981, т. 58, с. 862.

¹⁰ Петрушевский Ф. Ф. План физического исследования поверхности Луны, с. 225.

¹¹ Saari J. M., Shorthill R. W. Isothermal and isophotic atlas of the Moon contours through lunation. — NASA, CR-855, 1967.

Делая краткий очерк плана Петрушевского, мы проводили параллели с современным состоянием вопроса, и каждый раз оказывалось, что развитие этого плана относится в основном к современному периоду исследований Луны. Это связано с тем, что только сейчас появились технические средства, позволяющие выполнить как дискретные, так и глобальные (картографические) исследования физических, а на их основе химико-минералогических характеристик лунной поверхности с достаточной точностью.

Сказанное не означает, что ранее никто не интересовался планом Петрушевского. В работах В. В. Шаронова 1950—1960 годов можно встретить ссылки на этот план и его высокую оценку: «Особенно большой интерес представляют сочинения профессора Петербургского университета Ф. Ф. Петрушевского, в которых на примере Луны впервые выдвигается и обосновывается идея исследования природы покрова несамосветящегося небесного тела путем параллельного сопоставления с земными образцами по нескольким оптическим характеристикам одновременно»¹². Мы видим, что в какой-то мере развитие оптических исследований Луны и ранее следовало плану Петрушевского; тем не менее основные детали этого плана оставались малоизвестными. Неизвестно также, почему Петрушевскому не удалось хотя бы частично реализовать свои замыслы. Читаем у Шаронова: «Ф. Ф. Петрушевский... вложил много энергии и труда в дело организации работы по предложенному им плану, однако осуществить задуманные мероприятия ему все же не удалось, по-видимому, вследствие неблагоприятных условий для научной работы»¹³. У нас также нет полного ответа на этот вопрос. Удалось найти только некоторые факты, которые лишь частично проясняют дело.

Как уже было сказано, план физического исследования поверхности Луны был с одобрением воспринят коллегами Петрушевского. Было даже объявлено, что один из членов Общества, Бобылев, «изъявил желание принять на себя часть работ». На том же заседании Общество решает предпринять практические шаги в этом направлении, обратившись к частной благотворительности. Выбор такого пути можно объяснить тем, что в то время в Петербург-

ском университете не было обсерватории, а заинтересовать пулковских астрономов разработанным планом не представлялось, по всей видимости, возможным.

Петрушевский предложил «обратиться письменно от имени Общества к г. Базилевскому, владельцу ... частной обсерватории, находящейся в С.-Петербурге, изложить ему проект предполагаемых исследований Луны и предложить ввести в круг деятельности его обсерватории все вопросы, касающиеся упомянутого исследования»¹⁴.

Иван Федорович Базилевский был известным золотопромышленником и откупщиком, много жертвовавшим на благотворительные предприятия всякого рода. Он с восторгом откликнулся на предложение, прислав Обществу два казначейских билета по 1000 рублей каждый в основание капитала будущей обсерватории. Было решено создать комиссию из членов Общества по оборудованию будущей обсерватории, физического и химического кабинетов и фотолаборатории при ней. А Базилевский на ближайшем заседании был избран первым почетным членом Общества, на что он отреагировал тем, что незамедлительно прислал 1500 рублей, но уже на нужды Общества.

Отношения между Обществом, которое представлял Петрушевский, и Базилевским оставались хорошими и в последующие 1874 и 1875 гг. Базилевский ежегодно жертвует физическому обществу значительные суммы, а в мае 1874 г. присылает специально 4000 рублей на устройство некоторых астрофизических и оптических приборов по программе Петрушевского.

В мае 1875 г. для «Астро-Физической обсерватории» (так ее называет Петрушевский, не первое ли это название такого рода?) куплено уже многое: есть рефрактор с диаметром 17,6 см и фокусом 2,59 м, хронометры, спектрофотометры, фотометр. Не дожидаясь окончания постройки обсерватории, Петрушевский приспособляет небольшой рефрактор физического кабинета университета к предварительным спектральным наблюдениям Луны. Несколько ранее был разработан прибор, который Петрушевский называет спектрофотометром, «предназначенный для спектрального и фотометрического исследования лучей, отраженных рассеянно, не зеркально, поверхностями различных тел при всяких углах падения солнечных

¹² Шаронов В. В. Природа планет. М., 1958, с. 18.

¹³ Там же, с. 360.

¹⁴ Отчет председателя Общества о деятельности Физического Общества в 1872—1873 гг., с. 191.

лучей на эти поверхности»¹⁵. Этот оригинальной конструкции прибор предназначался для выполнения работ, связанных с проектом исследования поверхности Луны и образцов земных пород.

Но вот в сентябре 1875 г. Федор Фомич Петрушевский делает на заседании следующее сообщение: «Многие члены Физического Общества обращались ко мне с вопросами: в каком состоянии находится астрономическая обсерватория почетного члена общества И. Ф. Базилевского, а также другие учреждения, которые он намеревался устроить при обсерватории. В ответ на эти вопросы я могу заявить, что И. Ф. Базилевский решил привести ныне же к окончанию устройства астрономической башни по тому плану, который он имел до своих сношений с Физическим Обществом»¹⁶.

Фактически все надежды на быстрое воплощение своего плана после этого Петрушевский должен был оставить. Что заставило Базилевского отказаться от проекта, принимаемого им ранее с таким восторгом, можно только гадать.

О Федоре Фомиче Петрушевском написано очень немного — две сравнительно небольшие заметки, помещенные в спе-

циальных журналах¹⁷. Отсутствие подробной научной биографии, а также малая известность и явная недооценка его плана физического исследования поверхности Луны привели к следующему вызывающему сожаление факту. В конце 60-х годов одному из кратеров обратной стороны Луны было предложено присвоить имя Ф. Ф. Петрушевского. В СССР была составлена карта, на которой этот кратер значился. Об этом пишет внук Ф. Ф. Петрушевского — доктор геолого-минералогических наук Б. А. Петрушевский¹⁸. Однако после утверждения номенклатуры в Международном астрономическом союзе кратера с таким именем на Луне не оказалось.

«Нет сомнения, что в будущем полностью опишется все сделанное Петрушевским для развития отечественной физики»¹⁹. Эта фраза, принадлежащая В. Л. Ченакалу, написана в 1948 г. И до сих пор жизнь и научная деятельность Ф. Ф. Петрушевского ждет своего исследователя.

¹⁵ Протокол заседания Физического Общества. — ЖРФХО, 1874, т. 6, вып. 8, с. 135.

¹⁶ Протокол заседания Физического Общества. — ЖРФХО, 1875, т. 7, вып. 7, с. 161.

¹⁷ Ченакал В. Л. Федор Фомич Петрушевский и его работы по оптике и цветоведению. — Усп. физ. наук, 1948, т. 36, вып. 2; Русаков В. П. Петрушевский Ф. Ф. — Учен. зап. Моск. обл. педин-та, 1951, т. 18, вып. 2.

¹⁸ Петрушевский Б. А. — Земля и Вселенная, 1981, № 3, с. 29.

¹⁹ Ченакал В. Л. — Усп. физ. наук, 1948, т. 36, вып. 2, с. 54.

НОВОСТИ НАУКИ

Астрономия

Ледяные фонтаны на спутниках Урана?

Информация, которой располагают астрономы относительно спутников Урана — Миранды, Ариэля, Умбриэля, Титании и Оберона, остается весьма скудной из-за огромной удаленности их от Земли. Однако анализ всех данных, говорящих об изменении светимости этих небесных тел, позволил К. Пангу

и Дж. Роудсу (К. Pang, J. Roads; Лаборатория реактивного движения, Пасадена, США) высказать ряд предположений.

Среди всех естественных спутников эти пять отличаются наибольшим увеличением яркости отражаемого ими солнечного света всякий раз, когда угол между линией их наблюдения с Земли и Солнцем приближается к нулю.

Подобный рост яркости может возникать, если поверхность небесного тела покрыта, например, слоем мелких частиц льда, имеющих сфериче-

скую форму. Такие частицы могут образовываться в ходе так называемого ледяного вулканизма, при котором из недр извергаются фонтаны водяных капель; замерзая, эти капли выпадают на поверхность небесного тела в виде ледяных шариков.

Гипотеза Панга и Роудса может быть проверена в 1986 г., когда в районе Урана и его спутников пройдет автоматическая станция «Вояджер-2», уже находящаяся в полете.

Science News, 1983, v. 124, № 4, p. 59 (США).

Минералогия

Декоративный кальцит из Гаурдака

Б. И. Сребродольский,
кандидат геолого-минералогических наук
Львов

Во время экспедиционных работ на Гаурдакском месторождении серы (Туркменская ССР) мы обратили внимание на распространенность в окрестностях Гаурдака (поселка городского типа) агрегатов натечного кальцита с ленточным или концентрически-слоистым рисунком, в котором светлые полосы минерала перемежаются с темными и серыми. Для детального изучения мы выбрали натечный кальцит, обнаруженный в овраге, где на значительной площади вскрыты верхнеюрские известняки. Самые толстые слой-плитки находятся на дне оврага. Здесь мы отобрали 10 плиток толщиной 4 см с хорошо выраженными буграми-натёками. После шлифовки на них выявляется ри-



Поверхность агрегатов натечного кальцита.

Узоры в декоративном кальците.

сунок, обусловленный всевозможными сочетаниями различных по форме, толщине и цвету кальцитовых полосок.

Внешний вид кальцитовых натеков невзрачен: серый, землисто-серый, темный. Поверхность бугристая, покрытая слоем пыли и поэтому очень похожая на обычный известняк. Камень хорошо режется, шлифуется, полируется, легко принимает и десятилетиями сохраняет зеркальную поверхность. При этом у каждого натека обнажается свой, неповторяющийся рисунок с мягкими приятными тонами серого, кремового, светлого, темно- и красновато-коричневого цвета. Если плитку разрезать не параллельно слоистости, а несколько вкось, слои приобретут вид замысловатых колец, сложных петель и других вычурных фигур. Чрезвычайно красивы отполированные пластинки со множеством концентров. Концентры — сферические выделения минерала, имеющие правильную или искаженную форму шара и концентрически-зональное строение, напоминающее строение агатов. Светлые полоски концентров сложены пре-



имущественно мелкозернистым кальцитом, а темные — параллельно-шестоватыми, т. е. тесно сросшимися тонкими (до 1 мм) с неровными боковыми плоскостями, кристалликами этого минерала.

Натечный кальцит — холодноводное образование. Он отлагается из насыщенных бикарбонатом кальция тонкодисперсных растворов, медленно текущих по неровной поверхности известняков. Бикарбонат кальция в обычных условиях неустойчив: при понижении внешнего давления легко разлагается с выделением углекислого газа и кальцита. Каждый кальцитовый слой выпадает из отдельной порции раствора. Содержание в минералообразующем растворе примесных веществ способствует возникновению тонкой полосчатости выпадающего в осадок кальцита и окрашиванию его в различные цвета. Так, примесь окисного железа придает кристаллизующемуся кальциту буровато-желтые оттенки, органическое вещество окрашивает кальцит в темные тона. На цвет кальцита влияют также небольшие количества марганца и никеля, придающие ему соответственно кремовый и сероватый оттенок.

Важную роль в формировании агрегатов натечного кальцита в районе Гаурдака играли существующие здесь разломы и связанные с ними карстовые полости. Циркулирующие по разломам воды растворяли известковое вещество, переносили и отлагали его на дне оврага среди обломков карбонатных пород, а ниже (в зонах карстовых полостей) кальцит отлагался в виде мраморного оникса, образуя разной величины сталактиты. Формирование кальцитового агрегата в этом случае происходило из медленно просачивающихся к полым пространствам минералообразующих растворов, насыщенных бикарбонатом кальция. По пути своего движения эти растворы очищались от посторонних примесей, поэтому агрегаты мраморного оникса по сравнению с поверхностным кальцитом окрашены много светлее (от янтарно-желтых до пастельных тонов) и просвечивают даже в сравнительно тол-

стых (до 5 см) пластинках. Эти качества и создали мраморному ониксу репутацию прекрасного поделочного камня.

Художественные достоинства и легкость обработки позволяют использовать и описываемый кальцит в камнерезном деле.

География

Последствия лесных пожаров в горах нижнего Приамурья

Ю. Н. Голубчиков,
кандидат географических наук
Москва

Известно, что одни поразившие от крупных лесных пожаров территории вновь покрываются лесом через несколько десятилетий, а другие на века превращаются в бесплодные пустоши — болота или каменные россыпи. Отчего же эффект пожаров столь различен?

Мы изучали этот вопрос в горной темнохвойной тайге Приамурья, непосредственно прилегающей к восточному участку трассы БАМ. Оказалось, что здесь возможность восстановления тайги тесно связана с характером геолого-геоморфологического строения территории. Довольно быстро она восстанавливается на пологих, хорошо дренируемых придолинных склонах, на склонах, сложенных крупнозернистыми песчаниками, глинистыми сланцами, базальтами, туфами. Такие горные породы обычно интенсивно распадаются до пылеватых и глинистых фракций. Мощная суглинистая кора выветривания хорошо удерживает влагу, сохраняет большую часть минерализованного запаса биогенных веществ. Затем они вывобождаются в доступной для растений форме.

Наиболее губительны лесные пожары на хребтах, сложенных трудновыветривающимися, прочными массивнокристаллическими породами — мелкозернистыми гранитами и песчаниками, диоритами, андезитами, разбитыми многочис-

ленными трещинами. Здесь в чехле обломков, одевающих склоны, мало мелкозема, и вместе с зольными остатками после пожара он быстро смывается ливнями, связанными с тихоокеанским муссоном, и тальми водами, стекающими с гор. На месте остаются глыбовые россыпи, не способные сохранить ни влагу, ни питательные элементы. Их обширные развалы распространены, например, в верховьях Амгуни на месте палов 30—40-годов. К тому же у горных почв нижнего Приамурья практически отсутствует гумусовый горизонт. Под оторванной мохово-лесной подстилкой толщиной до 30 см находятся обломки щебня и глыб. Это также стимулирует удаление мелкозема.

В то же время в расположенных южнее горах Малого Хингана и Сихотэ-Алиня, где гумусовый горизонт достаточно развит, леса после вырубок или пожаров восстанавливаются неплохо. Правда, во многих случаях этому здесь препятствует плотная гигроскопическая дернина вейника Лангсдорфа. В более континентальных районах верхнего и среднего Приамурья смыв мелкозема уменьшается за счет снижения интенсивности и продолжительности дождей. Да и опавшая хвоя господствующей в континентальной тайге лиственницы горит плохо. Поэтому последствия пожаров там не столь разрушительны для почвенного покрова, как в темнохвойной тайге, где лесная подстилка с большой долей хвои ели и пихты может долго глеть и полностью выгорать.

В итоге на большинстве горных склонов северо-восточного Приамурья после пожаров образуются глыбовые россыпи. При этом, как показали наши стационарные круглогодичные наблюдения, средняя годовая температура верхней метровой толщи грунта понижается приблизительно на 1°C, что означает для этих районов смещение южной границы вечномерзлых пород на десятки и даже сотни километров. Одновременно сдвигаются северные границы ареалов многих растений и животных, в том числе и сельскохозяйственных.

Космические исследования**Вторая экспедиция на «Салют-7» завершена**

Успешно завершена вторая длительная экспедиция на орбитальной научной станции «Салют-7», продолжавшаяся 150 суток. Космонавты В. А. Ляхов и А. П. Александров, стартовавшие 27 июня 1983 г., 23 ноября 1983 г. в 22 ч 58 мин по московскому времени после выполнения запланированной программы возвратились на Землю.

В октябре — ноябре 1983 г. экипаж продолжал исследовательскую работу в космосе. Основное мероприятие в этот период полета — два выхода космонавтов в открытый космос для выполнения сложных монтажно-сборочных работ. 1 ноября во время первого выхода, продолжавшегося 2 ч 50 мин, экипаж установил дополнительные солнечные батареи для увеличения мощности системы электропитания станции. Проведение подобных работ было запланировано при создании станции «Салют-7». На ее корпусе предусмотрены специальные конструктивные элементы, приспособления и фиксирующие устройства. Дополнительные солнечные батареи были доставлены на станцию кораблем-спутником «Космос-1443».

3 ноября 1983 г. был осуществлен еще один выход в открытый космос, продолжавшийся 2 ч 55 мин; за это время космонавты установили вторую дополнительную солнечную батарею. В результате повышена мощность системы электропитания станции, что позволяет существенно расширить программу дальнейших научно-технических исследований и экспериментов.

Монтажно-сборочные операции в открытом космосе подтвердили перспективность разработанной технологии сборки крупногабаритных конструкций в космических условиях, а также правильность принятых конструктивных решений и методик проведения работ.

Продолжалась исследовательская работа космонавтов. Был выполнен очередной цикл геофизических исследований с использованием многозональной фотоаппаратуры МКФ-6М и спектрометров МКС-М и «Спектр-15». В космической оранжерее «Оазис» велись биологические эксперименты с использованием электростимулирования растений; в качестве объектов наблюдения были выбраны редис и арабидопсис. Генетические исследования с проростками томатов проводились на установке «Светоблок-М», а на установке «Светоблок-Т» — биотехнологический эксперимент по исследованию возможностей повышения эффективности процессов электрофоретического разделения сложных биологических веществ. С помощью установки «Таврия» в условиях невесомости был получен высокоочищенный белковый препарат.

В этот период была проведена разгрузка автоматического корабля «Прогресс-18», который 22 октября в 14 ч 34 мин состыковался с орбитальным пилотируемым комплексом «Салют-7» — «Союз Т-9».

На заключительном этапе полета, чтобы подготовиться к возвращению на Землю, космонавты много времени уделяли физическим упражнениям и тренировкам с использованием пневмовакуумного костюма «Чибис».

В течение длительного 150-суточного полета космонавты В. А. Ляхов и А. П. Александров выполнили большую

программу научно-технических и медико-биологических исследований и экспериментов. Значительное место в ней было отведено геофизическим исследованиям, направленным на решение практических задач в интересах науки и народного хозяйства страны. Собран большой статистический материал о природных ресурсах Земли, состоянии атмосферы, сезонных изменениях сельскохозяйственных угодий, биологической продуктивности Мирового океана.

Выполнены новые исследования по программе космического материаловедения. На установке «Кристалл» получены образцы полупроводниковых материалов с улучшенными характеристиками. С помощью аппаратуры «Пион» проведена серия экспериментов по изучению особенностей физических процессов в условиях микрогравитации. Прибор «Электротопограф» позволил непосредственно на борту станции исследовать состояние конструктивных материалов после воздействия открытого космоса. Продолжались биологические эксперименты, в которых отрабатывалась технология культивирования высших растений в условиях космического полета.

По данным регулярных космических обследований экипажа получены новые сведения, подтверждающие возможность активной деятельности человека в невесомости, в том числе в условиях открытого космоса; эти данные будут использованы при определении оптимальных режимов труда и отдыха космонавтов на пилотируемых орбитальных станциях.

После возвращения членов второй длительной экспедиции на Землю станция «Салют-7» продолжала полет в автоматическом режиме.

С. А. Никитин

Москва

Космические исследования

Биоспутник «Космос-1514»

14 декабря 1983 г. в Советском Союзе был запущен «Космос-1514» — шестой специализированный биологический спутник¹. Ракета-носитель вывела его на орбиту с высотой в апогее 288 км, перигее — 226 км, наклонением 82,3° и периодом обращения 89,3 мин.

Спутник предназначен для продолжения исследований влияния на живые организмы факторов космического полета. На его борту были установлены научно-экспериментальные системы с различными биологическими объектами: двумя обезьянами из семейства макак — Абреком и Биомом, десятью беременными крысами линии Вистар, рыбами гуппи (живородящие костистые рыбы) и растительными организмами.

На обезьянах изучались адаптационные реакции организма в начальный период пребывания в невесомости. В экспериментах на крысах и рыбах гуппи исследовалось влияние невесомости на эмбриональное развитие. На растениях изучались особенности энергообмена в невесомости у проростков кукурузы методом прямой калориметрии; кроме того, изучалось цветение крокусов в невесомости. Были продолжены радиационнофизические и радиобиологические исследования.

В экспериментах на биоспутнике «Космос-1514» принимали участие специалисты СССР, НРБ, ВНР, ГДР, ПНР, ЧССР, СРР, Франции, США.

19 декабря 1983 г. после пятисуточного орбитального полета спускаемый аппарат биоспутника с биологическими объектами и другими научными материалами вернулся на Землю, а 20 декабря все животные, хорошо перенесшие условия невесомости, были доставлены в Москву, в Институт

медико-биологических проблем Министерства здравоохранения СССР для дальнейших исследований.

Астрофизика

Открыт второй миллисекундный пульсар

Исследования на 305-метровом радиотелескопе в Аресибо (Пуэрто-Рико, США) привели к открытию нового пульсара¹ PSR 1953+29. Его координаты близки, а возможно и совпадают с координатами γ -источника 2CR 065+00, обнаруженного ранее со спутника «COS-B». Это второй пульсар, период которого (6,13317 мс) лежит в миллисекундном диапазоне. Первый, с периодом 1,5 мс, был открыт около года назад².

Существенная особенность нового пульсара в том, что он находится в двойной системе. Измерения доплеровского сдвига позволили определить параметры его орбиты: период орбитального движения $P_{\text{орб}} = (120 \pm 4)$ дня, эксцентриситет $e \approx 0$, т. е. почти круговая орбита. Вероятное значение массы невидимой звезды-компаньона — около 0,3 солнечных масс. Расстояние до пульсара равно 3,5 кпк, замедление вращения — $5,8 \cdot 10^{-16}$, магнитное поле на его поверхности $6 \cdot 10^{10}$ Гс.

Другая особенность нового пульсара — необычная форма среднего профиля излучения: он настолько широк, что позволяет думать о малом угле между осью вращения пульсара и осью магнитного диполя. С другой стороны, наличие небольшого интермпульса в профиле излучения говорит о том, что этот угол близок к 90°. Необъяснимым кажется также расширение среднего профиля

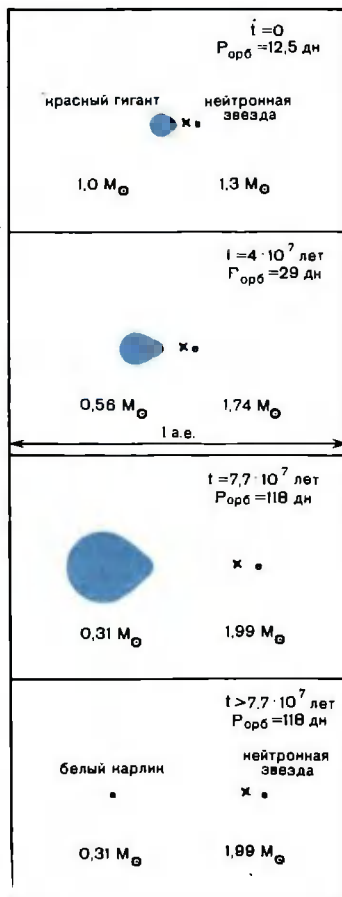


Схема эволюции двойной звездной системы, состоящей из красного гиганта и нейтронной звезды. Крестиком показано положение центра масс системы.

с увеличением частоты радиоизлучения.

До сих пор было известно всего три пульсара, находящихся в двойной системе. Столь малое их число (напомним, что около половины обычных звезд составляют двойные звезды) указывало на то, что пульсар, вероятно, образуется после взрыва сверхновой, когда ее остаток коллапсирует в нейтронную звезду. Открытие второго сверхбыстрого пульсара, входящего в двойную систему, позволяет предположить существование другого механизма образования пульсаров.

¹ Начиная с 1973 г. было запущено пять биоспутников — «Космос-605», -690, -782, -936, -1129».

¹ Boriakoff V., Buccheri R., Fauci F. — Nature, 1983, v. 304, № 5925, p. 417.

² Открыт сверхбыстрый пульсар. — Природа, 1983, № 5, с. 102.

Из-за малого эксцентриситета орбиты нового пульсара можно считать, что когда-то две звезды, составляющие двойную систему, тесно взаимодействовали друг с другом и вещество с одной звезды могло перетечь на другую. Если одна из звезд была красным гигантом, а вторая — нейтронной звездой или белым карликом, в процессе эволюции большая часть массы красного гиганта могла перетечь на нейтронную звезду (белый карлик также превратился бы в нейтронную звезду). Расчет подобной эволюции двойной системы приведен П. К. Джоссом и С. А. Раппопортом из Центра космических исследований, МТИ, США³ (подробнее см. рисунок).

Таким образом можно объяснить быстрое вращение пульсара: если магнитное поле на поверхности нейтронной звезды не очень большое (несколько единиц на 10^{10} Гс), момент количества движения, передаваемый нейтронной звезде перетекающим газом, достаточен для раскручивания пульсара до наблюдаемого малого периода.

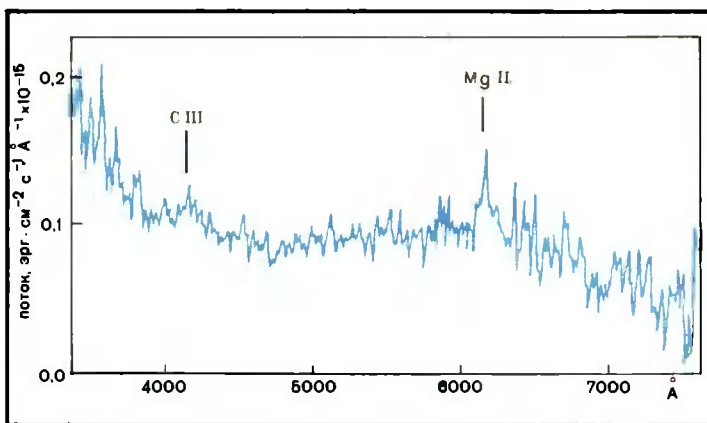
Аналогично можно объяснить возникновение 1,5-миллисекундного пульсара, если предположить, что под действием приливных сил звезда-компаньон полностью разрушилась или превратилась в планету, подобную, скажем, Сатурну.

Я. Н. Истомин,
кандидат физико-математических наук
Москва

Астрофизика

Гамма-источник Геминга — квазар?

Происхождение неидентифицированных γ -источников, обнаруженных спутниками «SAS-11» и «COS-B», представ-



Вид оптического спектра источника 0630 + 180; C III и Mg II — смещенные эмиссионные линии ионизированных углерода и магния.

ляет значительный интерес. От этих объектов наблюдается заметный поток излучения γ -квантов с энергиями свыше нескольких десятков МэВ, но при этом почти отсутствует излучение в других диапазонах волн. Поэтому сейчас наблюдатели заняты поиском излучения от этих источников в рентгеновском, оптическом и радиодиапазонах.

Трудность идентификации γ -источников заключается в том, что угловое разрешение γ -телескопов существенно ниже, чем рентгеновских или радиотелескопов. Так, угловое разрешение (или бокс ошибок) γ -телескопа «COS-B» составляет $0,4^\circ$; поэтому в его поле зрения может попасть несколько рентгеновских или радиоисточников, каждый из которых мог бы быть в равной мере связан с γ -источником. Таким образом, окончательно вопрос о происхождении γ -источников будет решен, когда станут возможны наблюдения в γ -диапазоне с более высоким угловым разрешением. Однако и сейчас имеется ряд данных, позволяющих более определенно судить о природе этих объектов.

«Природа» уже сообща-

ла¹, что один из таких γ -источников — Геминга (CG 195+04), возможно, идентифицируется с рентгеновским источником. Это позволило предположить, что Геминга представляет собой нейтронную звезду, расположенную на расстоянии 100 парсек от Земли.

Однако в силу указанных причин такое предположение не является единственным. Так, группа радиоастрономов из США, ФРГ, Великобритании и Канады предложила иное объяснение природы Геминги. Изучалось распределение радиоизлучения в боксе ошибок этого источника на радиотелескопах, разрешение которых составляло несколько угловых секунд; в итоге было обнаружено несколько слабых радиоисточников и определены их координаты. При спектрометрических исследованиях у одного из источников (0630+180) были обнаружены интересные особенности: оказалось, что в исследуемом диапазоне интенсивность его излучения почти не зависит от длины волны и в его оптическом спектре имеется несколько эмиссионных линий. Такой спектр типичен для квазаров. По мнению исследователей, две из обнаруженных эмиссионных линий (6164 и 4148 Å) являются смещенными линиями дважды ионизирован-

³ Joss P. C., Rappaport S. A., Nature, 1983, v. 304, № 5925, p. 419.

¹ Митрофанов И. Г. Космический γ -источник Геминга. — Природа, 1983, № 11, с. 103.

ного атома магния (MgII) и трижды ионизированного атома углерода (CIII). Рентгеновского излучения от этого источника обнаружено не было.

Вычисление расстояния до предполагаемого квазара в рамках стандартной фридмановской модели дает величину порядка 1,1 мегапарсек, что, в свою очередь, позволяет оценить величины потока от этого источника в радиодиапазоне — 10^{44} эрг/с, в оптическом — 10^{46} эрг/с и верхний предел в рентгеновском — 10^{45} эрг/с. Если этот квазар действительно ассоциируется с источником Геминга, его светимость в γ -диапазоне должна быть равна 10^{48} эрг/с для γ -квантов с энергией около 70 МэВ. В таком случае светимость этого источника в области фотонов высоких энергий наивысшая среди известных космических объектов.

Astrophysical Journal Letters, 1983, v. 271, № 2, L. 145 (США).

Астрономия

Во Вселенной обнаружено водородное облако

Исследователи из Корнеллского университета (США) с помощью 305-метрового радиотелескопа, установленного в Национальном центре астрономических и ионосферных исследований (Аресибо, Пуэрто-Рико, США), обнаружили гигантское облако нейтрального водорода.

Открытие сделано случайно: астрономы были заняты поисками водорода в ряде галактик по его характерному излучению на длине волны 21 см. Сигнал, замеченный от созвездия Льва, был сначала принят за помеху. Дальнейшие исследования показали, что в направлении на созвездие Льва, действительно, находится водородное облако размером с галактику (в поперечнике около 90 кпк). Расстояние до него от Земли — примерно 9 Мпк. Подсчитано, что масса водорода в облаке в миллиард раз больше массы Солнца.

Установлено, что облако вращается вокруг центра масс

с огромной скоростью — 80 км/с. Почему же при такой скорости газ не разлетелся по Вселенной? По мнению ученых, в центре водородного облака, возможно, находится какое-то невидимое тело, масса которого значительно (по крайней мере раз в сто) превосходит массу водорода. Притяжение этого тела и удерживает газ. Таким объектом может быть черная дыра, которая могла собрать вокруг себя водород из межзвездного пространства. Обнаруженное водородное облако — уникальный, ранее не встречавшийся астрономический объект.

New Scientist, 1983, № 1348, p. 634 (Великобритания).

Астрономия

Вращающееся протоскопление

C. Borel и B. Welch (S. Vogel, W. Welch; радиоастрономическая лаборатория Калифорнийского университета, США) с помощью двухантенного интерферометра исследовали распределения газа в направлении области ионизированного водорода W 58. Эта область находится в 9 кпк от Солнца и связана с массивным ($10^5 M_{\odot}$) газовым облаком, край которого ионизирован горячей звездой, а остальной газ имеет невысокую температуру и находится в основном в молекулярной форме.

При исследовании на частоте 89,2 ГГц внутри массивного газового облака обнаружено компактное облако размером чуть более 1 пк, которое состоит почти целиком из молекулярного водорода, имеет температуру 40 К, плотность свыше 10^5 см $^{-3}$ и очень быстро вращается в том же направлении, что и Галактика, но в 300 раз быстрее: скорость на ее краю достигает 6 км/с.

Подобное различие в скоростях можно объяснить, если предположить, что облако сжимается. Тогда его момент вращения сохраняется и, следовательно, угловая скорость увеличивается. Облако раскручивается, как фигурист на льду,

прижимая к себе внешние части. Следовательно, раньше, когда облако вращалось синхронно с газовым диском Галактики, его размер был больше, около 20 пк, а плотность меньше, примерно 100 см $^{-3}$.

Расчеты показывают, что как раз при таких параметрах облако, которое сжималось и до этого, но было как бы «привязано» к основному газовому диску Галактики силовыми линиями магнитного поля, внезапно «оторвалось» от основной массы газа и стало самостоятельным. Это произошло потому, что при сжатии в нем увеличивалась не только плотность газа, но и плотность межзвездной пыли. В результате облако стало непрозрачным для оптического излучения звезд, газ быстро остыл и перешел из ионизированного состояния в нейтральное. Его электропроводность резко упала, поэтому магнитное поле быстро затухло и перестало связывать облако с окружающей межзвездной средой. В дальнейшем облако сжималось самостоятельно, сохраняя момент вращения и увеличивая угловую скорость. Сейчас оно, по-видимому, стабилизировалось: центробежная сила уравнивала гравитацию и сжатие прекратилось. Судя по выходящему из него мощному потоку инфракрасного излучения, в его недрах уже начался процесс образования звезд.

Сейчас известно много молодых звездных скоплений, но ни одно не имеет столь высокой плотности и не вращается так быстро. Нет причин полагать, что данное облако и то звездное скопление, которое в нем рождается, — исключение из общего правила. Скорее, в процессе образования звезд газ протоскопления будет нагрет молодыми звездами и начнет расширяться. Не связанное больше притяжением газа, начнет расширяться и находящееся в недрах облака звездное скопление. Его пространственная плотность и скорость вращения уменьшатся, и, когда скопление станет видимым в оптическом диапазоне, оно уже ничем не будет отличаться от других молодых скоплений.

Astrophysical Journal, 1983, v. 269, № 2, part 1, p. 568—579 (США).

Физика

Первые наблюдения двух-протонной активности ядер

Вслед за сообщениями о наблюдении таких необычных видов распада атомных ядер, как испускание двух и трех нейтронов, а также протона¹, появилось сообщение об обнаружении двухпротонной активности.

Возможность испускания некоторыми ядрами двух протонов была предсказана в 1960 г. В. И. Гольданским (Институт химической физики АН СССР)². Он же разработал теорию этого процесса и указал ядра, для которых обнаружение двухпротонной активности наиболее вероятно. Но экспериментально наблюдать новое явление сложно, поскольку необходимы ядра со значительным дефицитом нейтронов; время жизни таких ядер очень мало.

По мнению В. И. Гольданского, «запаздывающую» двухпротонную активность следует искать у легких ядер с нечетным числом протонов и нейтронов, причем число нейтронов должно быть на четыре меньше числа протонов³. Этим условиям удовлетворяют два нейтронодефицитных ядра: ^{22}Al ($Z=13$, $N=9$) и ^{26}P ($Z=15$, $N=11$).

И вот экспериментаторы из лаборатории им. Лоуренса (Калифорнийский университет, США) открыли «запаздывающую» двухпротонную активность ядра ^{22}Al . Ядра изотопа ^{22}Al , которые живут только 70 мс, были получены в результате

облучения мишени, содержащей изотоп ^{24}Mg , пучком дважды ионизированных атомов ^3He с энергией 110 МэВ. Радиоактивные продукты реакции, среди которых находились ядра ^{22}Al , транспортировались струей гелия из реакционной камеры в камеру со счетчиками по капилляру из нержавеющей стали. Два протона испускались сильно возбужденным ядром ^{22}Mg , которое рождалось в результате позитронного распада ^{22}Al . При распаде ^{22}Mg получалось ядро ^{20}Ne с равным числом протонов и нейтронов.

Вылетающие протоны детектировались системой из трех счетчиков, которая определяла одновременность их вылета из ядра. Считалось, что протоны вылетели из ядра вместе, если время между их появлением в счетчиках не превышало 20 нс. Оказалось, что суммарная энергия вылетающих протонов в лабораторной системе координат примерно равнялась либо 4,139 МэВ, либо 5,636 МэВ, что соответствует распадам ^{22}Mg на основное и первое возбужденное состояния ядра ^{20}Ne .

Сейчас ведутся работы по более точному выяснению механизма распада и поиску двухпротонной активности ядра ^{26}P . *Physical Review Letters*, 1983, v. 50, № 6, p. 404—406 (США).

Физика

Сверхускоритель в пустыне

На 12-й Международной конференции по ускорителям высоких энергий Р. Вильсон (R. Willson, США) сообщил о проекте установки, в которой встречные пучки протонов должны ускоряться до фантастической энергии — 20 ТэВ (20 тыс. ГэВ). Таким образом, полная энергия столкновения составит 40 тыс. ГэВ, в то время как самый мощный из существующих ускорителей (ЦЕРН, Женева) имеет энергию столкновения 540 ГэВ, а строящийся в Батавии (США) «Tevatron» рассчитан «всего-навсего» на энергию 2 ТэВ.

Новую установку обозначили буквами SSC (от англ. Superconduction Super Collider — суперколлайдер на сверхпроводниках), хотя в среде физиков больше распространено романтическое название «Дезертрон» (от англ. desert — пустыня), связанное с тем, что для сооружения ускорителя нужна большая пустынная местность. Кроме того, «Дезертрон» ассоциируется с так называемой «большой пустыней», предсказываемой некоторыми вариантами теорий, объединяющих слабые, электромагнитные и сильные взаимодействия. Согласно таким теориям, в огромной области энергий от 10^4 ГэВ (характерный масштаб объединения электрослабых взаимодействий) до примерно 10^{16} ГэВ (масштаб объединения всех трех фундаментальных сил) новых физических эффектов не появится. Однако «большая пустыня» предсказывается не самими изощренными теориями и почти никто из экспериментаторов в нее не верит. В последнее время теоретики постепенно «заселяют» ее новыми частицами, развивая теории, включающие в объединение и силы гравитации. Итак, «Дезертрон» станет первой установкой, на которой будет осуществлен прорыв в область энергий «большой пустыни», и, возможно, там будут обнаружены «оазисы».

Поскольку радиус траектории заряженной частицы в магнитном поле (т. е. размер, а следовательно, и стоимость ускорителя) обратно пропорционален напряженности создаваемого поля, возникает необходимость использовать сверхпроводящие магниты. Их создание — нелегкая и недешевая задача, но это позволит уменьшить размеры ускорителя. Специалистам предстоит выбрать самый оптимальный из нескольких предложенных вариантов «Дезертрона». Своей миниатюрностью привлекает проект, использующий сильные сверхпроводящие магниты на основе ниобиевых сплавов с напряженностью поля 8 Тл, что позволит соорудить ускоритель с «небольшим» радиусом около 12 км. Применение слабых магнитов с полем 2,5 Тл приведет к коллайдеру с радиусом око-

¹ Гапонов Ю. В. Запаздывающая двухнейтронная активность ядер. — Природа, 1980, № 9, с. 110; Запаздывающая трехнейтронная активность ядер ^{11}Li . — Природа, 1981, № 11, с. 107; Обнаружена протонная радиоактивность. — Природа, 1983, № 7, с. 104.

² Гольданский В. И. — ЖЭТФ, 1960, т. 39, с. 497.

³ Гольданский В. И. — Письма в ЖЭТФ, 1980, т. 32, вып. 9, с. 572.

ло 37 км. (Если такой ускоритель построить вокруг Москвы, то внутрь его кольца попадут все московские аэропорты. Заметим также, что эквивалентный ускоритель с неподвижной мишенью и магнитами с полем 8 Тл должен иметь радиус порядка сотен тысяч километров, в то время как среднее расстояние от Земли до Луны 384 400 км.)

При постройке «Дезертрона» специалисты столкнутся со многими трудностями. Потребуется создание соответствующей криогенной техники, обеспечение высокого вакуума, управление пучками частиц. Ведь при огромных размерах ускорителя даже малейшие отклонения в параметрах магнитов (а их невозможно сделать абсолютно одинаковыми) приведут к тому, что протоны врежутся в стенку, не успев совершить и одного оборота. Выход — управление пучком с помощью ЭВМ, так что «Дезертрон» будет кибернетическим ускорителем.

Стоимость «Дезертрона» оценивается в 2 млрд. долл., время сооружения — 10—12 лет. Если проект будет принят, можно надеяться на его завершение к середине 90-х годов. Сейчас важно выбрать место строительства нового коллайдера. Это повлияет на окончательный выбор одного из вариантов «Дезертрона» и, возможно, облегчит его финансирование. Как бы то ни было, «Дезертрон» может стать первым ускорителем XXI в.

CERN Courier, 1983, v. 23, № 3, p. 299 (Швейцария).

Физика

Новое поколение токамаков вступает в строй

В результате исследований, проведенных на токамаках в 70-е годы, практически достигнуты по-отдельности значения, требуемые для УТС по основным параметрам плазмы: температуре, плотности и времени удержания энергии.

Основные параметры установок	TFTR	JET
Большой радиус R, см	248	296
Малый радиус a, см	85	125 (по горизонтали) 210 (по вертикали)
Торондальное поле B, Тл	5,2	2,8
Ток в плазме I, МА	2,5	2,6 (для круглого шнура) 3,8 (для вытянутого шнура)
Мощность дополнительного нагрева W, МВт		
а) инжекцией быстрых атомов	33	10
б) ионным циклотронным резонансом		15

Следующей целью стало объединение этих достижений в одной установке, для чего в середине 70-х годов началось проектирование и строительство токамаков нового поколения: T-15 в СССР, TFTR в США, JET в Великобритании и JT-60 в Японии. Эти установки близки по задачам и основным характеристикам, но несколько отличаются техническими деталями и научными программами. Наиболее традиционна по конструкции установка TFTR. На токамаке JET, сооружаемом совместно странами Евратома, планируется главным образом изучение свойств плазменного шнура с вытянутым поперечным сечением. В T-15 предполагается впервые использовать магнитную систему со сверхпроводящими обмотками из сплава ниобий — олово и мощный нагрев плазмы за счет электронного циклотронного резонанса.

В 1983 г. два из этой четвертки гигантов (TFTR и JET) вступили в строй. Плазма на TFTR получена в канун 1983 г., на JET — 25 июня.

На обеих установках работы будут проводиться в три этапа: омический нагрев плазмы, мощный дополнительный нагрев и, наконец, исследование термоядерной реакции в дейтерий-тритиевой плазме в условиях, когда энерговыделение может превысить потери энергии. Это потребовало специальной радиационной защиты и дистанционной разборки и ремонта активированной нейтронами установки, т. е. значительного

усложнения конструкции и повышения стоимости. Стоимость TFTR — 314 млн долл., JET — 175 млн фунт. ст. Доведение установок до проектных параметров вызовет в ближайшее пятилетие удвоение затрат. Расходы на JET составят примерно 0,6 % от всех ассигнований стран Общего рынка на научные исследования и разработки, что свидетельствует о весьма серьезном отношении к проблеме УТС.

Первые результаты, полученные на TFTR, указывают на то, что предпосылки, заложенные в проекты токамаков нового поколения, оправдываются. Время удержания энергии τ быстро (как произведение малого радиуса a плазменного шнура на квадрат большого радиуса R) возрастает с увеличением объема плазмы. На TFTR, работающем еще далеко не в оптимальном режиме, уже достигнуто рекордное значение τ — 0,19 с, что подтверждает его зависимость от размеров и плотности плазмы, предсказанную советскими физиками В. С. Мухоматовым и В. Г. Мережкинским в результате измерений на токамаках T-10 и T-11¹.

Nuclear News, 1983, v. 26, № 8, p. 136, 140 (США); Nuclear Engineering International, 1983, v. 28, № 345, p. 3; Nature, 1983, v. 303, № 5920, p. 740, 746 (Великобритания).

¹ Письма в ЖЭТФ, 1981, т. 33, с. 463.

Физика

Малогабаритный СО-лазер

Наиболее известным источником мощного когерентного излучения для средней инфракрасной области частот является электроразрядный CO_2 -лазер с длиной волны излучения 9,4—10,6 мкм. К настоящему времени такие лазеры уже освоены промышленностью и нашли широкое применение как в научных исследованиях, так и в народном хозяйстве.

Не менее перспективен газоразрядный СО-лазер с излучением в спектральном диапазоне 5—6 мкм. По сравнению с CO_2 -лазером он имеет ряд преимуществ: оптически прозрачные для его излучения детали могут быть изготовлены из влагоустойчивых материалов, детекторы излучения для области 5—6 мкм высокочувствительны и не требуют значительного охлаждения. СО-лазеры могут применяться в различных измерительных системах, в медицине, в научных исследованиях и на производстве, где требуется мощный источник инфракрасного излучения.

Во многих случаях необходим СО-лазер небольших размеров. В Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР разработан и исследован малогабаритный СО-лазер на базе промышленного CO_2 -лазера ЛГ-74 (от которого использованы лазерная трубка длиной 40 см

и блок питания). Исследовался режим генерации многих линий и режим селективной одной линии. В качестве селектирующего элемента использовалась флюоритовая призма, помещенная внутри резонатора. Наибольшая выходная мощность, 5 Вт (КПД 10 %), была получена при давлении 55 мм рт. ст. газовой смеси ($\text{CO}:\text{N}_2:\text{He}:\text{Xe}:\text{O}_2=1:1:15:1:0,4$), токе разряда 10—12 мА и температуре охлаждающей воды 4 °С. При увеличении температуры до 14 °С и тех же параметрах разряда выходная мощность падала до 3,5 Вт.

В спектре генерации наблюдалось 11—14 линий в диапазоне 5,3—5,7 мкм. В селективном режиме с помощью перестройки резонатора зеркалами можно получить генерацию примерно на 20 отдельных линиях в том же спектральном интервале. Больше число линий в этом случае — обычное явление для СО-лазеров. Оно связано с конкуренцией в «многолинейном» режиме между близлежащими переходами, в результате линии с большим усилением могут подавлять линии с меньшим усилением. Наиболее интенсивные линии в селективном режиме имеют мощность 0,5—0,8 Вт.

Квантовая электроника, 1983, т. 10, № 9, с. 1895—1896.

Физика

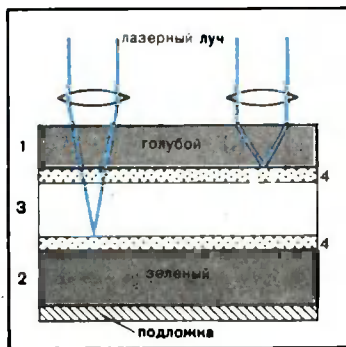


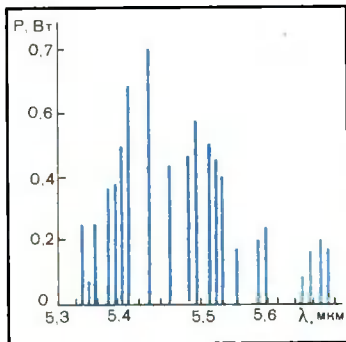
Схема композитной пластинки для регистрации оптических сигналов: 1 и 2 — слои с различными окрашивающими реагентами; 3 — связывающий реагент; 4 — слой с поглотителем света.

слой отвечает за окрашивание в определенный цвет.

Оптическая запись производилась с помощью лазера с длиной волны 830 нм и мощностью 6 мВт. Лазерный луч фокусировался в пятнышко размерами $1,5 \times 2$ мкм. При этом если сфокусировать лазерный луч на верхнем слое поглотителя, то его локальное плавление приведет к смешиванию окрашивающего реагента со связывающим, в результате в среде появится окрашенное пятно диаметром 1 мкм. Для окрашивания достаточно микросекундных длительностей лазерного импульса. Связывающий реагент может реагировать и с нижним окрашивающим слоем, для чего лазерный луч нужно сфокусировать на нижний слой поглотителя; в результате появляется пятно другого цвета.

Таким образом, при подключении к лазеру стандартного сканирующего устройства с одновременным изменением точки фокусировки луча на пластинке появляется многоуровневая цветная запись. Она может быть немедленно прочитана с помощью набора монохроматических источников цвета.

Современные средства передачи информации требуют записывающих устройств с высокой плотностью хранения информации и с высокой надежностью. Описанные композитные пленки с черно-зелено-крас-



Спектр генерации СО-лазера в селективном режиме.

Цветовая регистрация оптических сигналов

Группа исследователей Японской телеграфной и телефонной компании сообщает о создании новой среды для цветной сверхплотной записи оптической информации с тепловым механизмом окрашивания. Среда состоит из нескольких бесцветных тонких слоев, нанесенных на подложку методом осаждения в вакууме. Несколько бесцветных слоев (на рисунке показаны только два — 1 и 2) отделены от связывающего реагента тонкими слоями поглотителя света. При этом каждый

но-голубым окрашиванием представляют собой весьма перспективную среду также и для многоцветной микрографии. Applied Physics Letters, 1983, v. 43, № 6, p. 524—526 (США).

Физика

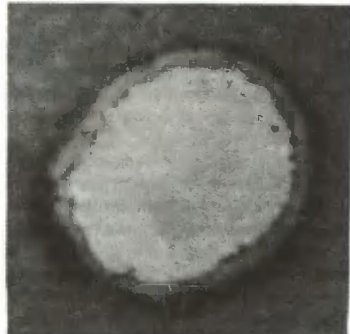
Тонкопленочные поляризаторы для мощных лазеров

Наиболее распространенный тип поляризатора, применяемого для мощного излучения, — это поляризационные стопки пластинок, установленные под углом Брюстера. Однако в последнее время их заменили тонкопленочными поляризаторами, которые существенно улучшают эксплуатационные характеристики оптических устройств, защищая мощные лазерные системы от отраженного излучения. Малые потери и большой световой диаметр таких поляризаторов делают их весьма удобными для усилительных систем с большим числом проходов лазерного луча через активную среду.

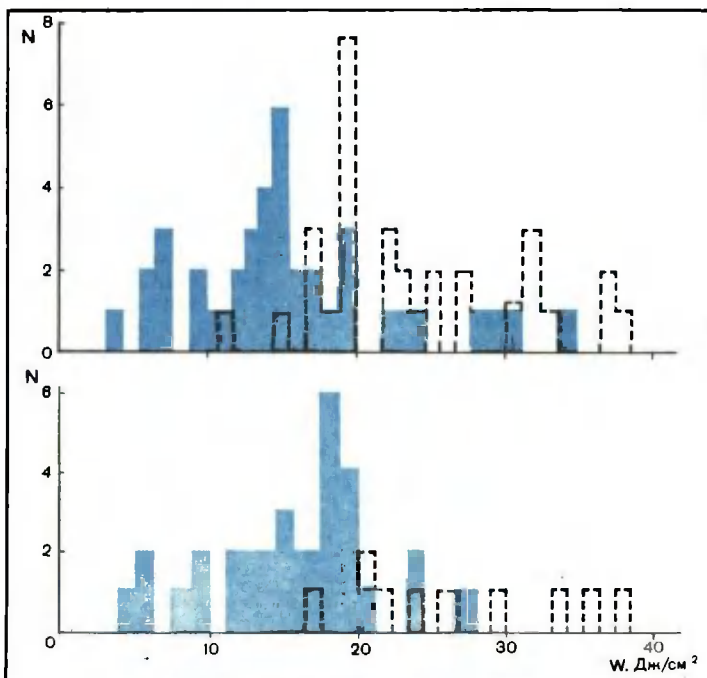
Особый интерес вызывает разработка тонкопленочных диэлектрических интерференционных поляризаторов, обладающих значительной лучевой прочностью и пригодных для использования в системах с высокой плотностью потока излучения. Н. И. Гаврилов, П. П. Пашинин, А. М. Прохоров и др. (Институт общей физики АН СССР) разработали и исследовали тонкопленочные поляризаторы, рассчитанные на длину волны излучения 1,06 мкм и рабочую плотность энергии 10 Дж/см². Поляризатор представляет собой пластину из стекла К8 размером 11×11 см, на которую нанесено интерференционное покрытие. Оно состоит из 23 чередующихся слоев двуокиси циркония и двуокиси кремния и нанесено электронно-лучевым способом на вращающуюся со скоростью 20—30 об/мин подложку. Пропускание такого поляризатора на длине волны 1,06 мкм для двух



Микрофотографии разрушений при поляризации излучения, соответствующей максимальной (сле-



ва) и минимальному (справа) пропусканию поляризатора.



Гистограммы лучевой прочности поляризатора. По оси абсцисс — плотность энергии излучения W , по оси ординат — число лазерных импульсов N , вызвавших (площадь, окаяймленная пунктиром) или не вызвавших (закрашенная площадь)

разрушение поляризатора. Вверху — излучение поляризовано в направлении, соответствующем максимальному пропусканию поляризатора; внизу — поляризация соответствует минимальному пропусканию.

взаимноперпендикулярных направлений поляризации составило 0,3 и 99,5 % при диаметре пучка 2,5 см.

Исследования показали, что интерференционное покрытие разрушается при плотности энергии излучения 15—

20 Дж/см². Изучение процесса разрушения позволило дать конкретные рекомендации по наиболее эффективному использованию поляризаторов.

Биохимия

Гормон, регулирующий содержание кальция в крови

Долгое время считалось, что единственным гормоном, регулирующим содержание кальция в крови, является кальцитонин. Он вырабатывается щитовидной железой млекопитающих и, как и другие пептидные гормоны, происходит от белка-предшественника с высокой молекулярной массой (молекулярная масса кальцитонина 3500 Д). Деятельность этого гормона предупреждает развитие остеопороза (рассасывания костной ткани) и особенно важна в период роста организма, а также беременности. Механизм действия кальцитонина изучен мало, однако известно, что осуществляется он через определенный участок головного мозга — гипоталамус.

В 1982 г. сотрудники Лондонского госпиталя Гаммерсмита во главе с И. Макинтайром (I. McIntyre; Англия) обнаружили существование еще одного гормона, регулирующего обмен кальция. Исследовался белок-предшественник, от которого отщепляется кальцитонин: с помощью методов генной инженерии был проведен анализ нуклеотидов участка ДНК, кодирующих этот белок. Оказалось, что кальцитонин в составе белка-предшественника «окаймлен» с двух сторон почками пептидов. Один из пептидов, состоящий из 21 аминокислоты, был синтезирован и неожиданно оказался биологически активным. Он обнаружил свойства сильнодействующего гормона, который так же, как и кальцитонин, предохраняет костную ткань организма от потери ею кальция. Новый гормон получил название каткальцин. Он секретируется в организме клетками щитовидной железы и отщепляется от общего белка-предшественника в количествах, эквивалентных кальцитонину.

При дальнейших исследованиях было установлено, что биологическое значение обоих гормонов не вполне одинаково. В частности, оказалось, что они

прикрепляются к различным рецепторам клеточных мембран. Однако терапевтическое воздействие этих гормонов, по-видимому, почти одинаково.

Nature, 1982, v. 300, № 5891, p. 4601; The Lancet, 1983, v. 11, № 8329, p. 846 (Великобритания).

Биофизика

Одиночные электроны и мюоны вызывают зрительные ощущения

Известно, что поток ионизирующих частиц, например многозарядные протоны, мюоны, пионы и др., попадая на сетчатку глаза человека, адаптированного в темноте, вызывают зрительные ощущения¹.

А. А. Ародзеро, П. В. Граменицкий и И. Н. Фетисов (Московское высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана) исследовали способность глаза человека регистрировать одиночные однозарядные релятивистские частицы и дали оценку эффективности глаза как детектора таких частиц.

Исследования проводили с частицами космического излучения в горах, на высоте 3250 м над ур. м., где заряженный компонент излучения состоит главным образом из электронов (65 %), мюонов (30 %) и протонов (4 %). Основной частью экспериментальной установки был сцинтилляционный телескоп с системой детекторов, включая и глаза экспериментатора. Телескоп регистрировал частицы, проходившие через сетчатку глаза. Сравнение амплитудных спектров ионизирующих частиц с калибровочными показало, что зрительные ощущения в виде точек, штрихов, облака и т. д. вызывались одиночными однозарядными релятивистскими частицами. Глаз человека способен регистрировать такие частицы с эффективностью 1—8 %.

Доклады АН СССР, 1983, т. 270, № 3, с. 725—727.

Физиология

Перфторуглероды помогают при больших потерях крови

При сильной потере крови все современные кровезаместители не компенсируют кислородно-транспортную функцию крови и являются, по существу, лишь заменителями ее жидкой части — плазмы. В последние годы и у нас в стране, и за рубежом ведутся интенсивные исследования по созданию газопереносящего кровезаместителя из эмульсий перфторуглеродов — полностью фторированных органических соединений (ПФОС), которые химически инертны и способны растворять большое количество кислорода и углекислого газа¹.

Исследователи под руководством Г. Р. Иваницкого (Институт биологической физики АН СССР, Пушкино) разработали технологию получения биосовместимой эмульсии ПФОС и провели исследования по восстановлению жизнедеятельности собак после замены больших количеств крови. Газопереносящую среду для замены крови изготавливали из трех компонентов: эмульсии ПФОС (21 %), раствора человеческого сывороточного альбумина (3 %) и солевого раствора. Средний размер частиц эмульсии составлял 0,1 мкм; содержание ионов фтора равнялось 5 · 10⁻⁵ моль. Солевой раствор соответствовал по составу плазме крови.

У собак проводили дробное извлечение крови (50 мл/кг) с восполнением эмульсией ПФОС (65 мл/кг) в течение 4 часов. Содержание гемоглобина после извлечения крови снижалось на 63 %, поэтому на 60 % уменьшалось содержание в крови кислорода, химически связанного с гемоглобином. Однако из-за введения эмульсии ПФОС доля свободного растворенного кислорода возросла более чем в 5 раз по сравнению с исходным показате-

¹ См., напр.: Григорьев Ю. Г. Космическая радиобиология. М., 1982.

См. напр.: Никитина Т. Х. Искусственные легкие из фторуглеродов. — Природа, 1982, № 3, с. 111.

лем. В итоге суммарное содержание в крови кислорода, связанного с гемоглобином и свободно растворенного, хотя и приближалось к контрольному значению, но оставалось ниже этого значения.

Итак, введение кровезамещающей эмульсии ПФОС при большой кровопотере позволило частично компенсировать снижение содержания кислорода в крови у животных. Тем не менее организм животного вполне удовлетворительно снабжался кислородом, о чем свидетельствовали стабильная величина pH в крови, отсутствие одышки, тахикардии. Не было обнаружено нарушений в циркуляции углекислого газа. Гемодинамические показатели, частота сердечных сокращений и частота дыхания у собак при введении эмульсии ПФОС находились в пределах нормы.

Все эти данные говорят о том, что введение эмульсии ПФОС нормализует кровообращение в организме при сильных потерях крови.

Доклады АН СССР, 1983, т. 270, № 2, с. 487—491.

вильных узнаваний не зависел ни от пола, ни от расовой принадлежности, ни от характеристик кормления своего и контрольного ребенка.

Можно было предположить, что мать усваивает запах собственного ребенка при общении с ним. Поэтому тот же опыт был повторен на группе матерей, которые родили с помощью кесарева сечения и ввиду физической слабости контактировали со своими детьми в общей сложности около двух часов за первые двое суток. Результат, как оказалось, не зависит от того, сколько времени мать контактировала с ребенком.

Авторы предполагают, что в коже существуют индивидуально-специфические жироподобные вещества, придающие каждому ребенку неповторимый запах, распознаваемый матерью. Подобное явление хорошо изучено у многих видов животных, но ранее не было описано у человека.

Physiology and Behavior, 1983, v. 30, № 1, p. 151—154 (США).



Физиология растений

Физиология

Узнавание ребенка по запаху

Группа американских физиологов во главе с Р. Портером (R. Porter, Университет Вандербильта и Нашвиллская больница, штат Теннесси) установила, что матери способны в течение первых шести суток после рождения узнавать запах своего ребенка, даже если их общение в это время было предельно ограничено.

Был поставлен простой эксперимент. Каждой женщине подносили две одинаковых распашонки, одну из которых носил в течение 17—22 часов ее собственный ребенок, а другую — чужой ребенок того же возраста (точнее, возраст новорожденных отличался не более чем на 8 часов). В 86 случаях из 110 матери правильно определяли, какую распашонку носил их собственный ребенок. Процент пра-

тех, которые характерны для воздушного пространства южной части штата Калифорния, где особенно велико число автомашин). Оказалось, что даже незначительное содержание O_3 в воздухе приводит к угнетению процесса фотосинтеза в листьях, в результате чего растение вырабатывает недостаточное количество углеводов и размер урожая снижается. Наиболее уязвимыми для озона оказались как раз те виды зерновых, которые наиболее широко распространены в пшеничном поясе США, где собирают основную долю урожая.

Пока не установлено, что именно делает один вид зерновых более подверженным отрицательному воздействию O_3 , чем другой вид. Возможно, это зависит от скорости, с которой растение закрывает устьица, или же от того, как скоро оно восстанавливает поврежденные клетки.

Загрязнение воздуха озоном, как выяснилось, может приводить к потере от 10 до 25 % урожая пшеницы в США. Сам по себе озон или продукты его взаимодействия с атмосферными газами (окислами азота и серы) могут быть ответственны за 90 % всех потерь урожая в этой стране.

New Scientist, 1983, v. 99, № 1375, p. 750 (Великобритания).

Озон снижает урожай

Управление охраны природной среды США поручило Институту исследования растений при Корнеллском университете изучить влияние атмосферного озона (O_3) на развитие зерновых.

Как известно, слой озона в верхней атмосфере образует экран, защищающий поверхность Земли от избыточного ультрафиолетового излучения Солнца. В нижних же слоях атмосферы озон, который образуется в результате различных процессов, в частности при взаимодействии атмосферного кислорода с выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания, является вредным фактором.

Институтом были проведены следующие эксперименты: на посевы, находящиеся на разных стадиях развития, воздействовали озоном в различных концентрациях (преимущественно в

Устойчивость диких видов картофеля к вредителям-насекомым

Дикие виды картофеля, произрастающие на своей родине в Южной Америке, в отличие от культурных сортов, известны своей устойчивостью к действию широкого круга вредителей-насекомых. В частности, тля *Myzus persicae*, опустошающая в некоторых странах поля этой важной сельскохозяйственной культуры, не приближается к листьям дикого вида картофеля *Solanum berthaultii* Hawkes менее чем на 1—3 мм. Замечено, что колонии тли быстро рассеивают-

Физиология растений

ся над листовой этого дикого вида.

Р. Гибсон и Дж. Пикетт (R. Gibson, J. Pickett; Ротамстедская экспериментальная агрономическая станция, Великобритания) предположили, что дикие виды картофеля должны выделять какое-то вещество, отпугивающее тлю. И действительно, на поверхности листьев были обнаружены волоски, выделяющие клейкое вещество, к которому прилипают насекомые. Кроме того, найдены волоски, выделяющие летучую жидкость. Анализ, проведенный с помощью методов газовой хроматографии и масс-спектрометрии, показал, что эта жидкость идентична феромону Е насекомых β -фарнезену, вызывающему у них реакцию тревоги и бегства.

Таким образом, одно и то же вещество может быть одновременно и феромоном насекомых, и защитой от них у растений. По-видимому, обнаруженное явление может быть использовано для выведения новых сортов картофеля. В частности, S. berthaultii легко скрещивается с культурными сортами картофеля, поэтому с его помощью можно передать этим сортам устойчивость к картофельной тле и другим насекомым-вредителям.

Nature, 1983, v. 302, № 5909, p. 608 (Великобритания).

Биология

Взаимовыгодный симбиоз у насекомых

У многих представителей семейства горбаток (Membracidae) — мелких цикадок из отряда равнокрылых (Homoptera) — весьма сложно организована забота о потомстве. Самка откладывает яйца кучкой на листе или стебле растения и охраняет их, прикрывая своим телом. Точно так же она охраняет и вышедших из яиц личинок, которые стараются держаться плотной группой под телом матери. Отгоняя от яиц и личинок разнообразных хищников и

паразитов, горбатка значительно повышает выживаемость потомства. Кроме того, как и для многих других сосущих насекомых, для горбаток характерны мутуалистические¹ отношения с муравьями, которых привлекает падь — сладкие экскременты, выделяемые как личинками, так и взрослыми горбатками. Получая в виде пади необходимое углеводное питание, муравьи, «в благодарность», охраняют горбаток от их врагов.

Недавно английской исследовательнице К. Бристоу удалось обнаружить неизвестную ранее взаимосвязь между заботой о потомстве и симбиотическими отношениями с муравьями у горбатки *Publilia reticulata*². Она взяла под наблюдение несколько десятков самок горбаток, пометив их цветными метками. Все самки отложили яйца и охраняли их на разных растениях или на разных листьях одного растения. Бристоу с части кладок самок удалила, а часть растений с самками изолировала от муравьев, наложив липкие кольца на основания стеблей (эти растения служили контролем).

Оказалось, что среди кладок, не защищавшихся самками, сохранилось только 25 % и выжило всего 3,1 % личинок. При материнской охране — 67 % кладок и 10,7 % личинок. На растениях же, куда были допущены муравьи и где между ними и горбатками сложились нормальные мутуалистические отношения, выживаемость была еще выше: 78 % кладок и 27,1 % личинок. Но самое удивительное заключалось в том, что самки, чьи кладки охранялись муравьями, значительно раньше покидали свое потомство, чем те, к которым муравьи не приходили. В среднем при отсутствии муравьев самки оставались со своими личинками 32,2 $\pm$ 7,5 дней и толь-

ко 5,9 $\pm$ 1,8 дня — в случае нормальных мутуалистических отношений. Причем горбатки, оставившие своих личинок, успевали за время, пока лишенные помощи муравьев самки продолжали самостоятельно охранять свое потомство, вывести дополнительную партию личинок.

Следовательно, мутуалистические отношения с муравьями позволяют горбаткам, как бы передавшим часть своих материнских забот, дополнительно размножаться, т. е. увеличивать свою эволюционную приспособленность. Подобная непрямая выгода от мутуализма обнаружена у насекомых впервые.

В. Е. Кипятков,
кандидат биологических наук
Ленинград

Биология

Кроме бинокляра — электрофорез

Одна из проблем биологии — инвентаризация живого — еще далека от своего решения. Особенно это заметно на примере насекомых и прочих беспозвоночных: не только регулярно выходят статьи с описанием сотен новых видов, но и в представлениях об уже известных и принятых видах нередко происходят изменения. Не столь удивительно, если это касается мелких или редких насекомых. Но оказалось, например, что даже широко распространенные — от лесостепи до лесотундры — черные шмели с двумя желтыми перевязями (на передней части спинки и на втором тергите брюшка), описанные К. Линнеем как один вид (*Bombus lucorum*), в действительности представляют собой два разных вида. К этому выводу пришли швейцарские исследователи А. Шелл и Е. Обрехт (A. Schell, E. E. Obrecht; Зоологический институт при Университете г. Берна).

Шмелей, пойманных в Швейцарии, Западной Германии и во Франции, исследователи изучали на биохимическом уровне. Оказалось, что среди соб-

¹ Мутуализм — форма симбиоза, выгодная обоим участвующим в нем организмам. О мутуализме у кроветок см.: Буруковский Р. Н. Кроветки-чистильщики. — Природа, 1981, № 10, с. 116.

² Bristow C. M. — Science, 1983, v. 220, № 4596, p. 532.

ранных образцов встречаются представители двух видов. Шмели различаются тем, что два из их ферментов — фосфоглюкомутаза и эстераза-1 — имеют разную электрофоретическую подвижность (т. е. подвижность в электрическом поле), обусловленную различием их химического строения. В горных районах Швейцарии обитал только один из этих видов, в остальных же местах оба вида обитали совместно, но, очевидно, не скрещивались: здесь у шмелей оба фермента принадлежали либо к одному, либо к другому типу и ни разу не удалось обнаружить гетерозиготных особей, имеющих фосфоглюкомутазу первого, а эстеразу-1 второго типа, или наоборот.

Таким образом, использование новых методов в систематике позволило разграничивать виды там, где прежде этого сделать не удавалось. Но почему швейцарские энтомологи исследовали именно шмелей данного вида? Дело в том, что еще в начале века между ныне установленными видами были замечены некоторые морфологические различия. На основании образцов, разделенных с помощью электрофореза, авторы, уже заранее зная, что виды разные, достаточно успешно ведут поиск более четких различий во внешнем строении шмелей, которые дадут возможность идентифицировать виды, не прибегая к трудоемким биохимическим исследованиям.

Apidologie, 1983, v. 14, № 2, p. 65 (Франция).

Биология

Необычные случаи приспособления

Орнитолог Н. Смит (N. Smith; Институт тропических исследований, Панама) в течение многих лет наблюдал за поведением воловьей птицы (*Molothrus*). Самка этого вида, подобно кукушке, откладывает яйца в чужое гнездо, обычно — в височее, достигающее 1 м в длину гнездо кассика. Смит установил, что в

тех гнездах кассика, где помимо своих находились также яйца воловьей птицы, количество хозяйских оперившихся птенцов больше, нежели в гнездах без «подброшенных детей». Этот факт противоречит прежним наблюдениям, сделанным в умеренной зоне Северной Америки, где птенец воловьей птицы нередко вообще остается единственным выжившим из всех птенцов.

Как оказалось, только что вылупившийся птенец воловьей птицы вскоре начинает склевывать с хозяйских птенцов кровососущих клещей, обычно паразитирующих на них (если клещей не уничтожать, они часто становятся причиной гибели молодых птиц). Такое явление «полезного паразитизма» среди пернатых — большая редкость.

Другой случай необычного приспособления наблюдал энтомолог из того же института У. Эберхард (W. Eberhard). Самка паука *Mastophaera*, населяющего влажный тропический лес Панамы, перед охотой сплетает одиночную прядь паутины и натягивает ее горизонтально поперек поляны. Затем, уцепившись за нее задними ногами, самка выпускает другую, короткую нить, на конце которой образован небольшой липкий комочек. Когда в воздухе появляются мотыльки — обычная для этого вида добыча, мастофера начинает раскручивать свое «оружие», подобно тому как индейцы раскручивали боло — метательное орудие, помогавшее им стрелять крупное животное на полном скаку. Липкий шарик на конце ловчей паутины при этом не только служит грузилом, но и прикрепляется к телу жертвы, обездвиживая ее.

Однако вероятность помета мотыльков вблизи засады мастоферы, по-видимому, невелика, и поэтому Эберхард провел химическое исследование тела паука. Выяснилось, что, выходя на охоту, мастофера начинает выделять пахучее вещество, сходное с тем, что выделяют самки данного вида мотыльков. Привлеченные запахом самцы слетаются и попадают в радиус действия метательного снаряда мастоферы.

New Scientist, 1983, v. 98, № 1363, p. 866 (Великобритания).

Микробиология

Открыты новые термофильные микроорганизмы

В последние годы были открыты микроорганизмы, способные жить при высоких температурах. Наиболее сенсационное сообщение принадлежит Дж. Барросу и Дж. Демингу (J. Baross, J. Deming; Университет штата Орегон и Мерилендский университет им. Дж. Гопкинса, США). На глубине 2600 м, в подводном вулкане, расположенном на калифорнийской стороне Восточного Тихоокеанского хребта, они обнаружили бактерии, способные жить при температуре +250 °C и под давлением в 265 атм. Это намного превышает предыдущий «рекорд», о котором сообщил К. Штеттер, открывший существование микроорганизмов, живущих под давлением 2 атм и при температуре +105 °C¹.

Проведенные исследования показали, что бактерии, обнаруженные на дне океана, хорошо растут и размножаются при таких необычных условиях. Более того, условия, возникающие при температуре ниже +80 °C, для них неблагоприятны. Химический анализ показал, что в состав микроорганизмов входят те же компоненты, которые имеются и у обычных бактерий: ДНК, белки и липиды. Обычно молекулы этих веществ инактивируются при температуре кипящей воды, а при 250 °C нормальные белки подвергаются коагуляции с необратимой денатурацией. Анализ белков бактерий, живущих при 250 °C, показал, что их аминокислоты более богаты слабыми (или водородными) связями, чем аминокислоты обычных бактерий, и что такие связи способны придать белкам дополнительную устойчивость к влиянию высоких температур. Кроме того, в состав белков этих бактерий входит более 25 % аминокислот необычной структуры, ко-

¹ Микроорганизмы — обитатели подводных гидротерм. — *Природа*, 1983, № 8, с. 110.

которые отсутствуют в белках «нормальных» бактерий.

Устойчивость липидов термофильных бактерий к высоким температурам, по-видимому, объясняется их строением. Помимо молекул, состоящих из линейных цепей, в них входят молекулы, цепи которых разветвлены. Такая структура создает дополнительное количество слабых связей и увеличивает силу сцепления липидов с клеточными мембранами. При росте внешней температуры такие связи должны стать еще прочнее. Кроме того, высокое давление, при котором живут эти микроорганизмы, может частично противодействовать разрушению молекул белков или липидов при высоких температурах. Источником питания термофильных бактерий служат минеральные вещества (главным образом сера). В результате происходящих при этом процессов метаболизма образуются сероводород и метан.

Открытие термофильных бактерий, способных существовать при таких высоких температурах и давлениях, породило ряд вопросов, связанных с эволюцией и происхождением жизни на Земле. В частности, возникает предположение, что эти микроорганизмы могли быть теми первоначальными или близкими к ним формами жизни, которые сохранились до наших дней и от которых пошла свое происхождение живая материя. Возможно, жизнь на Земле зародилась при таких высоких температурах и давлениях, в отсутствие кислорода, в вулканической среде, богатой серой как источником питания. Эти и другие вопросы могут стать отправными для создания новых гипотез о происхождении жизни. *Nature*, 1983, v. 301, № 5900, p. 511; v. 303, № 5916, p. 423 (Великобритания).

Зоология

Рыба роет нору для икры

Американские океанологи исследовали распределение радиоактивных изотопов в осадках на материковом склоне близ берегов штата Вашингтон. Ко-

робчатым пробоотборником размером 20×30 см они брали колонки грунта высотой 50 см, разрезали их послойно и анализировали. Каково же было их изумление, когда в колонке, взятой на глубине 1265 м, они обнаружили между 10-м и 12-м сантиметрами от поверхности грунта кладку рыбьей икры! Икра была необычно крупной для морских рыб — 7 мм, т. е. примерно как кетовая. 26 икринок — шаровидных, гладких, светло-пурпурного цвета — были склеены в комок. В икринках виднелись крупные с огромным желточным мешком эмбрионы, которым, судя по строению, оставалось до вылупления еще несколько недель. По числу позвонков и некоторым другим признакам удалось установить, что кладка принадлежит скорее всего рыбе из рода *Bothrocara* семейства бельдюговых (*Zoaridae*).

У западных берегов Канады и США обитают два вида ботрокар: коричневая (*B. brunneum*), достигающая в длину 66 см, и более мелкая (до 25 см) мягкая ботрокара (*B. molle*)². Обе распространены от Берингова моря до Южной Калифорнии вплоть до глубин 1600—1650 м.

Окружавший икринки грунт был не зеленоватым, как в соседних слоях, а коричневатый, окисленный, как на поверхности. Концентрация ионов аммония и кремнекислоты в воде содержащего икринки слоя была ниже, чем непосредственно над и под этим слоем, — это указывает на обогащение поровой воды кислородом. Содержание ²³⁴Th примерно вдвое ниже, чем на поверхности осадка, но в 3,5 раза выше, чем в слое над икринками. Отсюда сделан вывод, что в толщу грунта попала примесь окисленного осадка с поверхности дна и произошло это, как удалось установить по уменьшению концентрации тория, дней за 20 до взятия пробы. Можно предположить, что самка выкопала в мягком

иле глубокий ход, отложила на дно норы икру, затем туда залпыл самец, который оплодотворил икринки, и, наконец, рыбы «заровняли следы». Мальки, вылупившиеся из столь крупных яиц, должны быть в состоянии сразу самостоятельно преодолеть толщу рыхлого грунта и выбраться на поверхность.

Семейство бельдюговых богато представлено на шельфе (особенно в Арктике и умеренной зоне) и в глубинах океана. Глубоководные бельдюговые рыбы одними из первых собираются на наживку, которой снабжают автоматические фотокамеры для фотографирования океанического дна и его обитателей. Неоднократно находили их и из подводных аппаратов. Они малоподвижны, и наблюдать за ними нетрудно. Но о размножении большинства бельдюговых мало что известно. Обыкновенная европейская бельдюга (*Zoarces viviparus*) живородящая; американская бельдюга (*Macrzoarces americanus*) откладывает крупную икру на дно, и самка охраняет кладку³. Что же касается основной массы северных, тихоокеанских и глубоководных видов, то известно лишь, что у них крупная донная икра и прямое развитие, без стадии пелагической личинки. Полное вероятно, что выкапывание нор и откладывание в них крупных икринок, из которых вылупляются готовые к активному донному образу жизни мальки, свойственно многим видам семейства бельдюговых.

К. Н. Несис,
кандидат биологических наук
Москва



Экология

Кофе и медь

Проходившая в сентябре 1983 г. в Амстердаме (Голландия) международная конференция была посвящена влиянию тя-

¹ Kendall A. W. et al. — *Marine Biology*, 1983, v. 75, № 2/3, p. 193.

² Hart J. L. *Pacific fishes of Canada*. Ottawa, 1973.

³ Breder C. M. Jr., Rosen D. E. *Modes of reproduction in fishes*. N. Y., 1966.

железы металлов на состояние окружающей среды. В докладе агрохимиков Н. Леппа (N. Lepp; Ливерпульский политехнический институт, Англия) и Н. Дикинсона (N. Dickinson; Университетский колледж им. Дж. Кеннаты, Найроби, Кения) сообщалось о серьезном загрязнении медью почвы в Кении.

За последние 30 лет кофейные плантации страны усиленно обрабатывались фунгицидами, содержащими оксихлориды и сульфаты меди и оказывающими воздействие на возбудителей главных болезней, которым подвержены растения кофе, — ржавчину листьев и гниль, поражающую плоды. По измерениям Леппа и Дикинсона, содержание меди в почвах плантаций, подвергавшихся опрыскиванию, в 20 раз превышает ее содержание на необработываемых участках. Растение кофе отличается довольно высокой устойчивостью к меди, но, несмотря на это, в отдельных районах некоторые растения начинают проявлять признаки медного отравления — замедляется рост, хрупкость листьев повышается.

Тем не менее потребители кофе могут оставаться спокойными: в семенах растений, которые идут на приготовление напитка, медь, к счастью, не концентрируется.

Если плантации кофе в Кении серьезно пострадают от загрязнения почвы медью, это самым тяжелым образом скажется на экономике страны: продажа кофе приносит 2/3 валютных поступлений в бюджет, а переход на другую экспортную культуру в настоящее время представляется невозможным. *New Scientist*, 1983, v. 99, № 1377, p. 913 (Великобритания).



Охрана природы

Пингвинов выводят в инкубаторе

Орнитологи Института исследования моря им. Хаббса (Сан-Диего, штат Калифорния, США) поместили в инкубатор



Птенец императорского пингвина «под охраной» игрушечной собачки.

два яйца королевского пингвина, которые были оставлены родителями, содержащимися в aviarii этого института. Из яиц — впервые в подобных условиях — вывелись два полноценных птенца. Их развитие отличалось тем, что линька и замена «детского» пуха на водонепроницаемое взрослое оперение произошли не на 13-м месяце жизни, как обычно в естественной среде, а на 7-м. Специалисты объясняют это тем, что в aviarii птенцов кормили ежедневно, тогда как в природных условиях они нередко неделями остаются без пищи.

В том же институте недавно удалось вырастить без родителей и птенца более крупного вида — императорского пингвина. Этому птенцу было полтора месяца, когда его забрали от родителей, явно не уделявших ему должного внимания. Для имитации утробы, предоставляемого птенцу родителями в их подбрюшье, пришлось использовать мягкую игрушечную собачку, с которой птенец отлично контактировал.

За время экспериментов, начатых здесь в 1976 г., в aviarii было выращено около двадцати пингвинов Гумбольдта и восьмидесяти пингвинов Адели¹.

¹ См. также: Первый случай размножения императорского пингвина в неволе. — *Природа*, 1981, № 11, с. 113.

Орнитологи намерены добиваться прекращения завоза живых пингвинов для зоопарков, так как смертность доставляемых из Антарктиды птиц велика. Потери при доставке яиц и выведении птенцов в инкубаторе, очевидно, будут не столь значительны.

Science News, 1983, v. 123, № 10, p. 151 (США).



Охрана природы

Качество воды контролирует рыба

Во Франции разработан метод контроля качества воды с использованием ручьевой форели, отличающейся высокой чувствительностью к ее загрязнению. Известно, что биотоки мозга этой рыбы меняются при появлении в воде посторонних веществ даже в незначительных количествах. Недостаток методики заключается в сложности вживления электродов в мозг рыбы; кроме того, обработка получаемых при этом данных требует достаточно сложной электронно-вычислительной техники.

Принципиально новый способ предложен научными сотрудниками Кобургского технического института и усовершенствован изобретателем Б.-Х. Циппе (B.-H. Zippe) из Вертгейма (ФРГ). Он основан на физиологических особенностях рыб гнатомемов-убанги (*Gnathomemus petersi*), населяющих реки тропической Африки. Эти рыбы принадлежат к семейству клюворылых, все виды которого имеют электрический орган, создающий постоянное электромагнитное поле. Электролокация служит рыбе, обитающей в мутной воде, средством ориентации, обнаружения опасности, поиска пищи и опознавания других особей своего вида.

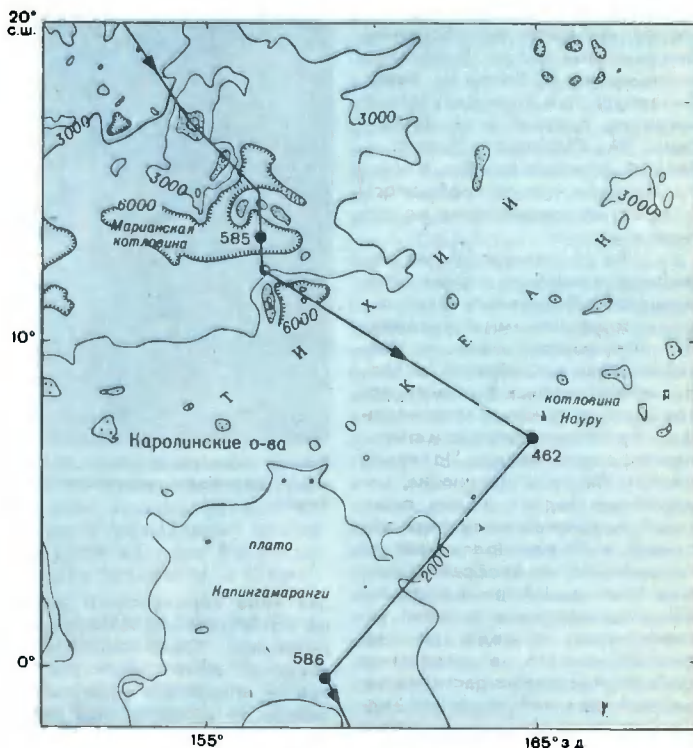
Установлено, что в чистой, без примесей, воде электроорган гнатомема излучает 400—800 импульсов в секунду. При попадании в воду даже незначительных количеств загрязняющих веществ частота импульсов резко

снижается. Так, для примесей свинца «границей тревоги» служит концентрация 0,3 мг/л, для трихлорэтилена — концентрация 10^{-4} и т. д. Такие малые концентрации существенно ниже стандартов для питьевой воды.

Запатентованное в ФРГ устройство для регистрации такого эффекта основано на использовании простейших электродов, опущенных в воду бассейна, где содержится рыба. Оно постоянно регистрирует частоту испускаемых ею импульсов и в случае резкого снижения частоты дает световой или звуковой сигнал о необходимости взять пробу воды на анализ.

В небольшом городке Гёппингене такая система контроля водопроводной воды работает уже три года и считается вполне себя оправдавшей. В более крупных городах — Вюрцбурге и Ульме — она установлена в 1983 г. Всего в трех названных городах ФРГ питьевой водой, контролируемой подобным образом, пользуются 400 тыс. человек.

New Scientist, 1983, v. 99, № 1368, p. 270 (Великобритания).



Геология

89-й рейс «Гломара Челленджера»

Экспедиции 89-го рейса, проходившего в октябре — ноябре 1982 г., предстояло выяснить действительный геологический возраст тех участков дна Тихого океана, которые, по геофизическим данным, считаются древнейшими. Руководили экспедицией американские исследователи Р. Моберли и С. Шланджер (R. Moberly, S. Schlanger; Гавайский институт геофизики и Северо-Западный университет, штат Иллинойс)¹. Пробурено было три скважины: в Марианской котловине, в котловине Науру и на плато Капингаманги.

Маршрут 89-го рейса «Гломара Челленджера», который начался из порта Йокогама (Япония) и завершился в Нумеа [о-ва Новая Каледония], и местоположение пробуренных скважин. Изобаты — в метрах.

В Марианской котловине литосфера, по геофизическим данным, имеет возраст около 160 млн лет. Бурившаяся здесь в 20-м рейсе² скважина 199 была остановлена, когда буровой инструмент, пройдя известняки кампана, вошел в плотные туфы предположительно того же возраста — около 75 млн лет. Проходка новой, 585-й скважины на отрезке верхних 256 м шла ради экономии времени без отбора керна. Ниже отбор производился непрерывно, но сохранность керна оказалась чрезвычайно неравномерной (что вообще характерно для осадочных толщ с прослоями кремней).

До глубины 399 м верхняя часть осадочного чехла в

Марианской котловине представляет собой преимущественно известковые осадки (нанопланктонный мел, известняки с прослоями кремней, а также цеолитовые аргиллиты), имеющие возраст 40—65 млн лет (средний эоцен — маастрихт). Глубже количество карбонатного материала уменьшается, и примерно с уровня 426 м и до 590 м залегают цеолитовые аргиллиты с прослоями кремней. В этой части разреза появляются радиоляриевые пески, обнаружен также тонкий слой, резко обогащенный органическим углеродом, — свидетельство массовой гибели морских организмов. Возраст этой части 65—100 млн лет (маастрихт — средний альб). С глубины 590 м и вплоть до забоя скважины (893 м) залегают вулканогенно-осадочные породы (обломки базальтов, песчаники, аргиллиты и их брекчии). Предположительный возраст осадков в забое скважины — верхний апт.

Из-за технических неполадок и ухудшившихся погодных условий бурение скважины 585 пришлось остановить. Таким об-

¹ JOIDES Journal, 1983, v. IX, № 1, p. 12.

² Природа, 1972, № 5, с. 60.

разом, базальтовый фундамент, отражающий действительный геологический возраст образования котловины, достигнут не был. Тем не менее участники рейса пришли к ряду важных выводов. Установлено, что акустическому фундаменту в этой скважине соответствуют плотные вулканогенно-осадочные породы (глубина около 620 м, возраст около 105 млн лет), а не базальты. Марианская котловина находилась, по мнению участников рейса, на абиссальных (наибольших) глубинах по крайней мере с аптского возраста. В апте и альбе окружающие котловину вулканические постройки достигли поверхности океана и на их вершинах (или вокруг них) начали формироваться коралловые рифы. С островов и подводных гор мутьевые потоки сносили в котловину мелководные обломки. Около 91,5 млн лет назад (на границе сеномана и турона) тонкий горизонт, сложенный органическими остатками, отразил глобальное событие в жизни океана: в это время резко уменьшилось содержание в воде кислорода, что вызвало массовую гибель морских организмов. В настоящее время это событие синхронно устанавливается практически для всей Земли — в Атлантическом океане, в осадках исчезнувшего океана Тетис, в морских отложениях на территории США и т. д.

По палеомагнитным свойствам осадков установлено, что в аптское время Марианская котловина располагалась южнее экватора, у 12° ю. ш.; в конце мелового периода она находилась на экваторе, а в настоящее время, как известно, располагается к северу от него, у 13° с. ш.

Котловина Науру образовалась, по предположению специалистов, примерно 150 млн лет назад. Бурившаяся здесь в 61-рейсе³ скважина 462 была остановлена на глубине 1068,5 м, когда буровой инструмент вошел в базальты раннемелового возраста (около 105 млн лет). Наличие этих более молодых базальтов в той части океана, где ожидалось встретить древ-

нюю океаническую кору, вызвало много научных споров — вот почему важно было продолжить бурение этой скважины. Она была углублена на 140 м, и на уровне 1209 м бурение прекратили. Оказалось, что в разрезе преобладают базальтовые лавы (выделено по крайней мере 11 потоков), перемежающиеся с осадками раннеаптского возраста (около 115 млн лет). Однако в этих осадках содержится переотложенная фауна фораминифер более раннего возраста (120—130 млн лет), что, по мнению участников рейса, свидетельствует о возможности обнаружения под базальтами более древних осадков. Пока же — впервые за всю долгую историю Проекта глубоководного бурения — полученные результаты показали расхождение с прогнозом возраста дна по магнитным аномалиям.

Последняя скважина рейса, 568-я, была неглубокой. Поставленная при ее бурении задача — детально исследовать верхнюю часть осадочного чехла — тематически относится к следующему, 90-му рейсу. Поэтому анализ и интерпретация геологического материала, отобранного гидравлическим пробоотборником в этой скважине, оставлены участникам нового рейса.

А. Е. Сузюмов,
кандидат геолого-минералогических наук

Москва

Геология

Европейский геотраверс

В ноябре 1982 г. группа западноевропейских стран заключила соглашение о проведении Европейского геотраверса — крупного международного проекта в области наук о Земле, рассчитанного на 5—7 лет. Цель участвующих в проекте геологов, геофизиков, петрологов, геодезистов — изучение процессов формирования континентальной литосферы и ее преобразования в ответ на изменение физических и геохимических условий со временем.

Европа представляет собой один из наиболее подходящих для этого регионов, поскольку в ее состав входит несколько весьма различных геологических провинций, возраст которых колеблется от древнейшего докембрийского (в Скандинавии) до молодого (в области Средиземноморья, характеризующихся высокой современной тектонической активностью).

Геотраверс должен дать непрерывный разрез, позволяющий собрать новую информацию относительно динамики вертикальных и латеральных изменений литосферы как в пределах каждой из провинций, так и на стыках между ними. Выполнявшиеся до сих пор геофизические и геологические съемки хотя и дали немало ценных сведений, одновременно указали на существование ряда фундаментальных проблем, которые могут быть решены лишь в рамках крупномасштабного междисциплинарного международного проекта.

Проектom охватывается полоса от северной оконечности Скандинавского п-ова до Северной Африки. Она включает архейское ядро северной оконечности Балтийского щита с возрастом более 2,5 млрд лет, протерозойскую, палеозойскую и кайнозойскую провинции Северной и Центральной Европы и активную переходную зону между Евразийской и Африканской плитами земной коры в Средиземноморье. Таким образом, геотраверс на протяжении 4 тыс. км представит всю геологическую историю континента.

Из многочисленных разделов программы работ ныне осуществляются глубинное сейсмическое зондирование литосферы в южной части траверса и сейсмическая съемка с большим разрешением по разрезу Гетеборг (Швеция) — Малага (Испания) на глубину до 600 км; с 1984 г. начинается разностороннее исследование зоны контакта между кембрийской и герцинской областями Европы (южная Норвегия — юго-западная Швеция, Дания — север ФРГ).

Для руководства проектом создан Научно-координационный комитет, в состав ко-

³ Природа, 1979, № 7, с. 58.

торого входят представители Дании, Западного Берлина, Италии, Великобритании, Нидерландов и Франции. Финансирование осуществляется как из общих средств Европейского научного фонда, так и за счет взносов отдельных стран — участников проекта.

EOS, Transactions of the American Geophysical Union, 1983, v. 64, № 29, p. 458 (США).

Геология

Картирование осадков по акустическим свойствам

Американские геофизики Дж. Дамус, Р. Джакоби и Д. Хейс (J. Damus, R. Jacobi, D. Hayes; Геологическая обсерватория им. Ламонта и Дозэрти) изучили эхограммы и сейсмограммы, полученные в Северо-Западной котловине Тихого океана. Поскольку разные типы осадков по-разному отражают акустический сигнал, посылаемый с борта научно-исследовательского судна, авторы на основании чрезвычайно большого объема материала по мере дна получили возможность составить подробную карту распределения осадочных фаций и, кроме того, дать анализ океанологических условий в этой части океана за последние тысячелетия, включая ледниковый период.

Выделено пять типов осадочных фаций, различающихся по своим акустическим свойствам. Первый тип распространен в той части Северо-Западной котловины, которая прилегает к Курило-Камчатской гряде; для его акустического поля характерно наличие многочисленных отражений, которые создаются прослоями вулканических пеплов, залегающих среди кремнистых илов. Второй тип связан с возвышенностями дна: осадочные отложения на склонах даже невысоких (до 100 м) возвышенностей весьма неустойчивы и создают оползни, которые отражаются в акустическом поле характерным хаотическим рисунком. Третий тип встречается

на юго-востоке котловины. Это акустически «прозрачные» осадки с редкими, короткими отражающими горизонтами внутри осадочного слоя. Так обычно на эхограммах и сейсмограммах выглядят красные глубоководные глины с прослоями кремней. Четвертый тип, акустическое поле которого характеризуется неровными прерывающимися отражениями, развит преимущественно в северной и южной частях котловины у подножий гор и возвышенностей дна. По интерпретации авторов, такие осадочные фации образовались под воздействием придонных течений, создавших эрозионно-осадочные формы рельефа дна. В настоящее время придонные течения в этой части Тихого океана очень слабы и древний эрозионно-осадочный рельеф постепенно захороняется под более молодыми осадками. В ледниковый же период, как предполагают авторы, глобальное похолодание на планете вызвало интенсивные нисходящие потоки водных масс, которые, с заметной скоростью распространяясь вдоль дна, размывали осадки. Наконец, пятым типом отмечены на карте фациальные условия, в которых осадки не отлагаются (или же их накопилось чрезвычайно мало) — это крутые склоны подводных гор, уступы разломов дна океана и другие участки обнаженного фундамента.

Geological Society of America Bulletin, 1983, v. 94, № 3, p. 381—395 (США).

Химия атмосферы

Загрязнение воздуха Арктики

Весной 1983 г. большая группа специалистов из США, Канады, ФРГ и Норвегии исследовала состояние атмосферы над Арктическим бассейном. Работы выполнялись с самолетов, базировавшихся на Аляске, в Гренландии и северной части Скандинавского п-ова. Основное внимание было обращено на химический состав загрязняющих

атмосферу частиц и распространение их на разных высотах.

Содержащиеся в атмосфере частицы имеют в основном два источника: либо это частицы пыли, принесенные воздушными потоками из пустынь Восточного Китая и Монголии, либо это продукты промышленного происхождения. По свидетельству авторов, природные частицы легко отличаются по наличию в них алюминия (в промышленных загрязнителях этот элемент практически отсутствует); показателем промышленного происхождения загрязнителей служит ванадий.

Степень загрязнения воздуха Арктики подвержена интенсивным сезонным и климатическим колебаниям. В весенний период, когда велись наблюдения, в 1 м³ воздуха содержалось 2 мкг сульфатов, около 1 мкг органического углерода, от 0,3 до 0,5 мкг углерода, имеющего неорганическое происхождение (сажа). Сравнив эти результаты с исследованиями, проведенными ранее, авторы приходят к выводу, что поздней весной и летом воздух Арктики практически лишен загрязнителей. Связано это со своеобразными метеос условиями, препятствующими в летний период поступлению в Арктику воздушных масс из континентальных областей. Начиная с конца октября, когда воздух над Арктикой становится более сухим, открывается возможность для переноса с континентов в Арктический воздушный бассейн загрязнителей — как естественного, так и промышленного происхождения.

EOS, Transactions of the American Geophysical Union, 1983, v. 64, № 28, p. 449 (США).

Геохимия

О «непотопляемости» железомарганцевых конкреций

Среди минеральных ресурсов Мирового океана особое внимание своей доступностью привлекают железомарганцевые конкреции. Парадоксально,

что в некоторых районах океана железомарганцевые конкреции в течение тысяч и миллионов лет могут оставаться на поверхности илов. Известно, что скорость накопления ила измеряется миллиметрами за тысячу лет, а средняя скорость роста конкреций — миллиметры за миллион лет. Казалось бы, прежде чем конкреция увеличит свой диаметр хотя бы на миллиметр, она будет погребена слоем осадков от нескольких сантиметров до нескольких метров. Тем не менее этого не происходит. Парадокс «непотопляемости» конкреций пытались объяснить сейсмическим «встряиванием», гравитационным сползанием грунтов, деятельностью подводных течений и даже морской фауны, которая перемещает осадки с верхней части конкреций под нижнюю.

Однако, по мнению И. Н. Горяинова и Г. И. Горяиновой (ВНИИ геологии минеральных ресурсов Мирового океана, Ленинградский политехнический институт им. М. И. Калинина), действие таких факторов носит локальный и в значительной степени случайный характер. Глобальность же распространения «непотопляемых» конкреций должна быть связана с постоянно действующими на всей протяженности Мирового океана факторами. Ими могут быть упруго-пластично-вязкие свойства слоев медленно образующихся илов, промежуточных между жидкостью и твердым телом. Как жидкости они передают внешнее давление равномерно во все стороны; как твердые тела обладают структурной прочностью, сопротивлением сдвигу и сжатию. Накопление осадков сопровождается непрерывным уплотнением ила, в верхних его слоях — глинистых суспензиях — идет изменение степени дисперсности осадка, его старение и дегидратация. При увеличении концентрации глинистых частиц до 0,5—1 % в суспензии наблюдается образование агрегатов — цепочек, которые постепенно превращаются в трехмерную коагуляционную сетку. Соответственно резко возрастает пластическая прочность.

За счет уплотнения ила (компрессии) погруженная в новообразующийся ил часть конкреций испытывает давление большее, чем остальная часть, находящаяся под действием гидростатического давления. Если вертикальная составляющая компрессии больше веса и сил сцепления (слипания) конкреции с илом, то конкреция будет выдавливаться уплотняющимся осадком вверх, пока не уравновесятся противоположно действующие силы. В результате конкреция может всплыть над поверхностью уплотняющегося ила. Расчеты показали, что пластической прочности и давления уплотняющегося ила (с плотностью до 1,6 г/см³) достаточно, чтобы выжимать и держать на плаву железомарганцевые конкреции с плотностью 1,91—1,95 г/см³. Низкие скорости процесса образования осадков способствуют выжиманию конкреций из уплотняющегося океанического ила и сохранению конкрецией неизменного устойчивого положения.

Доклады АН СССР, 1983, т. 272, № 2, с. 432—437.

Сейсмология

Сейсмическая станция под океаническим дном

В соответствии с разрабатываемой в США программой по созданию морской сейсмической системы недавно установлена первая в мире постоянная автономная сейсмическая станция в буровой скважине на дне океана. Станция размещена приблизительно в 1000 м на юго-запад от Таити, в районе желоба Тонга¹, который относится к одной из самых активных сейсмических зон на Земле.

Сейсмическая станция представляет собой контейнер, в котором смонтированы ком-

пьютер, 4 сейсмометра и другие датчики. Контейнер заключен в цилиндр диаметром 20 см и длиной 10,7 м, не подверженный коррозионному действию морских вод и способный выдерживать давление более 680 атм. Цилиндр вошел в скважину с помощью специальной аппаратуры бурового судна «Гломар Челленджер». Глубина океана в точке установки 5486 м; глубина скважины, пробуренной в базальтовых лавах, 122 м. К этому контейнеру подведен электро-механический кабель, соединяющий его с другим контейнером — накопителем данных, который имеет размеры 2,4×2,4×1 м и весит 4540 кг. В нем заключены магнитофоны, аппаратура для обработки сейсмических сигналов и батареи питания для скважинного контейнера на 45 суток. Контейнер-накопитель успешно проработал на дне океана с 11 февраля по середину марта 1983 г. и затем был поднят исследовательским судном «Мелвилл» для оценки качества собранного материала.

Специалисты-сейсмологи полагают, что подобные установки, размещенные в коренных породах дна океана, должны быть особенно чувствительны к землетрясениям (исключение составляют лишь наиболее совершенные наземные станции, способные фиксировать самые слабые толчки и отделять естественные землетрясения от искусственных подземных взрывов).

Проделанная работа была третьей и заключительной фазой по программе создания морской поддонной сейсмической станции. Во время первой фазы, которая выполнялась в центральной части Атлантического океана в 1981 г. по Международной программе глубоководного бурения (78-й рейс «Гломара Челленджера»), испытывалась сама идея введения сейсмометра в скважину. Вторая фаза (88-й рейс) проходила в северо-западной части Тихого океана (Алеутские и Курильские о-ва), но две предпринятые попытки пройти скважины оказались неудачными и контейнер не мог быть использован. Тогда в Гавайском

¹ Подробнее об этом районе см.: Пущин И. К. Экспедиция к желобу Тонга. — Природа, 1983, № 9, с. 25.

институте геофизики (Гонолулу, штат Гавайи, США) был построен меньший контейнер с дублирующим устройством, и третья фаза проекта успешно завершилась.

Bulletin of the American Meteorological Society, 1983, v. 64, № 7, p. 808 (США).

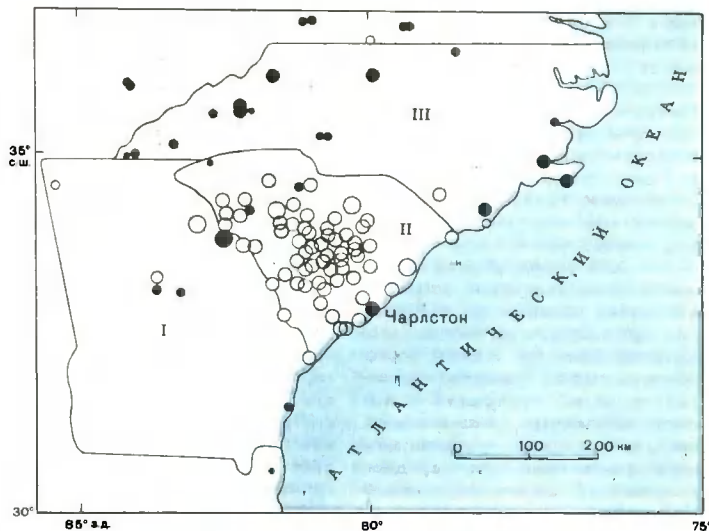
Палеосейсмология

Чарлстонское землетрясение 1886 года

Палеосейсмология — сравнительно новое направление исследований сейсмичности — изучает подземные толчки, происшедшие в эпоху, когда сейсмических станций было еще слишком мало или не было вовсе; источником информации в этом случае служат различные письменные документы¹.

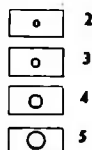
Сейсмологи Л. Сиббер и Дж. Армбрустер (L. Seeber, J. Armbruster; Геологическая обсерватория им. Ламонта и Дозрты, США) провели настоящую «охоту» за газетными сообщениями о землетрясениях 1886 г., происшедшем вблизи г. Чарлстон (Южная Каролина). Это был сильнейший из подземных толчков на восточном побережье США за всю историю страны, т. е. по крайней мере за последние 300 лет. Исследователи просмотрели 7000 номеров более чем 50 газет, издававшихся в США в период с 1886 по 1889 г., и составили каталог, содержащий сведения о 470 афтершоках, последовавших за главным толчком.

По степени наблюдавшихся разрушений, описанных в газетах, были определены эпицентры толчков и их магнитуда. Положив эти данные на карту, исследователи выяснили, что сейсмичность была сосредоточена вдоль сравнительно узкой полосы, протягивающейся в северо-



Землетрясение 1871—1889 гг. в штатах Джорджия (I), Южная (II) и Северная (III) Каролина (по газетным сообщениям). Черными кружками обозначены эпицентры и магнитуда землетрясений за период 1871 — июль 1886 гг., светлыми кружками — за период с сентября 1886 по 1889 г. (здесь отмечены только землетрясения с магнитудой больше 3).

Величина магнитуды



ро-западном направлении (см. рис). Если учесть, что наблюдавшаяся ранее сейсмичность на востоке США была значительно более рассеянной, становится понятным, что землетрясение 1886 г. связано с крупной, специфической деформацией земной коры.

Авторы так объясняют причину подземного толчка 1886 г. и связанных с ним афтершоков: район Аппалачских гор на восточном побережье США является ослабленной зоной земной коры; продолжающееся погружение прибрежной зоны приводит к дроблению континентальной коры на блоки. Возможно, под осадочным чехлом в районе Чарлстона про-

ходит крупный разлом, предположительно сдвиг.

Подобные палеосейсмологические исследования необходимы для более надежных прогнозов землетрясений в различных регионах мира.

LAMONT (Newsletter of Lamont-Doherty Geological Observatory of Columbia University), 1983, № 2, p. 6—7 (США).

Палеонтология

Игуанодон с необычным жевательным аппаратом

Во время раскопок на о-ве Уайт (Британские о-ва) обнаружены остатки игуанодона (*Iguanodon atherfieldensis*). Находка отличается очень редкой сохранностью; оказались даже полностью связанными между собой все части костяка животного, достигавшего 6 м в длину.

Специалистам хорошо известно крупное захоронение игуанодонов в Берниссаре (Бельгия); в свое время там были обнаружены остатки 24 более или менее полных скелетов, позволивших создать весьма внушительную экспозицию в Королевском музее естественной истории в Брюсселе. Однако для развития палеонтологий эти находки дали сравнительно ма-

¹ См.: Никонов А. А. Сильнейшее землетрясение Кавказа. — Природа, 1983, № 1, с. 119; он же. Землетрясения в легендах и сказаниях. — Природа, 1983, № 11, с. 66.

ло. Объясняется это тем, что в процессе окаменения часть соединений в костной ткани замещается пиритом, придающим костным остаткам большую хрупкость. Чтобы предотвратить их разрушение, найденные остатки покрывают толстым слоем токсичного клеящего состава, что затрудняет их детальное изучение.

Анатомическая реконструкция игуанодона с о-ва Уайт показала, что это был растительноядный ящер, принадлежащий к подотряду орнитопод из отряда птицетазовых динозавров. Орнитоподы появились в конце триасового периода, но тогда были немногочисленны и мало разнообразны в видовом отношении. В нижнемеловой период, сохраняя незначительное число видов, орнитоподы (в особенности игуанодоны с длиной тела 6—10 м) весьма широко распространились на материках. На протяжении верхне-

мелового периода от орнитопод уже分离лись разнообразные виды средних и крупных гадрозавров (утконосых динозавров), но как именно это произошло, до сих пор оставалось неясным. Новая находка в этом отношении представляется очень важной.

Особый интерес у палеонтологов вызывает строение черепа и челюстных костей игуанодона с о-ва Уайт. Это животное обладало оригинальной системой челюстных блоковидных суставов придававших верхней челюсти некоторую степень подвижности. Эволюционное значение этой особенности могло быть весьма существенным: вращательное движение верхней челюсти при жевании позволяло игуанодону не только срезать, но также разминать и растирать волокнистую растительную ткань, что значительно повышало эффективность усвоения пищи. Вполне вероятно, что именно благодаря этому был сделан в меловой период первый шаг в процессе отделения средних и крупных растительноядных динозавров от общего ствола ископаемых пресмыкающихся.

New Scientist, 1983, v. 99, № 1370, p. 410 (Великобритания).



Реставрированный череп игуанодона с о-ва Уайт.



Игуанодон из захоронения в Бернессаре (Королевский музей естественной истории в Брюсселе).



Клад каменных орудий из Майнинской палеолитической стоянки.

турном слое, было найдено несколько каменных предметов, плотно прилегающих друг к другу, — возможно, они были обвязаны или хранились в мешочке, исчезнувшем ныне без следа. Подбор предметов в этой кучке явно преднамеренный. Это белое мрамора отбойник для скалывания отщепов (заготовок); массивное галечное рубящее орудие, использовавшееся, судя по сохранившимся на его поверхности следам, для тех же целей; четыре крупных кварцитовых скребла, тщательно обработанных (ретушированных) — прекрасные образцы орудий для выделки шкур; долотовидный инструмент для работы по кости и дереву. Есть и заготовка микронуклеуса — с него можно было скалывать тонкие пластинки, вставлявшиеся в пазы костяных оправ. И, наконец, два отщепы и пластина — заготовки для производства орудий.

Таким образом, перед нами рабочий набор инструментов мастера ледниковой эпохи, жившего около 12 тыс. лет назад. Именно так, судя по геологической позиции памятника и радиоуглеродным датировкам, следует датировать третий слой Майнинской стоянки.

Надо отметить, что палеолитические клады — очень редкая в археологической практике категория находок.

С. А. Васильев

Ленинград

Археология

Кладу — 12 тысяч лет

Уже несколько полевых сезонов отряд Саяно-Тувинской экспедиции Ленинградского отделения Института археологии АН СССР изучает уникальный памятник, оставленный древнейшими обитателями Сибири, — Майнинскую стоянку на Енисее. В 1980 г. здесь была найдена первая на территории нашей страны глиняная палеолитическая статуэтка¹; полевой сезон 1982 г. принес новые интересные открытия.

В одном из раскопов на глубине 4 м, в третьем куль-

¹ Васильев С. А. Древнейшая каменная статуэтка с берегов Енисея. — Природа, 1981, № 10, с. 114.

Новое направление в исследованиях по охране природы

Б. А. Старостин,
кандидат биологических наук
Москва



БИОЛОГИЯ ОХРАНЫ ПРИРОДЫ.
Под ред. М. Сулея и Б. Уилкокса.
Пер. с англ. С. А. Остроумова под
ред. А. В. Яблокова. М.: Мир,
1983, 430 с.

Всестороннее биологическое обоснование мер по охране природы становится насущной потребностью. Переведенная издательством «Мир» книга¹, в которой приняло участие более 20 американских специалистов в рассматриваемой области, как раз и отвечает этой потреб-

ности. Книга посвящена разработке комплексного, прежде всего эволюционно-экологического метода, позволяющего синтезировать в единое целое и теоретически обосновать природоохранительные мероприятия с позиций новой дисциплины — биологии охраны природы. Эта дисциплина, выявившаяся в четкой форме лишь в 80-е годы, сразу же заявила о себе как о многоаспектном исследовательском направлении. Книга дает хорошее представление о содержании биологии охраны природы и о ее главных аспектах. К их числу относится проблема управления генетическими ресурсами; экологический баланс популяций в условиях, угрожающих их существованию; биологическое обоснование размеров, расположения и режима охраняемых территорий.

Все это конкретно иллюстрируется применительно прежде всего к наземной тропической фауне. Однако многие главы — всего их в книге 19 — имеют более универсальное звучание. Так, в главе 6 говорится об экологии «островов», под которыми имеются в виду экологические образования, обособленные от других, например пруды и озера, даже отдельно стоящие группы растений, а также резерваты и другие участки, если они в некоторой степени оторваны от остальной биосферы («инсулированы»). А как раз этот случай, как подчеркивается, становится все более типичным для остающихся хотя бы внешне нетронутыми природных местобитаний. Столь же общезначимы выводы глав 8—10, где сформулированы математические модели эволюции в популяциях и контроля над популяциями в целях сохранения как их самих, так и включающих их сообществ. В качестве рабочей гипотезы выдвинуто предположение, согласно которому для кратковременного выживания популяции ее эффективная численность должна достигать не менее

50 особей, а для ее длительного существования — значительно более 500 особей. Однако весь материал этих глав наводит на мысль, что отклонения от данных цифр, связанные с резкими флуктуациями численности популяций, неравноценностью особей, характером размножения, бывают слишком велики, чтобы можно было принять эту гипотезу без поправок.

Авторы книги неоднократно привлекают внимание читателя к тому, что обеднение природы происходит не только за счет исчезновения многих старых видов, но и за счет того, что перестают возникать новые. Таким образом, впервые за сотни миллионов лет иссяк источник существенных филогенетических новообразований. Нельзя не подчеркнуть и значимости выводов главы 7, авторы которой проанализировали причины и фазы вымирания видов и отметили, что мало лишь «добродетельного невмешательства» в жизнь сообществ; необходимо деятельно предупреждать оскудение биологических ресурсов. Этот тезис перекликается с пафосом всей книги, с призывом пресечь в масштабе всей Земли «...попустительство процессу биотического обеднения» (с. 11).

В качестве «фундамента всей книги» редакторы английского издания выдвигают главу 2, автор которой, Л. Джилберт, в основном на материале взаимоотношений южноамериканских пасленовых и стрелоцветовых с растительноядными насекомыми вскрывает тонкую организацию пищевых сетей биоценозов тропического леса и дает на основании этого анализа рекомендации по управлению охраняемыми сообществами и поддержанию их разнообразия. Тем самым, кстати говоря, наводится мост между двумя основными компонентами биологии охраны природы как нового направления или даже новой биологической дисциплины: ана-

¹ В оригинале: Conservation biology. An evolutionary — ecological perspective. Ed. by Michael E. Soulé and Bruce A. Wilcox. Sinauer Ass., Inc. Sunderland, 1980.

лизом межвидовых отношений в рамках сообщества и анализом того, как можно и как следует управлять тем же сообществом в целях его сохранения.

Еще 10—15 лет назад подобное успешное обобщение было бы весьма затруднительно; отсюда очевидна интенсивность исследований, приведших к формированию биологии охраны природы. Благодаря этим исследованиям стали возможны многочисленные новые практические рекомендации: например, для выживания колибри требуется частичная вырубка леса вокруг деревьев *Heliconia*, что способствует цветению последних и обеспечивает колибри нектаром. Поддержание растений (ваточника и дикой моркови), которыми питаются паразитиды (осы, муравьи, мелкие перепончатокрылые), предотвращает гибель ряда ценных древесных видов. Но главная польза, которую можно извлечь из этой главы, заключается, на наш взгляд, не в отдельных рекомендациях, а в живом конкретизированном подходе именно с позиций охраны природы к сообществу как целостной структуре. На таком подходе, в основе которого лежит синтез эволюционного и экологического рассмотрения, и базируется биология охраны природы как новое направление.

К сожалению, в рецензируемой книге не уделено внимания методу этого направления в общем комплексе дисциплин, связанных с охраной природы, таких как социальная экология, биологическое ресурсоведение, экологическое прогнозирование, мониторинг, моделирование экосистемы и т. д.

Неоднородность книги объясняется, видимо, ее происхождением из материалов конференции по биологии охраны природы, состоявшейся в Парке диких животных, знаменитом своими успехами в области размножения редких видов (Сан-Диего, США), в сентябре 1978 г. С этим же связано большое внимание, уделенное разведению животных в неволе. Для многих видов оно, как говорится в книге, является «последним оплотом», своего рода «Новым ковчегом» перед лицом неизбежного иначе вымирания, и к

тому же позволяет нам в случае нужды произвести аливание «новой крови» в оставшиеся на воле популяции. Вместе с тем справедливо отмечается, что разведение животных в неволе — несовершенный способ хранения живого банка генов, ибо такие животные часто подвергаются депрессии в результате инбридинга и теряют приспособленность к исходной среде своего обитания. Подчеркивается, хотя, к сожалению, лишь вскользь, что для растений аналогичные трудности не менее значительны.

Авторы обосновывают, однако, надежду на то, что совершенствование методов разведения в сочетании с ветеринарными мерами поможет преодолеть генетические, эндокринологические и прочие препятствия к полноценному сохранению видов в неволе.

В главе 19 «Стратегия охраны природы, 1980—2000» строятся некоторые прогнозы и даются оценки, на наш взгляд, недостаточно учитывающие социальную сторону вопроса. Здесь хотелось бы привести следующие соображения. Индустриальный и вообще экономический прогресс отнюдь не фатально направлен против природы. Более того, будучи рационально направлен, он может активно содействовать ее сохранению и даже установлению глобального равновесия между человеком и природой. Может быть, такие факты, как современное приближение некоторых видов диких птиц к городам, общение с хищниками (не вырывающимися при этом безвозвратно из окружающей среды) в опытах Джой Адамсон и других натуралистов, не боящиеся человека бобры в ряде районов Польши, служат предвестниками такого равновесия. Экономический прогресс в известной степени способствует тому же, давая возможность внедрять альтернативные виды энергетики (ядерную, солнечную) и безотходные технологические циклы; или синтезировать искусственные красители, лекарства и т. д., позволяющие отказаться от вырубки ценных древесных пород и от истощающих почву монокультур; или путем интенсификации земледелия высвободить

немалые участки под леса и прочие угодья.

Конечно, пока преобладает противоположная тенденция, ведущая к загрязнению и деградации биосферы под давлением нерационально используемой, недостаточно продуманной в природоохранном отношении технологии. В какой мере эта тенденция будет ограничена, зависит от социальных факторов, от способности общества организоваться для преодоления экологического кризиса. И здесь уместно вспомнить слова одного из крупнейших американских специалистов по ресурсам биосферы и их охране: «Экономическая система, основанная преимущественно на частном бизнесе, становится все более непригодной и неэффективной для того, чтобы распоряжаться этим жизненно важным общественным достоянием»².

Несомненно, это звучит убедительнее, чем развиваемая в одной из глав рецензируемой книги утопия нулевого экономического роста³.

Высокий уровень научности изложения во всем, что непосредственно касается биологического обеспечения мер по охране природы, гуманная ориентация на решение одной из важнейших глобальных проблем современности, многоаспектный подход, позволяющий рассматривать проблему объемно и всесторонне, не оставляют сомнений в своевременности осуществленного издательством «Мир» издания. Читатель получил настоящую настольную книгу, подытоживающую все, что до последнего времени сделано в биологии охраны природы.

Большую пользу в работе над книгой приносят русский и латинский предметные указатели, а также продуманные резю-

² Коммонер Б. Замыкающийся круг: природа, человек, технология. Л., 1974, с. 206.

³ «Экономический рост (так же, как и рост населения), несомненно... должен прекратиться. Перед нами выбор: или ждать, пока этот рост будет остановлен в результате истощения ресурсов среды, или попытаться остановить его самим» (с. 384).

ме к каждой главе. Объемный список литературы при переводе дополнен 30 названиями книг и статей советских авторов.

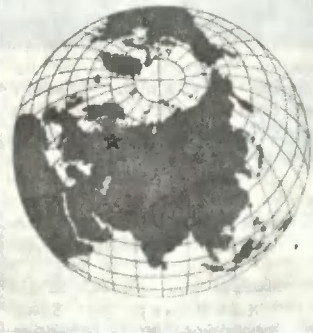
Несомненно, что книга внесет ощутимый вклад в формирование новой дисциплины в рамках комплекса природоохранных исследований и будет использована как преподавателями, так и научными работниками, которым приходится соприкасаться, прежде всего в теоретическом (обосновательном) плане, с проблемой сохранения живой природы как достояния и незаменимого ресурса всего человечества.

Наша столица как объект географии

П. М. Полян,
А. И. Трейвиш,
кандидаты географических наук
Москва

Ю. Г. САУШКИН
В. Г. ГЛУШКОВА

МОСКВА СРЕДИ ГОРОДОВ МИРА



Ю. Г. Саушкин, В. Г. Глушкова.
МОСКВА СРЕДИ ГОРОДОВ МИРА.
Экономико-географическое исследование, М.: Мысль, 1983, 286 с.

Москва относится к числу крупнейших городов планеты и на недостаток внимания к себе

со стороны ученых, как, впрочем, и поэтов, и художников, пожаловаться не может. Тем не менее в последние годы стала довольно остро ощущаться необходимость в квалифицированном издании, обобщающем географические работы о Москве. Книга Ю. Г. Саушкина и В. Г. Глушковой заполняет существующий здесь пробел.

Установка авторов, однако, шире собственно «московведения». Они показывают Москву не саму по себе, а на фоне других городов мира, в постоянном сравнении с ними. Лишь на таком фоне обнаруживается, например, что наша столица — самый северный и самый континентальный среди городов-гигантов. Сравнительный метод является одним из традиционно эффективных методических средств в умелых руках профессионала-географа. Авторы пользуются им с немалым успехом.

В главе об экономико-географическом положении Москвы мы встречаем не только напрашивающиеся сами собой сопоставления Москвы и Ленинграда. Параллель, например, с Чикаго, сходным с Москвой в экономико-географическом отношении, наглядно выявляет как достоинства, так и недостатки положения Москвы и те усилия, которые ей пришлось приложить для поддержания своей центральной роли относительно исторического ядра нашей страны — Русской равнины. Ибо «природная основа (географическое положение) Москвы, ставшей портом пяти морей, была значительно менее благоприятной, чем у приозерного Чикаго, ставшего главным портом всей системы Великих озер» (с. 18).

Немало интересного содержит и глава о природных ресурсах и природных условиях Москвы. Среднегодовая температура Подмоскovie на границах с Москвой составляет 3,8 °С, тогда как в городском центре она достигает 5°, что равнозначно весьма ощутимому «сдвигу» к югу.

Особенно богаты цифровым и фактографическим материалом главы о населении и научно-производственном комплексе Москвы. Уже сейчас более половины трудоспособных москвичей являются служащи-

ми, причем далеко не последнее место по числу занятых людей занимает научная работа: более 125 тыс. научных сотрудников, проживающих в Москве, заняты более чем в двухстах ведомственных и академических институтах и других учреждениях, а годовой экономический эффект от их деятельности достигает 2 млрд руб. Эти главы посвящены сложным социальным, экономическим, демографическим, транспортным и иным процессам, происходящим в Москве.

В условиях научно-технической революции Москва выступает как ведущий в нашей стране полигон апробации важнейших хозяйственных и многих технических нововведений и одновременно как очаг их дальнейшего распространения по стране: для примера здесь достаточно упомянуть метро или автоматическую междугородную телефонную связь. Вместе с тем та же высокая концентрация населения и хозяйства в Москве требует все более и более строгого отбора сосредотачивающихся в ней функций. Здесь целесообразно развивать лишь подлинно столичные отрасли — управленческие, научные, информационные, культурные, а также технические передовые и пионерные производства.

Но для географа во всем этом трудно обозримо и нередко запутанном клубке вопросов первоочередным является пространственный, или территориальный, аспект. Если говорить о той же концентрации, то именно вопросы территориальной концентрации являются, при всей своей важности, одними из наименее изученных.

Рассмотрев вопросы территориальной организации Москвы как таковой, авторы переходят на уровень Московской агломерации (самой Москвы и ее «спутниковой зоны», приблизительно находящейся в 1,5 часах езды от города-ядра), а затем, подытоживая всю книгу, на мезомасштабный уровень Московской региональной системы расселения. Возможно, следовало бы специально рассмотреть и вопрос о месте и роли Москвы в территориальной

структуре населения всей страны в целом, тем более что немало замечаний по этому поводу рассыпано в разных частях книги.

С практической точки зрения особенно значимой является проблема развития и функционирования Московской агломерации. Необходимость совокупного расселения города-ядра и «спутниковой зоны» является лишь отражением их экономического и социального единства. Они взаимно необходимы друг другу, дополняют друг друга

в целом ряде отношений. Достаточно лишь напомнить приводимые в книге цифры о ежедневных маятниковых перемещениях населения между ними. По утрам в будние дни преобладает центростремительный поток, который увлекает с собой свыше 600 тыс. человек, а летом в выходные дни — центробежный, включающий свыше 2 млн человек.

В целом рецензируемая книга со всем богатством ее иллюстративного материала (бо-

лее 30 интересных карт и схем) весьма заметна среди других новинок географической литературы. Являясь произведением безусловно научным, она вместе с тем не может не привлечь каждого, кто интересуется нашей замечательной столицей, а москвичи — в особенности. Очень жаль, что один из авторов, крупнейший советский экономико-географ Юлиан Глебович Саушкин (1911—1982) не увидел своей книги в полиграфическом исполнении.

НОВЫЕ КНИГИ

Физика

Галицкий В. М. ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКЕ. М.: Наука, 1983, 525 с., ц. 5 р. 70 к.

Это мемориальный сборник трудов выдающегося советского физика-теоретика, члена-корреспондента АН СССР Виктора Михайловича Галицкого (1924—1981), в течение многих лет, вплоть до безвременной кончины, бывшего заместителем главного редактора журнала «Природа». 40 научных трудов В. М. Галицкого, включенных в 6 разделов сборника, посвящены различным областям современной физики — физике плазмы, проблеме многих тел, излучению при релятивистских столкновениях, электромагнитным взаимодействиям в резонансных газовых и полупроводниковых средах, ядерной физике — и отражают широкий спектр интересов и необычайный универсализм ученого.

Многие из пионерских работ В. М. Галицкого стали основополагающими. Благодаря физической глубине и классической прозрачности изложения они оказали большое стимулирующее влияние на последующие работы в различных областях физики.

Расположение разделов в книге в основном соответст-

вует разным периодам научной деятельности В. М. Галицкого. Первый раздел содержит работы 1951—1954 гг., сделанные в период активного участия Виктора Михайловича в исследованиях по проблеме управляемого термоядерного синтеза и посвященные физике плазмы. Во втором разделе (1958—1968) собраны статьи по теории многих тел, принесшие В. М. Галицкому мировую известность. Работы третьего раздела, выполненные в Институте ядерной физики СО АН СССР в 1962—1965 гг., посвящены столкновениям и излучению при столкновениях. Статьи четвертого раздела описывают взаимодействие излучения с резонансными средами, что имеет большое значение при создании квантовых генераторов.

Основное направление в этой области широко развивается сейчас его учениками. Пятый раздел сборника охватывает фундаментальные результаты автора в теории полупроводниковых квантовых генераторов. В последнем разделе собраны работы В. М. Галицкого в области ядерной физики, к которой он обращался на протяжении всей своей научной деятельности, но в особенности с 1974 г., когда он стал директором Отделения общей и ядерной физики Института атомной энергии им. И. В. Кур-

чатова. Завершает книгу статья о жизненном и творческом пути В. М. Галицкого, написанная группой физиков, хорошо знавших Виктора Михайловича.

Книга отражает главные черты личности В. М. Галицкого, прекрасно известные его коллегам и ученикам, а также всем, с кем он сталкивался в своей многогранной научной, организационной и педагогической деятельности. Это, в первую очередь, — исключительная ясность и глубина мышления, высочайшая профессиональная компетентность, редкий универсализм. Поэтому 40 работ, составляющие сборник, — свидетельство большой и яркой жизни выдающегося ученого — будут интересны и полезны физикам-теоретикам еще долгие годы.

Физика

С. Р. Филонович. САМАЯ БОЛЬШАЯ СКОРОСТЬ. Под ред. В. А. Фабриканта. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. литературы (Библиотечка «Квант», вып. 27), 1983, 176 с., ц. 30 к.

Скорость света — предельная скорость распространения любых физических воздействий — относится к тем многим физическим величинам,

которые имеют статус фундаментальных, или мировых, постоянных. Однако даже в этой группе она занимает особое положение, так как входит во многие соотношения из весьма далеких один от другого разделов физики.

Чему равна скорость света? Конечна она или бесконечна? Эти вопросы обсуждаются в «Беседах... касающихся двух наук» Г. Галилея, в научных трактатах Р. Декарта, П. Ферма, Х. Гюйгенса. Ответ был дан в 1676 г. астрономом О. Ремером, который первым измерил скорость света по изменению промежутков времени между затмениями спутников Юпитера. Безусловно, погрешность первых измерений скорости света очень велика, однако главная цель — доказать, что значение это конечно, — была достигнута. Потом были опыты Дж. Брэдлея по наблюдению aberrации света звезд, решающие эксперименты Л. Фуко и А. И. Физо, электромагнитные опыты В. Вебера и Р. Кольрауша по определению скорости распространения электромагнитных волн, последующие более точные измерения Дж. Максвелла и, наконец, знаменитый опыт Майкельсона, результат которого ($c = 299\,796 \pm 4$ км/с) надолго вошел в таблицы физических величин. Впоследствии использование новой физической аппаратуры — СВЧ-генератора, мазеров, лазеров и т. д. — дало возможность повысить точность в измерениях скорости света. «Погоня» за точностью продолжается до сих пор, используются как прямые, так и косвенные методы определения скорости света. И это не просто научный азарт — точное определение величины так важно как в общетеоретическом плане, так и для определения других физических констант и, наконец, для практических целей радиолокации и т. д.

Об истории измерения скорости света и о том, какую важную роль эти опыты сыграли в развитии физики, об авторах классических опытов увлекательно и доходчиво рассказывается в книге С. Р. Филоновича. Она заканчивается вопросом: «Что нового нам принесет эта древняя постоянная?» И он не

случаен. Трехсотлетняя история фундаментальной постоянной отчетливо демонстрирует, насколько тесно она связана с важнейшими проблемами физики.

Физика атмосферы

Дж. Д. Барри. ШАРОВАЯ МОЛНИЯ И ЧЕТОЧНАЯ МОЛНИЯ. Пер. с англ. под ред. и с предисл. А. В. Елецкого. М.: Мир, 1983, 288 с., ц. 3 р. 30 к.

Хотя в заглавии книги четочная молния (известная также как цепная, жемчужная, ожерельчатая, капельная) занимает равноправное место рядом с шаровой молнией, лишь менее десятой части объема книги посвящено рассмотрению этого феномена. Такое соотношение отражает и значительное различие в числе имеющихся публикаций, и степень интереса исследователей к этим двум формам атмосферного свечения.

В отличие от большинства книг о шаровой молнии, основу которых обычно составляет описание и анализ визуальных наблюдений этого природного явления, ключевое место в монографии Дж. Д. Барри¹ занимает изложение вопросов, связанных с созданием лабораторных моделей шаровой молнии. Анализ большого числа экспериментов, в результате которых разные исследователи пытались воспроизвести этот феномен, привел автора к выводу, что название «шаровая молния» применяется к целому ряду явлений различной физической природы. В книге содержится еще один любопытный вывод, к которому автор пришел после скрупулезного изучения широко известных фотографий шаровой молнии: на подавляющем большинстве снимков отображены объекты, ничего общего с шаровой молнией не имеющие.

Будучи специалистом в области кинетики газозависимых химических реакций, Дж. Д. Бар-

ри экспериментально показал, что при горении малой примеси углеводородов в воздухе может возникать небольшой светящийся шар, поведение которого внешне соответствует многочисленным описаниям шаровой молнии. На основании этого автор разработал один из вариантов химической модели шаровой молнии, с которой знакомит читателя. Вместе с тем он добросовестно излагает все имеющиеся в его распоряжении факты, как бы предлагая читателю самостоятельно выбрать ту или иную концепцию.

Особое место в книге занимает библиография, которая включает свыше 1600 ссылок на работы, опубликованные в научных изданиях за последние 300 лет. «Независимо от того, выдержит ли испытание временем развиваемая Барри химическая концепция шаровой молнии, — отмечается в предисловии к книге, — можно с уверенностью утверждать, что данное издание благодаря своей уникальной библиографии в течение многих лет останется настольной книгой всех специалистов в области атмосферного электричества, а также тех читателей, для которых интерес к шаровой молнии — не минутный порыв, а проявление более общего, естественного для современного человека интереса к не до конца познанным явлениям неживой природы».

Математика

Я. И. Хургина. ДА, НЕТ ИЛИ МОЖЕТ БЫТЬ... 2-е изд. М.: Наука, 1983, 208 с., ц. 30 к.

В последние два десятилетия бурно развивается научное направление, которое называют статистической теорией управления и эксперимента. Оно возникло на стыке теории управления, математической статистики и теории эксперимента. Об этом научном направлении и идет речь в книге Я. И. Хургина. Поскольку оно очень обширно, автор сознательно сужает свою цель — в книге рассказывается о тех задачах управления, в которых нельзя пре-

¹ См. также: Барри Дж. Д. Шаровая молния. — Природа, 1969, № 5, с. 54; Он же. Искусственная шаровая молния. — Природа, 1969, № 12, с. 62.

небредь случайным влиянием на управляемый объект. А коль скоро речь идет о случайных событиях (воздействиях, возмущениях, силах), то описывать их приходится с помощью теории вероятностей.

Основные идеи и понятия теории вероятностей кратко излагаются в книге по ходу дела, там, где в них возникает необходимость. Читателю, вооруженному этими сведениями, уже проще понять основное содержание книги — принципиальные положения статистической теории управления и эксперимента, современные принципы построения математических моделей и обработки результатов наблюдений, статистическую проверку гипотез и планирование эксперимента.

Автор чрезвычайно изобретателен на примеры, с помощью которых он наглядно иллюстрирует, что такое процесс управления, каким образом выбрать критерий лучшего решения той или иной задачи, как определить оптимальную стратегию эксперимента и т. д.

На страницах книги Я. И. Хургина мы встречаемся с популярными литературными героями, вместе с разборчивой невестой выбираем наилучшего жениха из всего множества претендентов, решаем (научно!), какую арию стоит исполнить певице на предстоящем конкурсе и т. д. Вся книга выдержана в едином ключе, автор нигде не сбивается на сухой стиль учебных пособий, которым грешат многие книги и статьи, задуманные как популярные.

Книга адресована широкому кругу читателей, интересующихся прикладной математикой.

Биология

ПТИЦЫ. Пер. с англ. Л. И. Александрова и Л. П. Дмитриевой. Под ред. и с предисл. Л. С. Степаняна и С. Н. Хаютина. М.: Мир, 1983, 288 с., ц. 3 р. 70 к.

Это перевод очередного тематического сборника статей из журнала «Scientific American». В нем содержится 25 наиболее содержательных статей по био-

логии птиц, опубликованных в журнале более чем за 30 лет и не утративших своей актуальности. Они сгруппированы в семь разделов, каждый из которых освещает какую-то одну проблему: «Разнообразие и географическое распространение птиц»; «Полет»; «Миграция и навигация»; «Эволюция»; «Поведение»; «Физиология и пение птиц»; «Птицы и человек».

Авторы многих статей — пионеры в разработке фундаментальных направлений в изучении эволюции, поведения, экологии и физиологии птиц. К. Гринуолт, например, создал «синтетическую» теорию механизмов генерации звуков у птиц; Э. Хесс разработал теорию запечатления (импринтинга); К. Пенникуин внес наиболее существенный вклад в представления о механике планирующего полета и т. д.

Биология

Д. Холл, К. Рао. ФОТОСИНТЕЗ. Пер. с англ. А. О. Ганаго под ред. Ф. Ф. Литвина. М.: Мир, 1983, 134 с., ц. 90 к.

Фотосинтез — это процесс преобразования лучистой энергии Солнца в химическую энергию растительных тканей. Как известно, растения и некоторые бактерии сами улавливают энергию Солнца, а животные получают ее, поедая растения и других животных, питающихся растениями. Таким образом, без этого процесса существующее на Земле разнообразие жизни было бы невозможно.

В наше время разрабатывается множество подходов к изучению фотосинтеза. Это связано, как считают авторы представленной здесь книги, с двумя группами практических задач, стоящих перед человечеством. Во-первых, приходится думать о том, как в ближайшем будущем прокормить и обеспечить энергией растущее население Земли. Во-вторых, ученых привлекает идея получения с использованием фотосинтеза химических продуктов и химического волокна.

В связи с этим стано-

вится понятен интерес к изучению фотосинтеза не только со стороны биологов, но и со стороны многих других специалистов. Именно им, а также студентам и адресована книга Д. Холла и К. Рао.

По мнению Ф. Ф. Литвина, написавшего предисловие к русскому изданию, книга в целом удачна. «Особенно впечатляет,— пишет Литвин,— лаконизм и простота изложения трудных вопросов в сочетании с рациональным отбором материала». Но наряду с этим в предисловии отмечаются такие изъяны книги, как недостаточное глубокое освещение первичных процессов фотосинтеза и другие «белые пятна».

Книга написана сухо, без всякого намерения заманить читателя внешними эффектами. В ней последовательно, как в учебнике, изложены такие темы: значение и роль фотосинтеза; история идей; фотосинтетический аппарат; поглощение и излучение света атомами и молекулами; транспорт электронов; фиксация двуокиси углерода; бактериальный синтез. Заканчивается книга «микрорепрактикумом».

Археология

АРХЕОЛОГИЯ ЭПОХИ КАМНЯ И МЕТАЛЛА СИБИРИ (сборник научных трудов). Отв. ред. Ю. С. Худяков. Новосибирск: Сибирское отделение Института истории, философии и филологии АН СССР, 1983, 168 с., ц. 50 к.

Статьи этого сборника, авторами которого являются А. П. Окладников, Е. И. Деревянко, Ю. И. Трифионов и др., охватывают период от палеолита до средневековья, описывают памятники Монголии и Сибири, рассказывают об археологической разведке на территории Озанченской оросительной системы.

Одной из последних работ А. П. Окладникова были раскопки могильника Улаан-Узюр и описание петриглифов, проливающих свет на принципы древнего искусства. Лошади, быки, козлы, аргали, реже всадники, изображенные на пло-

скости скалы снизу вверх и сверху вниз, не просто составляя единую композицию бега животных — они дают свидетельство того, что искусство опиралось на исконные занятия человека.

Археологические исследования тесно переплетаются, как показывают авторы сборника, с этнографическими; ярким примером подобного содружества может служить статья С. М. Ахинжанова «Этнонимы «кимак» и «кипчаки». На основании кропотливого изучения источников, сравнения мифов и легенд автор доказывает, что эти два наименования, которые впоследствии стали синонимами, первоначально относились к двум разным племенам. Кимак, или, как они сами себя называли, ким, пришли в район Иртыша из Северо-Восточной Монголии и Маньчжурии в IX в. Слово «Иртыш» на их языке означало «остановись»: так приказала им их родоначальница, когда кимак дошли до берега сибирской реки. По происхождению кимак — не тюрки, они относились к протомонгольскому сыньбийскому племенному союзу. Поселившись на территории близ Иртыша и Алтая, где жили тюркоязычные племена кипчаков, йемаков и др., кимак-хан были оторваны в языковом и этническом отношении.

Археология. Этнография

В. А. Мокеев. ЦИНСКАЯ ИМПЕРИЯ И НАРОДЫ САЯНО-АЛТАЯ В XVIII в. Отв. ред. Б. П. Гуревич. М.: Наука, 1983, 149 с., ц. 1 р. 30 к.

Истории экспансии в Центральной Азии императорской маньчжурской династии Цин, правившей в Китае с 1644 по 1912 г., уделялось немало внимания в отечественной литературе, и тем не менее многие ее аспекты не были достаточно освещены вследствие неосвоенности источников. Автор, изучив русские архивные документы и ознакомившись с литературой на китайском языке, во многом

восполнил этот пробел. Базируясь на новых письменных материалах, анализе этнонимов и археологических источниках, он показал, какую роль играли народы Саяно-Алтайского нагорья в военной политике Цинской династии, определил реальный культурный, экономический уровень и политический статус этих народов до начала маньчжурского нашествия, осветил историю вхождения горноалтайских племен в состав России.

Притязания династии Цин на эту территорию основывались на древней конфуцианской доктрине, согласно которой Китай являлся образцом мироустройства и цивилизации, а император, «сын Неба» — земным богом, мудрым, великодушным и могущественным правителем всей земли. Из этой доктрины вытекала теория предопределенного неравенства людей: правители Китая считали окружающие народы своими вассалами. Составители китайских хроник, проповедуя эти взгляды, либо искажали, либо выбрасывали факты, им противоречившие.

Вассалами считались и народы, жившие в предгорьях Алтая, и собственно алтайцы. Проблема их этногенеза сложна: основным этническим компонентом был тюркский субстрат со значительной долей монгольских, самодийских и финно-угорских элементов. Занимались они в основном экстенсивным кочевым скотоводством, совершая перекочевки семьями или общинами, некоторые группы знали хлебопашество, у других основным занятием была охота. Как правило, 4—5 общин (дючин) объединялись в улус, во главе которого стоял зайсан. Социальные отношения этих племен в XVIII в. оставались патриархально-феодальными.

Малочисленность и разбросанность горноалтайцев на огромных пространствах, отсутствие сильной государственной власти сделали их добычей сперва Джунгарского ханства, а затем Цинской империи, хотя, по многим свидетельствам, их предки истари поддерживали дружественные связи с Российской империей и даже считались ее подданными.

Организация науки

Е. В. Соболева. ОРГАНИЗАЦИЯ НАУКИ В ПОРЕФОРМЕННОЙ РОССИИ. Л.: Наука, 1983, 262 с., ц. 2 р. 10 к.

«Цель данной книги, — пишет автор, — состоит не в том, чтобы показать сравнительно хорошо изученные достижения науки и техники пореформенной России», а в том, чтобы «изучить организацию отечественной науки второй половины XIX в.» В таком объеме задача ставится впервые, и она не из легких. Действительно, если не считать вышедших в свет солидных трудов по истории Петербургской Академии наук, то связанного исследования, обобщающего эту проблематику, а тем более во всем многообразии научной жизни страны (академии, университеты, научные общества, лаборатории, музеи, библиотеки), еще не было.

В монографии Е. В. Соболевой, основанной главным образом на первоисточниках, прослежена эволюция форм организации науки в исследуемый период. Отмечена значительная роль передовой русской общественности и крупных наших ученых в этом процессе. Книга разбита на три большие главы: «Правительственная политика в области науки», «Сеть научных учреждений», «Подготовка научных кадров».

Нарушая покой Вселенной

Ф. Дайсон

В этом и следующем номерах «Природы» публикуются две главы из книги Ф. Дайсона «Нарушая покой Вселенной». Это необычная книга, написанная необычным человеком.

Ф. Дайсон родился в Англии в 1923 г. Учился и работал в Кембриджском университете, а в 1951 г. стал профессором Корнеллского университета (США). В настоящее время он работает в Принстонском институте перспективных исследований.

Дайсон хорошо известен физикам и математикам нашего поколения своими работами, которые вошли в основной фонд современной теоретической физики. Достаточно упомянуть об исследованиях по квантовой теории поля, в которых была установлена связь между методом диаграмм Фейнмана и каноническим формализмом вторичного квантования, об уравнениях Дайсона. Кроме того, Дайсону принадлежат фундаментальные работы по статистической физике и квантовой механике многочастичных систем, в которых содержится, в частности, недавно подтвердившаяся гипотеза Дайсона о свойствах уровней в квантовых случайных системах. Большинство этих работ выполнено в период с 1947 по 1957 г. После этого интересы Дайсона сместились в область проблем, связанных с освоением космоса. В течение ряда лет он участвовал в проекте, целью которого было создание космического корабля с атомным двигателем. В дальнейшем он внес большой вклад в обсуждение проблем обнаружения внеземных цивилизаций, высказав ряд оригинальных и остроумных идей. В последние годы Дайсон занимается вопросами, связанными с возможностью экспансии жизни во Вселенной

и существования необычных форм жизни и сознания.

В нашем столетии формируется новый тип мышления, который не назовешь научным в обычном смысле этого слова. Это не исследование законов природы, доступное нашему восприятию и наблюдениям. Это, по сути дела, проектирование будущего. Современные технологии слишком сложны, чтобы их можно было создавать вслепую. Их нужно оценить и продумать гораздо раньше, чем в них возникнет необходимость. Вряд ли можно представить себе осуществление выхода людей и приборов в ближний космос и Солнечную систему без работ К. Э. Циолковского, где были указаны пути освоения космического пространства и дано количественное рассмотрение возможностей ракет на химическом топливе. Столь же невозможно представить себе и развитие электронно-вычислительной техники без пионерских работ Дж. фон Неймана и А. Тьюринга, где были рассмотрены возможности вычислительных машин, которые начинают реализовываться только сейчас. Таким же исследованием будущего, или, лучше сказать, попыткой составить «техническое задание» для него, является и многое из того, что делал Дайсон в последние двадцать лет, и не случайно в публикуемых главах книги мы находим названные выше имена.

Книга «Нарушая покой Вселенной» состоит из трех частей. В первых двух, «Англия» и «Америка», содержится, по сути дела, автобиография Дайсона — описание событий и людей, под влиянием которых формировалось мышление автора. В части третьей — она названа «Вехи будущего» — обсуждается будущее человечества, которое, по мнению автора, целиком связано с проблемами освоения Вселенной.

И. Ю. Кобзарев,

доктор физико-математических наук
Москва

* Dyson F. Disturbing the Universe. N. Y., 1979.

МЫСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

«Осознавая свою ужасающую миссию и гордясь ею, ученый будущего будет все больше походить на одинокого Дедала». Из всех ученых, с ко-

торыми я был знаком, более всех схож с холдейновским Дедалом не биолог, а математик — Джон фон Нейман. Тем, кто знал

1924 г. книгу «Дедал, или Наука и будущее». По мнению Дайсона, это одна из лучших книг о тех последствиях, которые несет человечеству развитие биологической науки. (Прим. ред.)

фон Неймана только внешне, со стороны, сравнение его, полного и жизнерадостного человека, с Дедалом может показаться неуместным и даже смешным. Но те, кто лично знали этого человека, сознательно и обдуманно открывшего человечеству путь в век вычислительных машин, поймут, что с психологической точки зрения образ, созданный Холдейном, оказал-

¹ Это высказывание принадлежит Дж. Холдейну — биологу, опубликовавшему в

ся на удивление пророческим в отношении фон Неймана.

Во время второй мировой войны фон Нейман с большим энтузиазмом трудился в Лос-Аламосе в качестве консультанта группы, которая занималась разработкой атомной бомбы. Но уже тогда он понимал, что в будущем человечества основную роль будет играть не ядерная энергия. В 1946 г. ему довелось встретиться со своим старым другом Глебом Ватагиным, военные годы проведенные в Бразилии. «Привет, Джонни, — сказал Ватагин. — Математикой, я так понимаю, больше не интересуешься. Насколько мне известно, ты сейчас только о бомбах думаешь». «Вовсе нет, — ответил фон Нейман. — Я сейчас думаю о вещах гораздо более важных, чем бомбы: я думаю о компьютерах».

В сентябре 1948 г. фон Нейман прочитал лекцию, которая называлась «Общая теория и логика автоматов»². Лекция эта по-прежнему читается легко и свежо. Поскольку фон Нейман излагал самые общие положения, в ней мало что с тех пор устарело. Автоматы, о которых шла речь в лекции, представляют собой абстрактное обобщение электронно-вычислительных машин, огромное значение которых фон Нейман осознал первым. Это механизмы, действия которых могут быть точно заданы на строгом математическом языке. Фон Нейман хотел заложить основу теории для разработки и функционирования механизмов, гораздо более сложных и тонких, чем те, которые мы когда-либо создавали. Он считал, что благодаря этой теории мы научимся не только создавать гораздо более производительные механизмы, но и лучше понимать строение и функционирование живых организмов.

Свою теорию автоматов фон Нейман воплотить в жизнь не успел. Но ему все-таки довелось увидеть, как его догадки о функционировании живых организмов были блестяще подтверждены биологами. Основ-

ной темой лекции 1948 г. был абстрактный анализ структуры автомата такого уровня сложности, который позволял бы ему осуществлять самовоспроизведение. Фон Нейман показал, что у такого автомата должно быть четыре отдельных компонента со следующими функциями. Компонент А — автоматическая фабрика по сбору сырья и его переработке в продукт, соответствующий заданным извне инструкциям. Компонент В — аппарат, снимающий копию с заданных инструкций. Компонент С — контролирующий автомат, подключающий одновременно к компонентам А и В. Когда в компонент С поступают инструкции, они сначала направляются в компонент В для снятия с них копии, а затем в компонент А, где уже осуществляется непосредственно сама операция. Произведенный продукт снабжается копией первоначальных инструкций, в то время как оригинал остается в компоненте С. Компонент D представляет собой полную запись инструкций, обеспечивающих производство в компоненте А составной системы $A+B+C$. Анализ, проведенный фон Нейманом, показал, что для создания самовоспроизводящегося автомата структура такого типа является необходимым минимумом. Он предположил, что она должна осуществляться и в живых организмах. Пятью годами позже Крик и Уотсон открыли структуру ДНК, и теперь каждый школьник заучивает названия, которые биологи дали четырем компонентам фон Неймана. D — это генетические материалы, РНК и ДНК; А — рибосомы; В — ферменты, синтезируемые РНК и ДНК; С — управляющие молекулы, репрессоры и активаторы, а также другие элементы, чьи функции еще недостаточно изучены. Как мы сейчас знаем, в основе любого организма, более сложного, чем вирус, лежит именно та структура, о которой говорил фон Нейман. Вирусы, с точки зрения фон Неймана, самовоспроизводящимися не являются, поскольку они пользуются рибосомами тех клеток, в которые проникают.

Первый основной вывод фон Неймана заключается в том, что создание таких автоматов

в принципе возможно. Второй его вывод, сделанный на основе работ математика Тьюринга, не столь широко известен, хотя по сути он ближе всего к основным проблемам автоматов. Фон Нейман показал, что теоретически возможен универсальный автомат, т. е. механизм определенных размеров и степени сложности, который при наличии правильно заданных инструкций может выполнить операции любого другого механизма. Иными словами, на определенном этапе для выполнения более сложных операций уже нет необходимости увеличивать и усложнять механизм. Достаточно задать более подробные и сложные инструкции. Такой механизм может быть и самовоспроизводящимся. Для этого его надо включить в качестве компонента А в описанную выше систему. Фон Нейман считал, что именно потому, что возможен универсальный автомат, возможна и бесконечная биологическая эволюция. Отпадает необходимость переделывать основной биохимический механизм по мере перехода от простых организмов к более сложным. Необходимо только модифицировать и расширить генетические инструкции. Все, что было открыто нового об эволюции биологических систем после 1948 г., подтверждает правоту фон Неймана.

С течением времени, приближаясь к XXI в., мы будем все больше убеждаться в применимости анализа фон Неймана к проблеме искусственных автоматов и функционирования живых клеток. По мере того как будут углубляться наши знания в биологии, мы столкнемся с тем, что различия между биологией и электроникой будут все более смазываться. Поэтому я предлагаю подумать вот над чем. Положим, мы научились производить и программировать полезный и более или менее универсальный автомат. Как это изменит наше мышление? Или, более конкретно, как это отразится на принципах экономики или на наших представлениях об экологии и организации общества? Я попытаюсь ответить на этот вопрос, проведя ряд мысленных экспериментов.

Мысленный экспери-

² В русском переводе см. в книге: Тьюринг А. Может ли машина мыслить? М., 1960. (Прим. ред.)

мент — это опыт, который проводится только в воображении и используется для иллюстрации теоретического положения. Придумали такой подход физики; цель его — максимально выявить противоречия или нелепости какой-либо предлагаемой теории. По мере усложнения теории мысленные эксперименты становятся все более и более полезными для отсева плохих теорий и более глубокого понимания хороших. Когда мысленный эксперимент показывает, что общепринятые идеи вступают в логическое противоречие друг с другом, это называют «парадоксом». Прогресс в физике XX в. был в значительной степени обусловлен обнаружением парадоксов и их использованием при критике теорий. Зачастую мысленный эксперимент более нагляден, чем реальный, уж не говоря о том, что он гораздо дешевле. В физике мысленные эксперименты стали своего рода искусством, величайшим мастером которого был Эйнштейн. Такой эксперимент не имеет ничего общего с предсказанием, и те ситуации, которые я приведу ниже, не задумывались как предсказание реально возможного будущего. Это идеализированные модели явлений, которые нам надо сначала понять, прежде чем мы научимся разбираться с ними на практике.

Первый опыт придумал не я. С общей идеей этого эксперимента двадцать лет назад выступил в журнале «Сайентифик Америкн» математик Эдвард Мур. Его статья называлась «Искусственные живые растения». Начинается опыт со спуска на воду плоскодонного судна на некой верфи на северо-западе Австралии. Верфь принадлежит компании «RUR» (от Rossum's Universal Robots — Россумские Универсальные Роботы¹). Компания эта старая и respectable. Корабль медленно уплывает за горизонт. Через месяц где-то в Индийском океане вместо одного корабля на волнах уже покачиваются

два. На борту первого корабля установлена миниатюрная фабрика, снабженная необходимым оборудованием и программой электронно-вычислительной машины, которая позволяет строить точную копию судна. На построенном судне, ничем не отличающемся от первого, есть такая же фабрика и копия программы ЭВМ. Конструкционными материалами служат в основном углерод, водород, кислород и азот, которые при использовании солнечной энергии добываются из воздуха и воды и затем перерабатываются в пластмассы повышенной прочности. Металлические части производят в основном из магния, имеющегося в большом количестве в морской воде. Менее распространенные элементы используются экономно, по мере необходимости. Судя эти называют «искусственными растениями», поскольку они с помощью компьютеров и механизмов повторяют жизненный цикл микроскопических растений, находящихся в верхних слоях океана. Не трудно подсчитать, что через год будет тысяча таких судов, через два года — уже миллион, через три — миллиард и так далее. Это напоминает демографический взрыв, однако его темп в сотни раз превышает тот, который происходит в человеческом обществе.

Компания «RUR» построила свое одно судно с дорогостоящим оборудованием, конечно же, не просто ради потехи. На каждом судне помимо фабрики есть большой резервуар, постепенно заполняемый опресненной морской водой, которую получают с помощью солнечной энергии. Он приспособлен и для сбора дождевой воды, которая при необходимости может использоваться как бесплатное дополнение. «RUR» построила по всему побережью Австралии насосные станции с радиомаяками. Всякий раз, когда резервуар на каком-нибудь судне заполняется, оно, выполняя заданную программу, направляется к ближайшей станции, где его пресную воду быстро перекачивают, а судно опять уходит в открытое море. Через три года, когда суда компании уже распространились по

всей планете, «RUR» предлагает всем приморским городам, нуждающимся в пресной воде, свои услуги. По всему побережью Калифорнии, Африки и Перу строятся насосные станции, и прибыли рекой текут в сейфы компании «RUR». Начинают расцветать пустыни... Но, по-моему, что-то в этом роде мы уже слышали, только в связи с ядерной энергией. В чем же проблема на сей раз? В этом воображаемом эксперименте их на самом деле две. Первая проблема экономическая. Даже если суда «RUR» обеспечат нас бесплатной пресной водой, по-прежнему будут нужны деньги, чтобы суметь ею воспользоваться. Просто перекачать воду в пустыню, сада там не вырастишь. В большинстве пустынных районов планеты даже изобилие воды не даст быстрого расцвета. Чтобы иметь возможность ею пользоваться, необходимы инженеры, квалифицированные фермеры, акведуки, насосы, трубы, дома, фермы — т. е. все те компоненты, для простого воспроизведения которых требуется период, измеряемый не месяцами, а скорее десятилетиями. Вторая, и более серьезная, проблема в проекте компании «RUR» — экологического характера. Предков у искусственных фабрик в природе нет. На третий год осуществления своего проекта «RUR» будет втянута в тягачи с другими судоходными компаниями, чьи интересы будут ущемлены из-за засилья кораблей «RUR». На пятый год они заполнят всю поверхность Мирового океана. На шестой год побережье континентов будет усеяно горами обломков этих судов, затонувших в результате штормов или столкновений. К этому моменту всем уже станет ясно, что с экологической точки зрения проект компании «RUR» просто бедствие, и будет подписано международное соглашение, запрещающее все дальнейшие эксперименты с искусственными фабриками. К счастью для меня, на мысленные эксперименты этот запрет не распространяется.

Мой второй мысленный эксперимент частично заимствован из рассказа писателя-фантаста Айзека Азимова. Су-

¹ Компания «RUR», так же как и термин «робот», придумана К. Чапеком в научно-фантастическом пьесе «R.U.R.».

ществует планета Марс — отличная недвижность, не имеющая, правда, никакой экономической ценности из-за отсутствия на ней двух важнейших элементов: воды и тепла. А вокруг планеты Сатурн вращается спутник Энцелад. Масса его составляет примерно пять процентов общей массы океанов Земли, а плотность несколько меньше, чем у льда. Для осуществления нашего мысленного эксперимента допустим, что вещество спутника — это смесь грязного льда и снега, причем химический состав грязи таков, что она может служить сырьем для самовоспроизводящихся автоматов.

Наш эксперимент начинается с запуска на Земле ракеты, имеющей на борту небольшой, но исключительно ценный груз сложнейшей аппаратуры. Пункт назначения ракеты — Энцелад. Аппаратура на борту — автомат, способный самовоспроизводиться. Сырьем для него служат вещества, имеющиеся на Энцеладе, источником энергии — слабый свет далекого Солнца. Автомат запрограммирован на производство потомства, представляющего собой миниатюрные солнечные парусники, оснащенные широким тонким парусом, с помощью которого они могут передвигаться в пространстве под давлением солнечного света. С поверхности Энцелада спутники запускаются при помощи простого устройства, напоминающего катапульту. Гравитационные силы на Энцеладе настолько слабы, что для этого требуется лишь легкий толчок. Каждый парусник уносит с собой в пространство небольшой блок льда с единственной целью — доставить его в целости и сохранности на Марс. Им предстоит долгий путь. Сначала с помощью паруса и слабого давления солнечного света парусники как бы карабкаются вверх, преодолевая гравитационные силы Сатурна. Сразу после этого начинается плавный спуск к Марсу в направлении действия гравитационных сил Солнца.

Ракета опускается на поверхность Энцелада, но в течение нескольких лет никаких следов размножения автоматов с Земли не заметно. Потом появляется облако маленьких

парусников, которое медленно вытягивается в виде спирали от орбиты спутника. С Земли кажется, будто вокруг Сатурна образуется новое кольцо, примерно в два раза большее прежних. Проходит еще несколько лет. Внешний край нового кольца постепенно удаляется в пространство и достигает точки, где гравитационные силы Солнца и Сатурна равны. Тут парусники приостанавливаются и затем начинают свободное падение по направлению к Солнцу.

Через несколько лет ночное небо Марса начинает ярко светиться немеркнущим блеском вспыхивающих на нем маленьких метеоров. Приток парусников продолжается безостановочно круглые сутки, становясь ночью более заметным. И днем и ночью над поверхностью планеты дуют легкие теплые ветры, и тепло постепенно начинает проникать в вечную мерзлоту. Чуть позже впервые за миллиарды лет на Марсе идет дождь. До появления океанов осталось уже совсем немного. На Энцеладе запасов льда достаточно, чтобы поддерживать на Марсе теплый климат и орошать его пустыни на протяжении десяти тысяч лет. Так что пусть концовку этого эксперимента допишут писатели-фантасты, а мы давайте посмотрим, можно ли выявить из всего этого какие-либо общие принципы, применимые в реальном мире. В результате эксперимента получился самый что ни на есть парадокс. Парадокс потому, что инструмент конечных размеров, доступный нам за скромную цену, — если только мы научились его производить — позволяет получать бесконечно большую отдачу или если не бесконечно большую, то все равно, по человеческим стандартам, до абсурдного огромную. Получается так, будто мы что-то получаем ни за что, хотя с большим трудом накопленный опыт в решении практических проблем учит нас тому, что за все надо платить и платить немало. Столкнувшись с таким парадоксом, мы неизбежно задумываемся над тем, не обречем ли мы благодаря развитию самовоспроизводящихся автоматов мудрость, превосходящую традиционное бла-

гозумие экономистов. На этот вопрос я ответа не знаю, но, думаю, можно без опасений сказать, что в XXI в. он станет одним из центральных вопросов, над которыми будет биться человечество. Сейчас самое время над ним задуматься.

Еще один мысленный эксперимент, как раз чтобы проиллюстрировать суть этого вопроса. Одним из побочных продуктов при осуществлении проекта на Энцеладе является небольшой самовоспроизводящийся автомат, приспособленный для функционирования в условиях земной пустыни. Воспроизводит он себя из силикатов и алюминия, а вещества эти он может добывать из обычных камней, которые ему попадают. Он может удовлетворять свои потребности за счет влаги, добываемой даже из самого сухого воздуха. Источником энергии для него является солнечный свет. Вырабатывает он электрическую энергию, а также производит линии электропередач для доставки электроэнергии туда, где она необходима. В Конгрессе идут бурные дебаты относительно выдачи лицензии на этот автомат с целью использовать его в массовом порядке на западе США. Потомство одного автомата может без труда выработать энергию, в десять раз большую, чем сейчас производится в Соединенных Штатах в целом, но вряд ли кто-либо станет утверждать, что последствия для ландшафта пустыни будут благоприятными.

В конечном итоге верх в дебатах взяло лобби, борющееся с загрязнением окружающей среды. Использование ископаемого горючего и ядерной энергии к этому моменту уже привело к серьезным трудностям в этой области. Из-за новых электростанций обоих типов происходит не только химическое и радиоактивное загрязнение, но и усугубляется разрушительное для окружающей среды действие тепловых отходов. А поедающий камни автомат тепловых отходов никаких не дает. Он просто использует энергию, которая в противном случае просто нагревала бы воздух пустыни, и часть ее с пользой перерабатывает. Из-за него не возникает ни смо-

га, ни радиоактивности. Наконец, принимаются законы, запрещающие размножение автоматов, но с той оговоркой, что каждый автомат запоминает, как первоначально выглядело то место, где он функционирует, и если по каким-либо причинам это место будет покинуто, автомат должен быть запрограммирован на восстановление его первоначального облика.

Мой третий воображаемый эксперимент тоже зашел в область фантастики, так что остановлюсь на этом. Здесь, похоже, удалось избежать экологических проблем, с которыми столкнулась компания «RUR». Но возникло сразу несколько новых вопросов, которые необходимо рассмотреть. Раз существует такое изобилие солнечной энергии и из-за нее не возникает никаких проблем в области загрязнения окружающей среды, почему же до сих пор мы не используем ее в широких масштабах? Ответ заключается в том, что просто капитальные затраты на это слишком велики. Но самовоспроизводящийся автомат, похоже, позволяет обойти эту проблему. Как только в распоряжении имеется прототип описанного автомата, Земля и солнечный свет, расходов больше не требуется. «Камнепад», если только таковой возможен, позволяет преодолеть экономические преграды, до сих пор мешавшие широкомасштабному использованию солнечной энергии.

Может ли такая идея вылиться в реальную программу в XXI в.? Один из неизвестных количественных показателей, которые будут определять возможность практического осуществления подобных идей, — это продолжительность периода воспроизведения, т. е. то время, которое необходимо для удвоения числа автоматов. Если этот период длится двадцать лет, что сравнимо со временем, необходимым для появления нового человеческого поколения, то автоматы не внесут резких изменений в условия существования общества. В таком случае они смогут размножаться и производить блага лишь примерно теми же темпами, что и те, к которым мы привыкли в нашем обычном индустриаль-

ном развитии. Если же период воспроизведения всего лишь год, то ситуация совсем иная. Один единственный автомат за двадцать лет даст потомство в миллион автоматов, за тридцать — в миллиард автоматов, и тогда при жизни одного человеческого поколения можно будет изменить экономическую базу общества. Если период воспроизведения — месяц, то ситуация опять радикально меняется. Тогда мы могли бы с удовольствием размышлять над тем, как разрушить нашу старую промышленность или наши города и за несколько лет воссоздать их в гораздо лучшем виде.

Трудно найти логическую основу для ответа на вопрос, каким должен быть период воспроизведения автоматов того типа, которые я постулировал в своих трех экспериментах. Непосредственную информацию дает только биология. Мы знаем, что у бактерий и беспозвоночных, у самых простых полностью самовоспроизводящихся организмов, период смены поколений составляет несколько часов или дней. На втором из основных уровней биологической структуры, у организмов более высокой организации (например, у птиц), средний период смены поколений уже примерно год. На третьем уровне биологической структуры, довольно ненадежно представленном одним единственным видом — *Homo sapiens*, — период смены поколения составляет двадцать лет. Грубо говоря, можно предположить, что биохимический аппарат способен воспроизвести себе подобный за один день, центральная нервная система более высокой организации — за год, традиции в культуре — за двадцать лет. С каким из этих трех уровней сравнивать наши искусственные автоматы?

В своей лекции в 1948 г. фон Нейман говорил в основном о логически самых простых автоматах, самовоспроизводящихся путем прямого создания точной копии. Для них фон Нейман постулировал структуру, подходящую для одноклеточного организма. Он изобразил их отдельными элементами, плавающими в океане сырья и не

обращающими внимания друг на друга. Этот низший уровень организации подходит для моего первого эксперимента, но не подходит для двух остальных. Недостаточно, чтобы автоматы на Энцеладе просто размножались, как червяки в гнилом яблоке. Для получения результата, о котором я говорил во втором и в третьем экспериментах, автоматы должны воспроизводиться и развиваться под контролем, как клетки организма более высокой организации. Полностью развитая популяция автоматов должна быть так же хорошо скоординирована, как и клетки птицы. Необходимы автоматы, которые выполняли бы специальные функции (как, например, функции печени, мускулов или нервных клеток). Необходимы высокочувствительные органы чувств, а также вычислительный центр, который взял бы на себя функции мозга.

В настоящее время механизм дифференциации клеток и регулирования их роста в высокоразвитых организмах изучен мало. Возможно, чтобы понять этот механизм, имеет смысл продолжить абстрактный анализ самовоспроизводящихся автоматов, начатый фон Нейманом, и пойти дальше одноклеточного уровня. Стоит проанализировать, каковым должно быть минимальное число основных компонентов, необходимых автомату для того, чтобы он мог послужить клеткой-зародышем организма более высокой организации. Ему потребуются инструкции для построения своих потомков всех до единого, а также сложная система регулирования, которая обеспечивала бы скоординированное размножение и функционирование потомков самых разнообразных типов. Такой анализ я всерьез проделывать не пытался. Быть может, теперь, когда фон Неймана уже нет, среди нас не найдется таких блестящих умов, которые были бы способны завершить этот анализ с помощью логических построений. Лучше подождать, пока ученые-эмбриологи выяснят в своих лабораториях, как эту проблему решила Природа.

Мой четвертый воображаемый эксперимент всего лишь

более обобщенный вариант третьего. Добившись в Соединенных Штатах успеха автомата-кампнеда, компания «RUR» выбрасывает на рынок набор для промышленного развития, разработанный с учетом потребностей развивающихся стран. За небольшой первый взнос любая страна может получить «инкубатор», который всего через несколько лет произведет законченную систему основных отраслей промышленности с необходимой транспортной структурой и системой связи. Производится этот «инкубатор» по заказу покупателя с учетом его конкретных потребностей. Продавец дает гарантию, оговаривая ее лишь одним условием: на весь период роста системы покупатель вывозит население из района строительства. Когда же система создана, покупатель волен вмешиваться в ее функционирование или изменять ее по своему усмотрению.

Еще одним удачным изобретением компании «RUR» стал набор для обновления городов. Если какой-нибудь город вдруг перестанет эстетически или экономически удовлетворять его жителей, потребуется лишь собрать группу архитекторов и градостроителей, чтобы они разработали план его реконструкции. Тогда за установленную плату можно будет соответствующим образом запрограммировать набор для обновления городов, который и выполнит эти работы.

Не смею утверждать, что

знаю, каким образом быстрое создание промышленности или реконструкция городов скажутся на системе наших ценностей или общественных институтах. Отрицательным будет то, что нечеловеческие масштабы и скорость этих операций еще больше оттолкнут большинство населения от меньшинства, контролирующего автоматы. У тех, чьи дома будут снесены, обновление городов вызовет отвращение. В то же время благодаря новой технологии исчезнет большинство наших современных экономических проблем. А это уже нужно отнести к положительным последствиям. Подавляющее большинство населения уже не будет заниматься производством и распределением материальных благ. Оно с радостью предоставит специалистам в области ЭВМ разбираться в экономических трудностях, а само найдет увлекательные способы времяпрепровождения. К тому же использование набора для промышленного развития позволит быстро ликвидировать различия между развитыми и развивающимися странами.⁴ И все

мы без исключения будем жить в постиндустриальном обществе.

Какой будет жизнь в этом обществе? Холдейн в своем «Дедале» попытался ее изобразить:

«Появление синтетической пищи приведет к тому, что парки и фабрики придут на смену свалкам и бойням и города наконец перестанут зависеть от деревень.

Не у одного крестьянина обилось бы кровью сердце
При виде города, в котором
нам предстоит жить.
Деревья цветут и плодоносят
круглый год,
Реки переполнены светлым
и темным пивом,
Старик в лесу из серебра
и золота играет на волынке,
Королевы с голубыми как
лед глазами танцуют среди
толпы».

Это не социологический анализ — это поэтический образ. Однако вряд ли кто пока сумел лучше Холдейна представить, что будет испытывать человек, глядя на постиндустриальный мир.

Перевод с английского
А. В. Багаева

⁴ Разумеется, нельзя согласиться с Ф. Дайсоном, ошибочно полагающим, как и буржуазные социологи, что научно-техническое и промышленное развитие само по себе приведет к положительным для человека социальным изменениям. (Прим. ред.)

В номере использованы фотографии АЛЕКСЕЕВА Н. Н., МОРОШКИНА В. В., ИСЛАМОВА У. И.

Художник П. Г. АБЕЛИН
Художественные редакторы
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:
Э. А. ГЕОРГАДЗЕ, Т. Д. МИРЛИС,

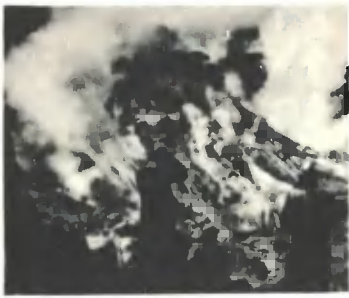
Адрес редакции:
117049, Москва ГСП-1,
Мароновский пер., 26.
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 28.12.83
Подписано к печати 3.02.84
Т—03538
Формат 70×100¹/₁₆
Офсет
Усл.-печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 1432,7 тыс.
Уч.-изд. л. 15,4
Бум. л. 4
Тираж 53 520 экз. Зак. 3640



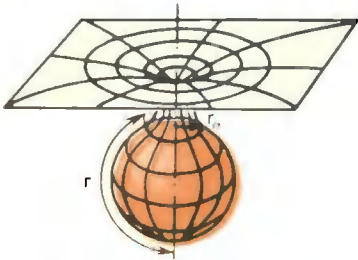
— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы.

Ордена Трудового Красного Знамени Чеховский полиграфический комбинат ВО «Союзполиграфпром» Государственного комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
г. Чехов Московской области.



В следующем номере

Как «работает» гейзер, что заставляет его действовать периодически? Эта задача получила строгое физико-математическое решение, подтвержденное лабораторными экспериментами и натурными наблюдениями.
Штейнберг Г. С., Штейнберг А. С., Мержанов А. Г. Гейзер.



Будет ли наблюдаемое расширение Вселенной продолжаться бесконечно, или оно сменится сжатием? Произошла ли Вселенная в результате «Большого взрыва», или она пульсирует вечно? Существует ли минимальный размер пространства? Ответы на эти и многие другие вопросы пытается найти современная теория гравитации.

Марков М. А. Некоторые проблемы современной теории гравитации.



«Биофизика нужна по той простой причине, что без нее нельзя ответить как на главный вопрос «Что такое жизнь?», так и на частные вопросы о внутренних материальных механизмах тех или иных жизненных явлений.» Эти слова принадлежат видному советскому ученому академику Г. М. Франку (1904—1976).

К 80-летию со дня рождения Г. М. Франка.
Франк Г. М. Некоторые задачи и перспективы развития биофизики.

Иваницкий Г. Р. Черты научного руководителя.



С каждым годом возрастает значение океана в жизни людей, и это находит выражение в их стремлении к побережью. По данным демографического анализа, более половины населения живет в районах, прилегающих к морскому берегу на расстояние до 200 км.

Брук С. И., Покишишевский В. В. Человечество устремляется к морям.



Восстановить события глубокой древности, происходившие около 10—20 тысяч лет назад, помогают популяционные исследования малых этнических групп, живущих сегодня на Таймыре и Аляске.

Сукерник Р. И., Кроуфорд М. Популяционная генетика о первоначальном заселении Америки.

Цена 80 коп.
Индекс 70707

