

12 ПРИРОДА

1983



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. ЧЕРЕПАЩУК

Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ

Академик
В. А. ЭНГЕЛЬГАРТ

На первой и четвертой страницах обложки.
Ушастая сова (*Asio otus otus*). Зима в Сары-Челекском заповеднике. См. в номере: Чупахин В. М., Зыков К. Д., Криницкий В. В. Сары-Челекский горный биосферный заповедник.

Фото А. Б. Гражданкина
и В. И. Животченко.

В НОМЕРЕ

- Гинзбург В. М., Степанов Б. М. Голографические методы измерений** **3**
- Голография позволяет наглядно зарегистрировать и точно определить форму и внутреннюю структуру самых различных объектов — неподвижных и изменяющихся, непрозрачных и светящихся — от эритроцитов до люминесцентных ламп и от музейных фресок до ювелирных кристаллов.
- Оксенгендлер Г. И. Биологическая роль и токсические свойства цианидов** **13**
- Цианиды широко используются в химической промышленности. Они участвуют в обменных процессах в организме. Без них, по-видимому, был невозможен синтез первых органических молекул.
- Смондырев М. А. Промежуточные векторные бозоны** **21**
- Эти частицы, столь долго бывшие гипотетическими, открыты физиками ЦЕРНа. Начинается новый этап проверки теории электрослабых взаимодействий.
- Павленкова Н. И. Глубинные неоднородности Земли** **36**
- Новейшие геофизические исследования показали, что земная кора и верхняя мантия неоднородны по многим физическим параметрам и, что, особенно важно, по степени пластичности вещества.
- Чупахин В. М., Зыков К. Д., Криницкий В. В. Сары-Челекский горный биосферный заповедник** **48**
- В 1978 г. создан единственный в горах Средней Азии Сары-Челекский биосферный заповедник.
- ИССЛЕДОВАНИЯ В. А. ОБРУЧЕВА В АЗИИ**
- Нагибина М. С. Современные проблемы тектоники Азии в свете идеи В. А. Обручева** **56**
- Представления Обручева о недавнем происхождении впадины Байкала, возобновлении движений земной коры на древних плитах, пульсационном характере этих движений активно развиваются в наши дни.
- Письма В. А. Обручева Г. Н. Потанину** **63**
- В архиве Красноярского краеведческого музея обнаружены письма-отчеты Обручева из его знаменитой экспедиции в Центральную Азию 1892—1893 гг.
- Куприянова Л. А. Структура пыльцы гнетума — сходство или родство?** **70**
- До сих пор вопрос о происхождении покрытосеменных остается неясным. Получены новые данные, проливающие свет на решение этой проблемы.
- Елецкий А. В., Смирнов Б. М. Современная атомная физика — тенденции и стимулы развития** **72**
- Атомная физика была тем фундаментом, на котором возникла современная квантовая теория. Что и как изучает она в наши дни, каковы движущие силы ее бурного развития

Степанов В. Е., Касинский В. В., Томозов В. М. Международная программа «Год солнечного максимума» — основные результаты

82

Расшифровка механизма возникновения солнечных вспышек — основная цель международной программы «Год солнечного максимума», проводившейся с августа 1979 по февраль 1981 г.

ПРИРОДА — ИСКУССТВО — КУЛЬТУРА

Тасалов В. И. Природа как внутренний фактор культуры

91

История мирового искусства и эстетических идей свидетельствует о нерасторжимости закономерностей природы и закономерностей культуры.

Киященко Н. И., Лейзеров Н. Л. Природа, эстетика, человек

97

Является ли природа только объектом художественного освоения? Не навязывает ли она также и законы, и формы такого освоения? И какой вклад может внести искусство в гармонизацию отношений человека и природы?

НОВОСТИ НАУКИ

102

Запуски космических аппаратов в СССР (июль — август 1983 г.) (102) • Орбитальная станция «Салют-7» с июля по август (103) • Исследуется остаток Сверхновой 1006 года (104) • Самые короткие световые импульсы с перестраиваемой длиной волны (104) • Каналирование частиц в изогнутых монокристаллах (104) • Синтез в каналах кристаллической решетки тиомочевины (105) • Хромосомные перестройки и возникновение опухолей (106) • Абиогенный синтез белков в открытой системе (106) • Фактор, ускоряющий заживление ран (106) • Пути борьбы с инфекциями (107) • Новая гипотеза возникновения пародонтоза (107) • Гормональная асимметрия мозга (108) • Особенности психики и предрасположенность к коронарным болезням (108) • Определение оптимальных условий развития (109) • Певчий дрозд и телефон (110) • Как пауки защищают свои сети (110) • Урбанизация ворон (112) • 86-й рейс «Гломара Челленджера» (112) • Вулканический направленный взрыв (113) • Как разрушаются айсберги (114) • Новый способ оценки поднятия Памира (115) • Меры для спасения кондора (115)

НОВЫЕ КНИГИ

116

Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине (116) • Зверев В. Л. Пропавшие атомы (116) • From Biology to Biotechnology (116) • Резенгарт В. И. Ферменты — двигатели жизни (117) • Eichler W. Gift in unserer Nahrung. Die Brisanz der Umweltgifte in Nahrungsketten (117) • Исследования океанов и морей. Итоги, проблемы, перспективы (118) • Пантелеймон Леонидович Безруков (118) • Охрана природы. Библиографический указатель отечественной литературы. 1977—1981 (118)

Тематический указатель журнала «Природа» 1983 года

119

Авторский указатель журнала «Природа» 1983 года

127

Голографические методы измерений

В. М. Гинзбург,

доктор технических наук

Б. М. Степанов,

доктор физико-математических наук

Всесоюзный научно-исследовательский институт оптико-физических измерений
Москва

Как известно, для получения голограммы обычного, отражающего свет объекта луч лазера разделяют на два, один из которых, опорный, направляется непосредственно на фотопластинку, а другим, сигнальным, освещается объект. Отраженный от объекта свет также попадает на фотопластинку. Образующаяся у поверхности фотопластинки картина интерференции световых волн (опорной и отраженной сигнальной) регистрируется на ней. Если проявленную фотопластинку установить на то же место, на котором она экспонировалась, убрать объект и делитель луча и снова включить лазер, то наблюдатель увидит на месте, где был объект, его объемное изображение.

Если на одной фотопластинке дважды зарегистрировать голограмму и между двумя экспозициями немного изменить положение или форму объекта (например, нагреть его), то после проявления такой дважды экспонированной фотопластинки на ней будут зарегистрированы оба изображения объекта (рис. 1, сверху). Благодаря когерентности лазерного света волны, формирующие эти изображения, складываются (интерferируют), образуя интерферограмму объекта, и мы увидим объект с нанесенными на него интерференционными полосами. Например, объемное изображение лошади станет похожим на изображение зебры. Расстояния между интерференционными полосами на объекте пропорциональны сдвигу поверхности (в длинах волн) между экспозициями. Измеряя это расстояние, можно рассчитать сдвиг любой точки на поверхности объекта в период между экспозициями.

Если объект прозрачный (т. е. преломляющий свет), то для получения его голограммы сигнальный пучок пропускают через объект (рис. 1, внизу). Прозрачными для лазерного света являются также светящиеся объекты, например ионизированная плазма при не слишком большой

концентрации заряженных частиц. Собственное свечение таких объектов сравнительно легко отфильтровать, так как несущее информацию лазерное излучение имеет столь узкую полосу частот, что попадающая в эту полосу энергия собственного излучения объекта ничтожна по сравнению с энергией лазерного пучка.

В этом случае для наблюдения восстановленного изображения проявленную фотопластинку (голограмму) устанавливают на месте экспонирования (или проявляют непосредственно на этом месте) и перекрывают сигнальный пучок непрозрачной заслонкой. Однако увидеть при этом, как и в обычном случае, можно только контуры прозрачного объекта. Для визуализации его внутреннего строения также используют интерферометрию. Но для получения классической интерферограммы (т. е. «суммы» двух изображений), кроме исследуемого, требуется еще и объект для сравнения. Голографическую интерферограмму получают методом двух экспозиций одного и того же объекта, изменяя его внутреннюю структуру или положение между экспозициями. Например, при первой экспозиции регистрируют проволочку, а при второй взрывают проволочку, подводя к ней большой ток. Тогда в восстановленном изображении будет наблюдаться интерферограмма (в области возникновения искры), сформированная благодаря различному преломлению света при двух экспозициях, обусловленному изменением плотности воздуха вокруг проволочки при взрыве.

По полученным таким образом интерферограммам можно определить объемное распределение показателя преломления в объекте, если известна его форма; либо форму объекта, если известно распределение показателя преломления.

Особый интерес представляет метод получения голографических интерферограмм в реальном времени. Его используют для наблюдения объектов в дина-

мике. Если объект отражающий, то предварительно снимают его голограмму в исходном (стационарном) состоянии. При этом пластинку проявляют на месте экспонирования, чтобы избежать ее смещения. При восстановлении голограммы делитель и объект не убирают. Если объект не изменился, то его объемное изображение точно совпадает с самим освещенным объектом и наблюдатель не обнаружит никакого различия между реальным объектом и его восстановленным изображением, если заслонкой поочередно закрывать

опорный или сигнальный лучи. Однако при малейшем изменении формы объекта, соизмеримом с длиной волны света, на объекте возникнут интерференционные полосы—результат интерференции поля восстановленного изображения с полем, освещающим реальный объект. Возникающая «живая» интерферограмма изменяется с изменением формы объекта и может быть зарегистрирована на киноплёнке.

Аналогичный результат получают с прозрачными объектами. Для этого при экспонировании голограммы вместо

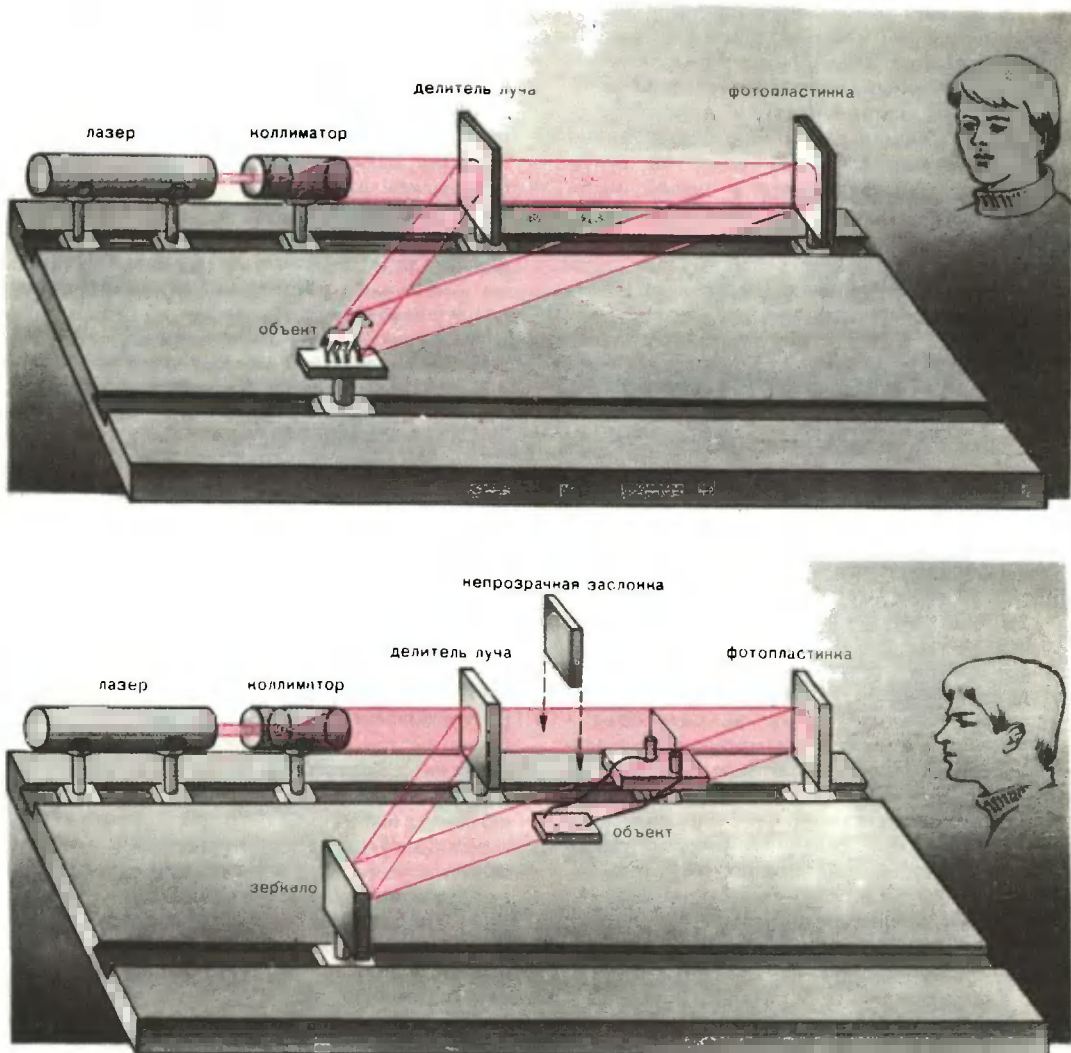


Рис. 1. Схема регистрации и восстановления голограмм непрозрачных (вверху) и прозрачных (внизу) объектов.

объекта (рис. 1, внизу) устанавливают матовый экран. После проявления голограммы на месте экспонирования, между голограммой и матовым экраном помещают прозрачный объект, например горящую свечу. Тогда на фоне матового экрана будет наблюдаться интерферограмма колеблющегося пламени свечи (рис. 2), обусловленная изменением плотности воздуха в пламени.

Голографическая интерферометрия находит широкое применение в различных областях науки и техники для качественного и количественного анализа всевозможных процессов и явлений, неразрушающего контроля изделий и др. Однако использование голографии в метрологии этим не ограничивается. В физике, медицине, технике существуют проблемы, связанные с измерением распределений — в пространстве и по размерам — множества микрообъектов (дисперсной фазы вещества) в некоторой сплошной среде, например капелек в воздухе при распылении жидкостей, пылинок в пылевом облаке и др. Для решения таких задач используется метод голографической дисдрометрии. В голографических дисдрометрах (приборах для измерения дисперсной фазы) используются импульсные лазеры, позволяющие зарегистрировать мгновенные состояния процессов в объеме. Обработка мгновенных объемных изображений производится последовательным просмотром и обмером капель или частиц в различных (по глубине) слоях изображения. Сочетая голографическую интерферометрию (метод двух экспозиций) с дисдрометрией, можно получить одновременно информацию о сплошной и дисперсной фазах двухфазных систем.

С целью иллюстрации возможностей голографических измерений мы расскажем о некоторых разработанных во Всесоюзном научно-исследовательском институте оптико-физических измерений (ВНИИОФИ) конкретных методах исследования самых различных физических явлений. Внедрение этих методов осуществлялось совместно со многими организациями. В исследованиях использовалась разработанная во ВНИИОФИ голографическая аппаратура, которая серийно выпускается Научно-производственным объединением ВНИИОФИ и опытным заводом «Матас» в г. Вильнюсе.

Для получения голограмм и интерферограмм стационарных объектов и медленно протекающих процессов необходимо обеспечить отсутствие смещений объекта и элементов голографической схемы

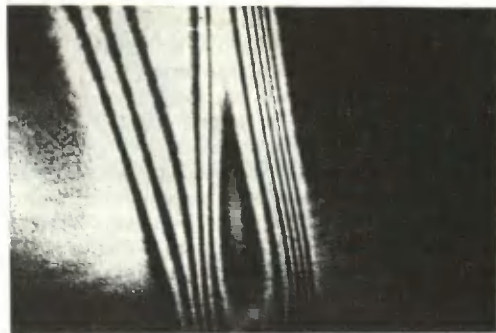


Рис. 2. Интерферограмма пламени свечи.

за время экспонирования (до 5 мин) на величину порядка десятых долей длины волны света (0,05 мкм!). Этому требованию удовлетворяют голографические установки серии УИГ-2, в которых для защиты от вибраций используется подвешенная на воздушной подушке тяжелая рабочая плита размером до 2,5 X 3 м. Установки оснащены гелий-неоновым лазером непрерывного излучения и набором приспособлений и оптических элементов для сборки голографических схем на рабочей плите. На таких установках можно получать голограммы объектов размером до 1 м и массой до 0,5 т и наблюдать интерферограммы в реальном времени в течение 1 месяца (например, следить за ростом кристалла).

При голографировании быстротекающих (например, взрывных) процессов, наоборот, требуется очень короткое время экспозиции. Для этого предназначена установка УИГ-1М, содержащая импульсный рубиновый лазер и два каскада усиления света, линию задержки и схему синхронизации запуска лазера с исследуемым процессом. Установка также имеет унифицированный набор приспособлений для сборки голографических схем и позволяет снять голограмму объекта за 20 нс или (в режиме свободной генерации лазера) обеспечить множество коротких световых импульсов в течение примерно 1 мс. Разработан также целый ряд других устройств (включая микроскопические) для записи голограмм и интерферограмм исследуемых объектов¹.

¹ Более подробные сведения о них см. в книгах: Гинзбург В. М., Степанов Б. М. Голографические измерения. М., 1981; Голография. Методы и аппаратура. Под ред. В. М. Гинзбург и Б. М. Степанова. М., 1974.

Взрывающиеся проволочки. Явления, связанные с электрическим взрывом проволочек, представляют интерес для моделирования различных взрывных процессов. Такой взрыв сопровождается образованием осколков, когда энергия, подводимая к проволочке, недостаточна для ее полного испарения (взрыв первого типа). Голография позволяет зарегистрировать объемные распределения осколков либо их треков, по которым можно определить величины векторов скоростей разлета отдельных осколков.

При увеличении подводимой энергии проволочка во время взрыва полностью испаряется (взрыв второго типа). В этом случае голографическая интерферометрия позволяет получить объемное распределение показателя преломления возникающей плазмы, а следовательно, и другие связанные с ним параметры.

На рис. 3 показаны несколько кадров интерферограмм взрыва второго типа в различные моменты взрыва, полученных методом двух экспозиций. По таким интерферограммам можно рассчитать распределение показателя преломления n в области плазмы. Пользуясь известным соотношением между показателем преломления и концентрацией заряженных частиц в плазме, можно определить распределение этой концентрации. Так, например, в начале взрыва проволочки второго типа концентрация электронов в центре плазменного сгустка достигает значений $5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

На рисунке виден также сферический фронт ударной волны, расширяющийся вокруг области взрыва. Средняя скорость распространения волны за первые 10 мкс приблизительно 400 м/с и за следующие

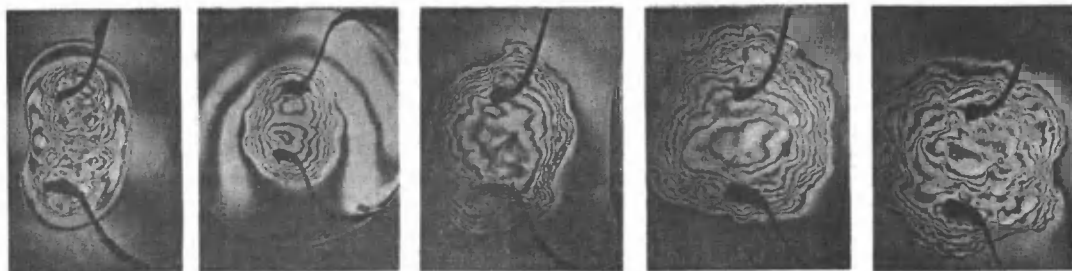
15 мкс уменьшается до скорости звука в воздухе (около 300 м/с). Средняя скорость разлета плазмы к моменту времени 30 мкс превышает 100 м/с и падает вдвое к 100 мкс.

Газоразрядная лампа. Методы голографической интерферометрии позволяют исследовать также плазму импульсных газоразрядных ламп при различных условиях — во всем объеме лампы цилиндрической формы, вблизи катода, при нестационарных разрядах и др.

На рис. 4 приведена интерферограмма разряда в прикатодной области импульсной лампы ИФП-800, используемой в лазерах на твердом теле, через 200 мкс после включения при нормальной энергии разряда 800 Дж. Интерферограмма получена методом двух экспозиций на установке УИГ-1М при работе лазера в режиме гигантского (одиночного) импульса длительностью 40 нс. При первой экспозиции регистрировалась голограмма лампы до включения, при второй — после включения. По полученной интерферограмме определен закон распределения показателя преломления в сечении разряда и оценено значение концентрации электронов на оси разряда, равное $4,8 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

Горение пороха. Экспериментальные исследования процесса горения взрывчатых веществ осложняются агрессивностью среды, в которой происходят быстротекущие химические реакции при высоких температурах (несколько тысяч кельвинов), и большой яркостью свечения. Голография позволила исследовать и измерять такие явления, происходящие в процессе горения, которые известными ранее методами нельзя было даже обнаружить. Например, оказалось возможным исследовать состояние поверхности горящего пороха, регистрировать и измерять дисперсную фазу и исследовать тепловые поля вблизи поверхности горения, определять степень дис-

Рис. 3. Последовательность интерферограмм взрывающейся проволочки в различные моменты времени.



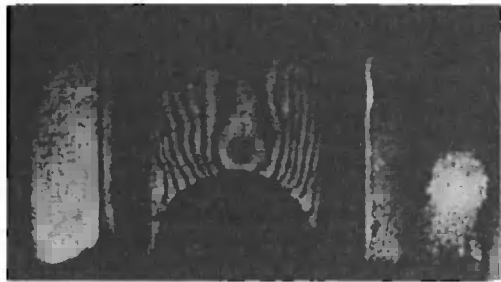


Рис. 4. Интерферограмма разряда импульсной лампы.

пергирования, т. е. выноса в газовую фазу, частиц с поверхности горящего вещества. На рис. 5 приведена интерферограмма газовой фазы и изображение области вблизи горящей поверхности таблетки пороха. По таким изображениям была определена абсолютная счетная концентрация частиц у поверхности горения, равная $5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$, которая монотонно уменьшается с удалением от поверхности: на высоте 4 мм, например, в полтора раза. По интерферограмме можно также определить распределение давления газа над поверхностью горения.

Распыление жидкостей через форсунки. Голография позволила впервые наблюдать объемные изображения и получать количественные данные о факелах распыления жидкостей, вытекающих из различных форсунок. На рис. 6 приведено восстановленное изображение конуса распыления жидкости из центробежной форсунки, полученное на установке УИГ-1М. По таким изображениям можно изучать форму поверхности конуса распыления (например, на приведенной фотографии видны спиралевидные жгуты жидкости, соединенные тонкой пленкой). Кроме того, этот способ позволяет измерять объемное распределение капель, отрывающихся от края конуса распыления. Так, для исследуемой форсунки была построена гистограмма распределения капель по размерам в пределах 10—200 мкм.

Голография позволяет также определить скорость разлета капель. Для этого на одну и ту же фотопластинку регистрируют две голограммы с помощью парных импульсов, излучаемых лазером через небольшие интервалы времени. При восстановлении суммарной голограммы формируются пары изображений каждой



Рис. 5. Интерферограмма факела горения пороха (вверху) и восстановленное изображение у поверхности горения (внизу).

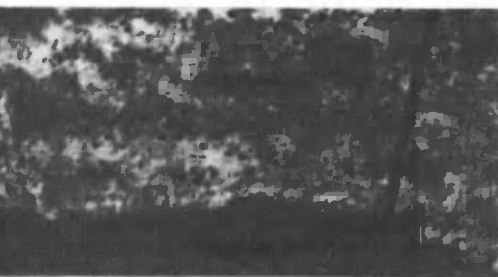


Рис. 6. Восстановленное изображение конуса распыления жидкости из форсунки.

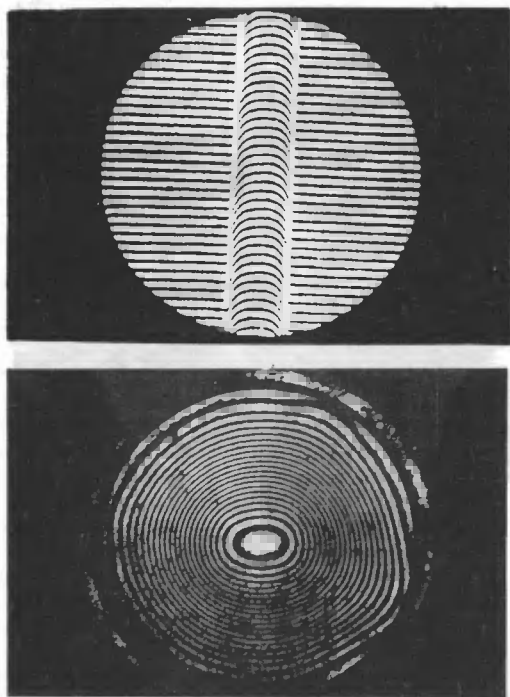
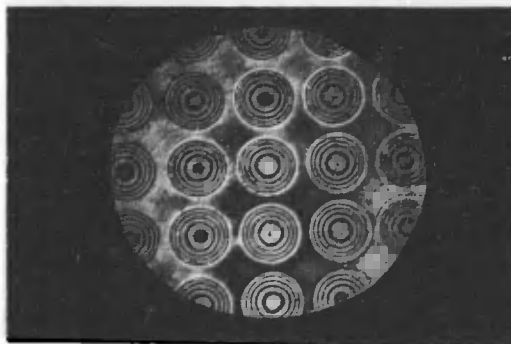
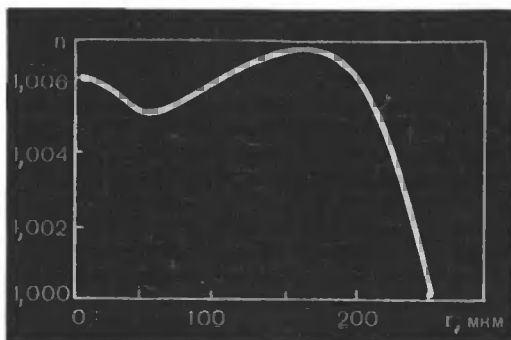


Рис. 7. Интерферограмма волокна «селфон» и распределение показателя преломления по его сечению (вверху). Внизу — интерферограммы дефектной линзы и участка оптического раstra.



капли. По расстояниям между двумя изображениями, направлению их перемещения и известному интервалу времени между импульсами можно определить вектор скорости каждой капли. Так, при интервале между импульсами 100 мкс средняя скорость капель для исследуемой форсунки оказалась равной 5 м/с.

Представляют интерес исследования форсунок автомобильных дизелей, проведенные совместно с Научно-исследовательским автомобильным и автомоторным институтом. Были впервые получены объективные данные об объемном распределении капель в факеле распыления топлива без воздействия на его структуру, определены число и размеры капель в различных сечениях факела. Это позволило разработать объективные критерии качества дизельных форсунок для неразрушающего контроля в процессе их производства и при конструировании новых образцов.

Оптические приборы и детали. Развитие технологии изготовления оптических во-

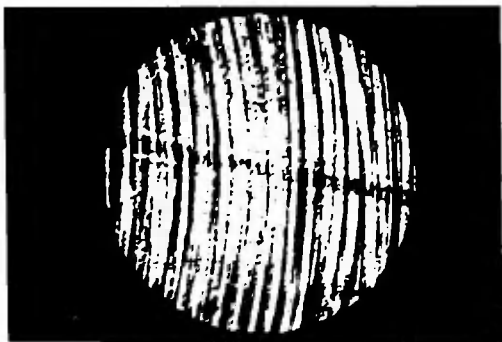
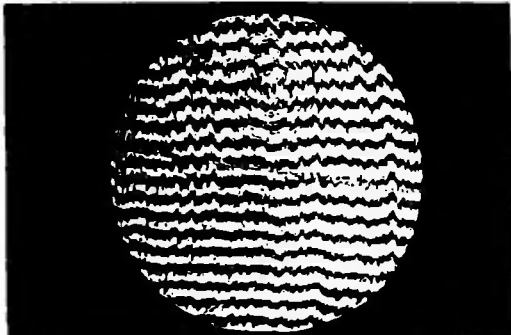
локон (световодов), используемых для широкополосной передачи информации, потребовало принципиально новых методов контроля их качества. Исследования волокон производились с использованием установки УИГ-2М и голографического микроскопа МГИ-1, работающих с серийными гелий-неоновыми лазерами. На рис. 7 (вверху) приведена впервые полученная интерферограмма японского оптического волокна «селфон» и рассчитанное по ней распределение показателя преломления в сечении волокна.

Эта интерферограмма получена в реальном времени в полосах конечной ширины, которые образуются, если перед внесением прозрачного объекта между матовым экраном и голограммой повернуть экран либо голограмму на небольшой угол. При этом на матовом экране будут наблюдаться параллельные линии, расположенные на конечном расстоянии, пропорциональном длине волны и углу поворота экрана. Такие интерферограммы легче обрабатывать, так как искривление параллельных линий пропорционально изменению показателя преломления на пути светового луча при прохождении через волокно.

Разработанная методика неразрушающего контроля оптических волокон успешно применяется в Физическом инсти-



Рис. 8. Расслоение раствора при росте кристалла в статическом режиме (слева). Справа — интерферограмма и тенеграмма зон роста в кристалле вольфрамата кальция.



туте им. П. Н. Лебедева АН СССР, Государственном оптическом институте им. С. И. Вавилова и других организациях.

Голографическая интерферометрия, осуществляемая в реальном времени, используется и для контроля качества различных оптических элементов: линз, линзовых растров, состоящих из множества линзочек диаметром менее 0,5 мм, тонких пленок и др. (рис. 7, внизу).

Рост кристаллов. Голографическая интерферометрия делает возможным также осуществление неразрушающего контроля процесса роста кристаллов из раствора в промышленных кристаллизаторах. Разработанная методика позволяет автоматизировать управление процессом, что обеспечивает высокое качество кристаллов. При исследованиях обнаружилось ранее неизвестное явление расслоения раствора, возникающее при скачкообразном изменении температуры в статическом режиме роста (рис. 8, слева). Это явление в настоящее время изучается геологами (в Коми филиале Академии наук СССР) применительно к росту натуральных кристаллов в естественных условиях.

Голографическая интерферометрия позволяет также исследовать микрострук-

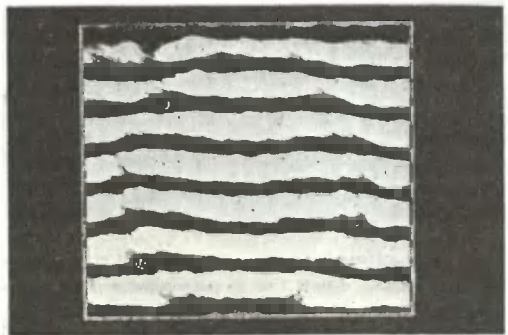
туру выращенного кристалла, его однородность, связь качества с режимом выращивания, составом примеси активизатора и др. В качестве примера на рис. 8 (справа) показана интерферограмма участка кристалла с дефектами (зоны роста). Для сравнения приведено теневое изображение этого участка, полученное в лазерном свете на той же установке при перекрытии опорного пучка. Из сопоставления обоих изображений можно видеть, что искривления линий на интерферограмме вызваны скачками показателя преломления кристалла на границах зон роста, видимых на теневом изображении.

Особенный интерес представляет применение голографических методов в ювелирном деле.

При оценке качества ограненных драгоценных камней необходимо получить объемное изображение, в котором видны одновременно грани и внутренность камня. Для получения объемных изображений драгоценных камней, у которых показатель преломления велик (например, бриллиантов), обычные схемы голографирования неприемлемы, так как из-за большого отражения от граней свет почти не проникает внутрь кристалла. Погружение драгоценных камней в иммерсионную жидкость (для их просвечивания) не всегда



Рис. 9. Интерферограмма замороженного препарата крови (вверху). Видны каналы с криофиллактиком. Стрелкой показан эритроцит. Внизу — интерферограммы эритроцитов различной формы (сверху вниз): дискондальной, торондальной и сферондальной.



возможно, так как иммерсионные жидкости с высоким показателем преломления очень токсичны. Кроме того, иммерсионный метод позволяет наблюдать только внутренние дефекты кристалла. Для преодоления этой трудности была предложена схема голографирования с фокусировкой сигнального луча внутрь кристалла. При таком освещении из-за многократного отражения и преломления световых лучей на внутренних поверхностях граней кристалла весь кристалл светится. При визуальном наблюдении объемного изображения кристалла искусственного кварца размером 6×4 см была, например, четко видна структура отдельных граней — следы вицинального и тангенциального роста. На бриллиантах видна игра граней, как в натуральном камне, и дефекты: микротрещины, царапины на гранях, угольки внутри камня.

Гематология. В медицине, в частности в гематологии, также были обнаружены проблемы, которые не могли быть решены с помощью применявшихся ранее методов исследования. К таким проблемам относятся, в частности, поиски оптимального режима замораживания крови с целью длительного ее хранения и изучение живых клеток крови *in vivo* (в кровотоке) и *in vitro*, в норме и при различных заболеваниях.

Совместно с харьковскими специалистами исследовалось замораживание препаратов крови в различных условиях. Найдены режимы замораживания, при которых образуются каналы с незамерзающей жидкостью — криофиллактиком (веществом, добавляемым в кровь при замораживании). В этих каналах эритроциты защищены от повреждений, которые могут быть нанесены им кристалликами льда. На рис. 9 (вверху) приведена интерферограмма замороженного препарата крови с такими каналами, в одном из них виден эритроцит.

В настоящее время интересные работы по изучению формы эритроцитов и их конгломератов в кровотоке методами голографии проводятся совместно со 2-м Московским медицинским институтом, Институтом педиатрии и детской хирургии и Центральным научно-исследовательским институтом гематологии и переливания крови. Информация о геометрии клеток в живом (нефиксированном) виде необходима для исследования таких существенных биофизических свойств клетки, как прочность и упругость. Форма клетки, особен-

но эритроцита, также является важным фактором, определяющим ее физиологическое состояние. Изучение динамики изменения геометрии эритроцита в процессе заболевания представляет интерес для создания новых методов диагностики. Были зарегистрированы серии интерферограмм эритроцитов у взрослых и детей при различных заболеваниях. По этим сериям рассчитывались форма эритроцитов и функции их нормального распределения в зависимости от радиуса, площади поверхности и объема. Обнаружено, что формы эритроцитов в свободном состоянии у детей и взрослых существенно отличаются (рис. 9, внизу). У детей эритроцит имеет форму плоского диска. Интерферограмма этого эритроцита содержит параллельные полосы с незначительным изломом на границе диска. У взрослых в большинстве случаев эритроциты имеют тороидальную форму. Интерферограмма такого эритроцита, кроме излома на границе, имеет изгиб интерференционных полос в центре. Сфероидальная форма эритроцита у здоровых людей встречается редко.

Статистическая обработка измерений показала, что диаметр и объем эритроцитов у взрослых и детей существенно различаются, но при этом, благодаря изменению формы, площадь их поверхностей (играющая наиболее важную роль в кислородном обмене) существенно не изменяется. Дальнейшие исследования позволили обнаружить ряд новых данных о характере изменения формы эритроцитов при различных условиях и для различных заболеваний. Так, например, показано, что при наследственном сфероцитозе в кровотоке отсутствуют сфероциты (сфероидальные эритроциты) — вопреки существующему представлению, основанному на анализе крови с фиксированными эритроцитами.

Консервация фресок. Климатические условия, поддерживаемые в музеях, до настоящего времени определяются эмпирически и не всегда удачно. Это приводит к преждевременному разрушению произведений искусства. Голография и здесь оказалась полезной для объективного определения температуры и влажности, оптимальных с точки зрения сохранности живописных произведений, и в частности фресок.

Исследовались фрески Московского кремля. Допустимое значение деформации, при которой не происходит разрушения фресок, не должно превышать несколь-

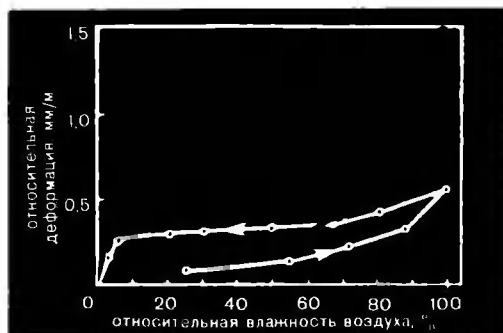


Рис. 10. Зависимость относительной деформации от влажности воздуха для образцов известковой штукатурки с красочным слоем (цветная кривая) и красного кирпича (белая кривая). Наблюдаемый гистерезис связан с отставанием процесса высыхания штукатурки при уменьшении влажности воздуха.

ких микрометров. Для измерения деформаций в различных условиях температуры и влажности на установке УИГ-2М, обладающей высокой виброустойчивостью, был установлен ряд стеклянных герметичных камер, в которые были помещены идентичные микрообразцы фресок. В этих камерах с помощью системы откачки и ввода водяных паров поддерживалась различная влажность и температура воздуха. В течение месяца наблюдались и обме-

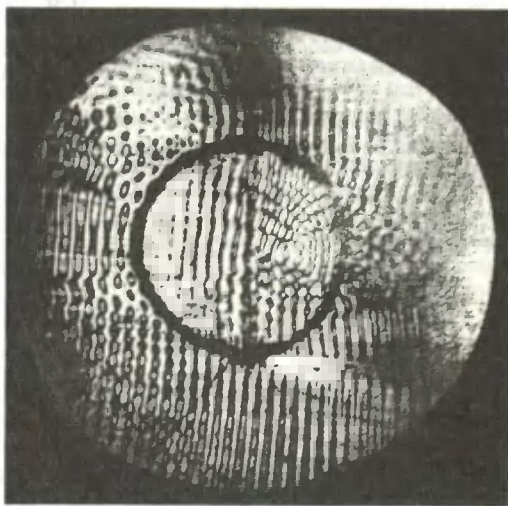


Рис. 11. Интерферограмма плоской ультразвуковой волны, огибающей цилиндрическое препятствие.

рялись изменяющиеся интерферограммы гибких зеркал, прикрепленных к поверхности образцов. В результате обработки данных были построены кривые сорбции и десорбции образцов (рис. 10) и определены оптимальные условия (влажность 40—50% при температуре 10°C), при которых перемещение красочного слоя фресок на слое штукатурки толщиной 10 мм не превышает 0,1—0,2 мкм.

Визуализация ультразвуковых волн.

При распространении звука через оптически прозрачную среду в ней возникают участки с периодически меняющимся давлением, приводящим к соответствующему изменению показателя преломления среды. Голографическая интерферометрия, как мы уже знаем, позволяет определять пространственное распределение этого изменения, а значит, и распределение давления, мощности в ультразвуковой волне (как стоячей, так и бегущей) и т. п. Для этого голографическую интерферограмму регистрируют при направлении сигнального пучка лазера, нормальном к направлению распространения волны. На рис. 11 приведена интерферограмма бегущей в воде ультразвуковой волны, на пути которой находится металлический цилиндр с диаметром 60 мм и толщиной стенки 2 мм. Исследовался ультразвуковой импульс длительностью 300 мкс и мощностью 2 Вт при различных задержках между ним и импульсом излучения лазера. Приведенная интерферограмма соответствует задержке 300 мкс, когда весь ультразвуковой импульс «вошел» в поле зрения. Видна система стоячих волн, образованных прямыми и отраженными от цилиндра волнами. Внутри цилиндра наблюдается фокусировка ультразвуковой волны. За цилиндром видна область со сложным распределением показателя преломления, определяемым дифракцией плоской волны на цилиндре. Над цилиндром и под ним наблюдаются интерференционные полосы, образованные неискаженной плоской бегущей волной.

Голографическая визуализация звуковых волн² может найти применение для целей интроскопии.

Мы привели лишь несколько наглядных иллюстраций того, какие богатые и подчас неожиданные возможности предоставляет голографическая интерферометрия в самых различных областях науки и тех-

ники. Рассмотренные примеры относятся только к оптической голографии. Не менее интересными являются возможные применения голографии, основанной на других видах волновых процессов. Так, СВЧ-голография может применяться для неразрушающего контроля антенн, поглощающих покрытий, железобетонных конструкций; ультразвуковая голография используется в медицинской диагностике и для неразрушающего контроля различных изделий; голография с использованием сейсмических волн — для геофизических исследований³, в частности разведки нефтеносных слоев и т. д. Нет сомнения, что число применений голографии можно значительно умножить. Собственно, это и являлось одной из целей написания нашей статьи — заинтересовать исследователей, работающих в различных областях знания, новым и в высшей степени универсальным методом измерений и анализа объектов, с которыми они имеют дело.

³ Голография и голографическая обработка информации в геологии и геофизике. Сб. статей под ред. С. Б. Гуревича. Л., 1979.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Гинзбург В. М., Степанов Б. М. ГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ. М.: Радио и связь, 1981.

Островский Ю. И., Бутусов М. М., Островская Г. В. ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ. М.: Наука, 1977.

ОПТИЧЕСКАЯ ГОЛОГРАФИЯ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ. Под ред. Денисюка Ю. Н. и Островского Ю. И. Л.: Наука, 1977.

Вьено Ж. Ш., Смигельский П., Руайе А. ОПТИЧЕСКАЯ ГОЛОГРАФИЯ. Развитие и применение. М.: Мир, 1973.

Вест Ч. ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ. М.: Мир, 1982.

² Грегус П. Звуковидение. М., 1982.

Биологическая роль и токсические свойства цианидов

Г. И. Оксенгендлер



Гдель Иосифович Оксенгендлер, кандидат медицинских наук, сотрудник Главного управления здравоохранения Ленинградского городского исполнительного комитета Совета народных депутатов. Занимается изучением влияния токсичных веществ на организм и способов борьбы с отравлениями. Неоднократно печатался в «Природе». Автор книги: Яды и противоядия. М., 1982.

Несмотря на то что цианиды¹ известны с незапамятных времен, значение этих химических соединений и в наши дни достаточно велико. Благодаря высокой химической активности сегодня цианиды широко применяются в различных отраслях промышленности (гальванопластика, производство многих синтетических материалов и др.), сельском хозяйстве (удобрения, ядохимикаты, стимуляторы роста растений), а также в научных исследованиях.

В настоящей статье мы попытаемся охарактеризовать биохимические аспекты цианидной проблемы. С этой целью рассмотрим токсические свойства и механизм действия на организм веществ данного класса, молекулярную сущность антитоксического эффекта противцианидных препаратов, проанализируем пути участия цианидов в первичном синтезе биомолекул, а также оценим их значение как радиопротекторов и нормальных продуктов метаболизма.

ЦИАНИДЫ ВОКРУГ НАС

Еще древнеегипетские жрецы умели изготавливать эссенцию из листьев персика, которой они умерщвляли провинившихся людей. В Париже, в Лувре, на рулоне папируса имеется предостерегающее изречение: «Не произносите имени Иао под страхом наказания персиком». В храме Изиды найдена надпись: «Не открывай — иначе умрешь от персика».

Сейчас мы знаем, что токсическим веществом являлась синильная кислота, образующаяся в процессе ферментативных превращений некоторых соединений растительного происхождения².

Цианиды знакомы нам как средство массового поражения людей: французская армия применяла во время первой мировой войны синильную кислоту в качестве отравляющего вещества, в гитлеровских лагерях уничтожения фашисты использовали ядовитые газы циклоны (эфиры цианмуравьиной кислоты), американские войска в Южном Вьетнаме применяли против мирного населения высокотоксичные органические циан-

¹ Цианиды (цианистые соединения) — термин, которым в химии, согласно радикально-функциональной номенклатуре, принято обозначать вещества, содержащие в своих молекулах CN-группу. Существует еще одно их название — нитрилы (заместительная номенклатура), под которыми в основном понимаются органические производные синильной кислоты

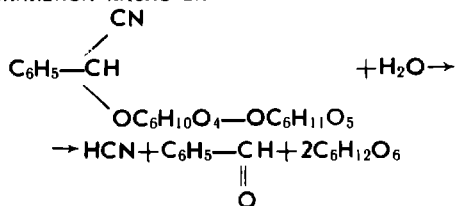
² Синильная кислота $\text{H}-\text{CN}$ (синонимы: цианистый водород, нитрил муравьиной кислоты) — легкая летучая жидкость с характерным запахом горького миндаля.

ниды. Есть сведения, что в США синильную кислоту используют в газовых камерах для приведения в исполнение смертных приговоров.

Впервые синильная кислота в чистом виде была получена в 80-х годах XVIII столетия шведским фармацевтом и химиком Карлом Шееле, который, как утверждают, сам стал жертвой этого яда во время одного из экспериментов. В дальнейшем многие выдающиеся ученые изучали химическое строение, способы производства и применения цианистых соединений. В промышленном масштабе синильную кислоту и ее соли начали вырабатывать лишь в конце прошлого столетия, когда с их помощью был найден эффективный способ извлечения золота и серебра из руд.

Особенно большое количество синильной кислоты (десятки тысяч тонн) в последние десятилетия расходуется для промышленного синтеза акрилонитрила (исходного вещества в производстве синтетического каучука) и ацетонциангидрина, который необходим для производства полимеров, в частности органического стекла⁴. Во многих производственных процессах синильная кислота выделяется в газообразном состоянии или образуется при контакте цианидов с другими кислотами и влагой. Все это создает серьезную опасность интоксикации.

Отравления цианидами возможны также при употреблении в пищу большого количества семян (ядер косточек) горького миндаля, персика, сливы, абрикоса, черешни, яблоны, черемухи и многих других растений семейства розоцветных, в которых содержится гликозид амигдалин. Под влиянием фермента эмульсина этот гликозид разлагается в организме с образованием синильной кислоты:



В очищенных зернах горького миндаля содержится (в сочетании с эмульсином) наибольшее количество амигдалина — до 3% веса; несколько меньше его (около 2%) в семенах абрикоса. Смертельную дозу амигдалина (1 г) составляют примерно 100 очищенных семян абрикоса. Подобно амигдалину, синильную кислоту отщепляют растительные гликозиды — линamarin, содержащийся в льне, и лауроцеразин, выделенный из листьев лавровишневого дерева. Много синильной кислоты в молодых побегах бамбука. Известно, что смертельная доза синильной кислоты для человека равна 1 мг/кг веса тела; токсичность ее солей — цианидов калия и натрия — примерно в 3 раза меньше.

ЦИАНИСТЫЙ ВОДОРОД И ВОЗНИКНОВЕНИЕ БИОМОЛЕКУЛ

Еще более полувек назад А. И. Опарин выдвинул гипотезу, согласно которой зарождение жизни началось с синтеза простейших соединений. Уже тогда было постулировано, что атмосфера, покрывавшая безжизненный океан и скалистую поверхность Земли, содержала по крайней мере четыре вещества: пары воды, аммиак, метан и водород. Существующие представления о химических превращениях этих простых молекул позволяют воссоздать картину образования из них новых соединений — синильной кислоты и формальдегида, из которых, в свою очередь, могут синтезироваться составные части макромолекул живых организмов. Именно в этих реакциях образования и последующих превращений синильной кислоты и формальдегида следует искать разгадку появления основных носителей жизни — белков и нуклеиновых кислот. Под воздействием ультрафиолетового излучения синильная кислота образуется из метана и аммиака:



а формальдегид — из метана и воды:

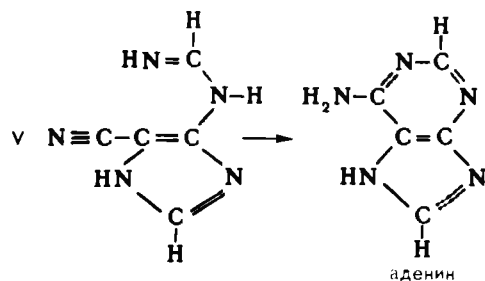
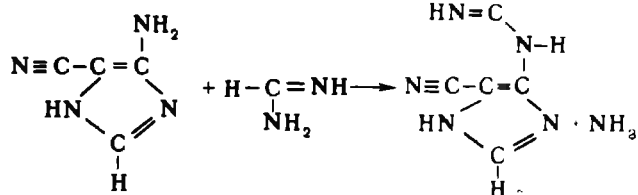
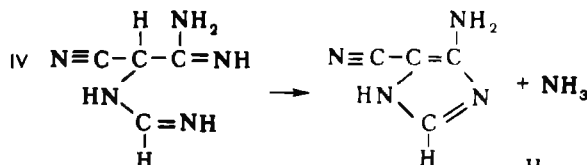
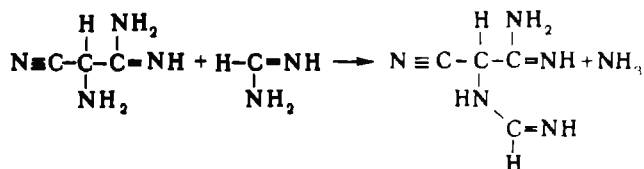
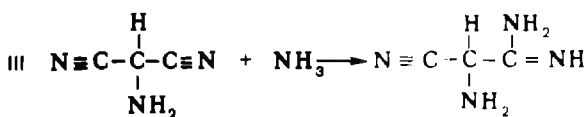
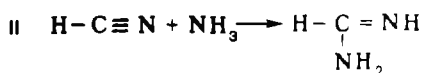
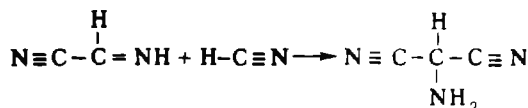
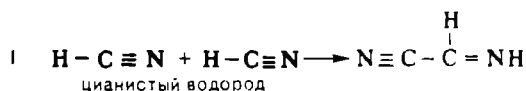


Каждая из этих реакций включает несколько промежуточных стадий, на которых молекулы исходных веществ преобразуются, давая метильные, гидроксильные и аминокгруппы, а также активированный водород. Исходные и конечные продукты двух этих реакций в настоящее время рассматриваются как необходимый материал для построения молекул простейших аминокислот. Так, вероятный механизм синтеза глицина обычно разделяют на три этапа:

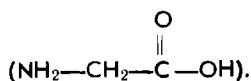
³ Франке З. Химия отравляющих веществ. Пер. с нем. под ред. И. Л. Кнулянца и Р. Н. Стерлина. М., 1973, т. 1, с. 218.

⁴ Хотя в последнее время доля синильной кислоты в производстве акрилонитрила несколько уменьшилась (в связи с появлением нового способа его синтеза), возрос ее расход на выработку ацетонциангидрина и эфиров метакриловой кислоты. Значительное количество синильной кислоты перерабатывается в аминокислоты и детергенты.

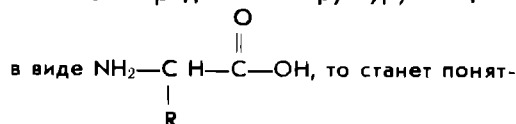
Возможный путь синтеза молекулы аденина из двух молекул цианистого водорода. Римские цифры указывают последовательность реакций. Цветом выделены продукты промежуточных реакций.



вначале из формальдегида и аммиака образуется метиленимин, который в реакции с синильной кислотой дает аминонитрил, а уже из него в результате гидролиза образуется глицин



Если представить структуру глицина



ной схема синтеза и остальных жизненно важных аминокислот, поскольку все они построены по единому принципу; например, если $\text{R}=\text{CH}_3$, то это аланин, если $\text{R}=\text{CH}_2\text{SH}$ — цистеин, если $\text{R}=\text{CH}_2\text{OH}$ — серин, если $\text{R}=\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CONH}_2$ — глутамин и т. д.

Естественно, возникает вопрос: насколько эта схема абиогенного синтеза аминокислот соответствует событиям, происходившим в первичной атмосфере Земли? Одним из первых доказательств ее реальности стали опыты С. Миллера, поставленные в 1953 г. в Калифорнийском университете в лаборатории Г. Юри. В течение недели в специально сконструированном аппарате нагретая смесь водяных паров, метана, аммиака и водорода подвергалась действию электрического разряда. В конденсате были обнаружены аминокислоты, в том числе глицин, аланин, глутаминовая кислота. Такой путь образования органических молекул в дальнейшем был подтвержден и другими экспериментами, а присутствие многих «земных» аминокислот в метеорите, упавшем на территории Австралии в 1970 г., доказывает и их внеземное существование.

Еще в начале века А. Н. Бах показал, как из цианистого калия и формальдегида получают значительно более сложные органические соединения, которые могут служить питательной средой для микроорганизмов.

Но особенно значительной представляется возможная роль цианистого водорода в первичном синтезе азотистых компонентов нуклеиновых кислот. И хотя существующая схема вероятного синтеза аденина пока еще гипотетична, тот факт, что одна молекула аденина (эмпирическая формула $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}_5$) количественно соответствует пяти молекулам цианистого водорода, говорит сам за себя.

Таким образом, абиогенный синтез ряда молекул, составляющих химическую

основу жизнедеятельности, неизбежно включает цианистое соединение как важнейший компонент первичных реакций органического синтеза.

Интересно, что цианиды — обычные продукты нормального обмена человека и многих видов животных: они обнаружены в биологических жидкостях, в выдыхаемом воздухе, в моче. По-видимому, цианистые соединения образуются в процессе превращения некоторых макромолекул, в первую очередь — хромопротеидов (их нормальный уровень в плазме крови может достигать 14 мкг %); среди них прежде всего нужно назвать и цианокобаламин (витамин B_{12}), который, как известно, необходим для нормального кроветворения, функционирования нервной системы, печени. Вероятно, не случайно в печени человека и животных имеется строго специфический фермент роданеза, предназначенный для нейтрализации цианида.

Однако природа отвела цианиду и другую роль — роль токсичного вещества с ярко выраженным избирательным действием на биологические структуры. Иными словами, вещество, которое было одним из предшественников живой материи, при определенных условиях становится губительным для организма. Этот биохимический парадокс заслуживает отдельного рассмотрения.

БИОХИМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ЦИАНИДОВ

Еще в 60-х годах прошлого столетия заметили, что венозная кровь животных, отравленных цианидами, приобретает алый, артериальный цвет. Вскоре причина этого явления была установлена. Оказалось, такая венозная кровь содержит почти столько же кислорода, что и артериальная (до 17 об. %). Одновременно в тканях резко снижено образование углекислоты. Все это дало основание полагать, что цианиды тормозят способность клеток усваивать кислород. Совершенно очевидно, что особенно чувствительными к такого рода кислородной недостаточности будут биологические структуры, наиболее интенсивно потребляющие кислород. А это, в первую очередь, клетки нервной системы, в частности нейрорецепторного аппарата. Чрезвычайно чувствительными к торможению клеточного дыхания оказались хеморецепторные клетки каротидных клубочков, реагирующие на воздействие цианидов резким возбуждением, что рефлекторно приводит к сильнейшей одышке и приступу стено-

кардии. Вообще все основные симптомы тяжелого цианидного отравления есть не что иное, как проявления острого дефицита кислорода в нервной системе, который в конечном счете приводит к развитию судорожно-паралитического синдрома. Каков же молекулярный механизм этих явлений?

Известно, что биологическое окисление (так называемое тканевое дыхание), с одной стороны, основано на способности биохимически активного кислорода взаимодействовать с различными веществами, а с другой — на реакции дегидрирования с последующим переносом водорода от субстрата к кислороду. Современные представления о тканевом дыхании объединяют эти два звена единого процесса в один, молекулярная сущность которого была раскрыта именно в связи с изучением механизма действия цианидов.

Чтобы представить, в каких биологических структурах реализуется токсический эффект цианистых соединений, рассмотрим конечное звено потребления кислорода в клетках. Это звено включает группу катализаторов — цитохромов, состоящую, по современным представлениям, из пяти компонентов: b , c , c_1 , a и a_3 (цитохром a_3 принято называть цитохромоксидазой). Цитохромы в основном находятся в митохондриях всех клеток аэробных организмов. В состав цитохромов входят железосодержащие группы, близкие по строению к гемоглобину, но, в отличие от последнего, их атомы железа чрезвычайно легко меняют свою валентность

($Fe^{3+} \rightleftharpoons Fe^{2+}$). Именно это свойство и определяет цитохромы как переносчиков электронов в дыхательной цепи. Последовательная миграция электронов в группе железосодержащих ферментов заканчивается на цитохромоксидазе, от которой электроны попадают непосредственно на кислород. По образному выражению С. Роуза, «цепочка цитохромов подобна цепочке баскетболистов, передающих мяч (электрон) от одного игрока к другому, неумолимо приближая его к корзине (кислороду)»⁵. Это происходит потому, что энергетический уровень электронов в исходном веществе выше, чем в конечном, а движение электрона по цепи цитохромов сопровождается выделением энергии. Активированный кислород (отрицательно заряженный ион) вступает во взаимодействие с атомами активированного водорода

(протонами), в результате образуются молекулы воды — одного из основных конечных продуктов окисления⁶.

Еще в 1982 г. О. Варбург показал, что цианид-ион вследствие особого химического сродства к трехвалентному железу избирательно, хотя и обратимо, взаимодействует с окисленными молекулами цитохромоксидазы:



(цитохромоксидаза, ингибированная форма) — CN

Тем самым блокируется образование восстановленной цитохромоксидазы, а значит и способность этого фермента отдавать электрон молекулам кислорода. В итоге нормальный уровень тканевого дыхания снижается, и в организме возникает кислородная недостаточность, при которой наблюдается парадоксальное явление: во многих клеточных структурах содержание кислорода высокое, но кислорода химически инертного.

При низком уровне кислородного обмена чувствительность организма к цианидам резко снижается. В качестве иллюстрации можно привести любопытный факт, установленный в начале этого века выдающимся фармакологом Н. П. Кравковым: во время зимней спячки ежи переносят дозы цианистого калия, во много раз превосходящие смертельные. Понятно, что в таких условиях у животных при низкой температуре тела снижено потребление кислорода, а значит возрастает резистентность к гипоксии.

В настоящее время накоплен экспериментальный материал, показывающий, что цианиды ингибируют и другие ферменты, активные центры которых содержат металлы с переменной валентностью. Кроме того, имеются доказательства их угнетающего влияния на ферменты, катализирующие биотрансформацию ряда жизненно важных аминокислот — гистидина, триптофана, тирозина. Следует, однако, подчеркнуть, что степень ингибирования перечисленных ферментов невелика,

⁵ Здесь уместно отметить, что посредством функционирования цитохромной группы ферментов реализуются не только процессы потребления кислорода в клеточных структурах, но и обеспечивается обезвреживание в них чужеродных веществ особой монооксигеназной ферментной системой со смешанной функцией (см.: Ковалев И. Е., Маленков А. Г. Поток чужеродных веществ: влияние на человечество. — Природа, 1980, № 9, с. 90).

⁵ Роуз С. Химия жизни. М., 1969, с. 139.

в то время как цитохромоксидаза угнетается цианидами в большинстве клеток и тканей на 80—90%.

Таким образом, специфическое токсическое действие цианистых соединений основано на их способности взаимодействовать с переходными металлами ферментных структур, функция которых при этом нарушается.

ЦИАНИДЫ КАК РАДИОПРОТЕКТОРЫ

Способность цианидов вызывать в тканях кислородную недостаточность неожиданно оказалась полезной для предупреждения радиационных поражений. Известно, что ионизирующие излучения могут влиять на клеточные структуры как непосредственно (ионизация или возбуждение биомолекул вследствие испускания или перехода электронов на более высокий энергетический уровень), так и косвенно. Во втором случае биологическое влияние радиации реализуется через продукты радиолиза воды. В присутствии кислорода из молекул воды под влиянием ионизирующих излучений образуются короткоживущие, но биохимически активные молекулы и свободные радикалы, которые реагируют с митохондриальными ферментами тканевого дыхания.

Теперь уже четко установлено, что в условиях гипоксии организм менее чувствителен к облучению и наоборот. Повидимому, это объясняется тем, что от наличия кислорода в среде зависит ход ряда первичных химических реакций, вызванных облучением, и прежде всего — формирование высокоактивных продуктов радиолиза.

Уже более 30 лет известно, что цианиды натрия и калия, введенные животным в предельно переносимых дозах непосредственно перед облучением, увеличивают их выживаемость на 60—85%. Оказалось также, что с помощью производной синильной кислоты можно усилить защитное действие тиоловых радиопротекторов — цистеина, глутатиона и др. Однако весьма высокая токсичность солей синильной кислоты позволяет говорить лишь о теоретической значимости их противолучевого действия. В этой связи заслуживают внимания эксперименты, в которых была отчетливо продемонстрирована радиозащитная эффективность амигдалина при введении его животным за несколько часов до облучения. При этом не было обнаружено каких-либо признаков токсического действия препарата.

Понятно, что в основе механизма действия амигдалина лежит его способность снижать уровень кислородного обмена радиочувствительных тканей и органов (в результате гидролиза с выделением синильной кислоты). Тем самым амигдалин предохраняет ферменты от повреждающего действия продуктов радиолиза воды. Ряд авторов подчеркивает также угнетающее влияние цианистых соединений на окислительные эффекты свободных радикалов и торможение ими образования перекисных соединений.

Конечно, практическое значение других радиопротекторов, в первую очередь — тиоловых препаратов, значительно выше, чем амигдалина. Однако он может играть определенную роль в профилактике лучевых осложнений при рентгенорадиотерапии и в ослаблении предполагаемого воздействия источников ионизирующих излучений в производстве и в лабораториях. В связи с этим необходимо также учитывать ослабляющее действие цианидов на синтез ацетилхолина, количество которого значительно увеличивается в крови и тканях после облучения (избыток ацетилхолина, как известно, оказывает денатурирующее влияние на белковые структуры).

АНТИЦИАНИДЫ И МЕХАНИЗМЫ ИХ ДЕЙСТВИЯ

В конце прошлого столетия внимание биохимиков привлекло свойство окисленного гемоглобина — метгемоглобина (M⁺Hb) быстро присоединять цианид-ион и тем самым предохранять дыхательные ферменты от ингибирующего действия цианида⁷. Но только в 1929 г. румынские исследователи К. Младовану и П. Георгиу показали токсикологическое значение этого факта, сохранив жизнь собаки, отравленной смертельной дозой цианида, с помощью сильного метгемоглобинообразователя — нитрита натрия.

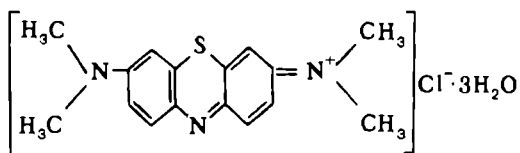
⁷ Рогозкин В. Д., Белоусов Б. П., Евсеева Н. К. Радиозащитное действие цианистых соединений. М., 1963.

⁸ Доказано, что в нормальных условиях эритроциты человека и животных содержат от 1 до 2% метгемоглобина. На его детоксикационную роль впервые обратил внимание в 1946 г. Н. Н. Савицкий, который, в частности, показал, что физиологического метгемоглобина достаточно для обезвреживания 1/3 смертельной дозы цианида. Повидимому, нельзя исключить защитное действие метгемоглобина по отношению и к эндогенным цианидам.

Как известно, в основе перехода гемоглобина в метгемоглобин лежит превращение двухвалентного железа его молекул в трехвалентное. Такое изменение химической структуры не позволяет гемоглобину связываться с кислородом. В отличие от оксигемоглобина (HbO_2), в котором к атомам двухвалентного железа лабильно присоединен кислород, метгемоглобин (точнее, атомы трехвалентного железа) связывает отрицательно заряженные гидроксильные группы.

Метгемоглобин, взаимодействуя с цианид-ионом, образует нетоксичный комплекс — цианметгемоглобин. Однако метгемоглобин не только связывает циркулирующий в крови цианид, но и освобождает от него заблокированный дыхательный фермент, т. е. проявляет реактивирующее действие на фоне уже развившейся интоксикации. Однако молекулярная сущность этого процесса во многом еще не ясна. Совершенно очевидно, что метгемоглобин непосредственно не взаимодействует с дыхательными ферментами. В силу обратимости реакции их ингибирования в биофазе постоянно циркулируют CN-ионы, которые, по-видимому, из-за большего химического сродства к метгемоглобину, чем к цитохромоксидазе, свободно диффундируют в эритроциты. Можно полагать, что тем самым сдвигается равновесие в сторону образования свободных молекул цитохромоксидазы. Следовательно, в основе этого антидотного эффекта лежит конкуренция метгемоглобина и дыхательного фермента за связь с токсичным радикалом.

К известным метгемоглобинообразующим антидотам относится также метиленовый синий (хлорид тетраметилтониона):



Это вещество обладает высоким окислительно-восстановительным потенциалом, что создает в крови равновесие между его окисленной и восстановленной формами, с одной стороны, и гемоглобином и метгемоглобином — с другой. Данное обстоятельство определяет разнонаправ-

ленное действие метиленового синего на гемоглобин: большие его дозы (250—300 мг) стимулируют образование метгемоглобина, а дозы в 5—6 раз меньшие, наоборот, способствуют восстановлению его в гемоглобин. Установлено также, что метиленовый синий вмешивается в процессы клеточного окисления как акцептор водорода: поскольку в механизме токсического действия цианидов избыток протонов тормозит реакции биологического окисления в клеточных структурах, то связывание их, напротив, будет стимулировать эти реакции. Однако четко отделить такое действие метиленового синего от метгемоглобинообразующего при цианидной интоксикации практически невозможно.

В целом метгемоглобинообразующие препараты, в особенности нитриты, токсичны, так как они лишают гемоглобин его главного свойства — способности переносить кислород от легких к тканям. В известном смысле это тот случай, когда яд выступает в роли противоядия: противовесом гистотоксической гипоксии становится искусственно вызванная кислородная недостаточность в крови. Следовательно, образование метгемоглобина при цианидной интоксикации не должно превышать определенного предела (25—30% от общей массы гемоглобина). Поскольку реакция образования цианметгемоглобина обратима, то выделяемый при диссоциации цианид-ион может вызывать реинтоксикацию. В связи с этим токсикологи рекомендуют применять препараты, которые бы стабильно удерживали яд и ускоряли выведение его из организма. В их числе — глюкоза, тиосульфат натрия, соединения кобальта и некоторые другие вещества. Молекулярные механизмы действия глюкозы и тиосульфата натрия идентичны механизмам детоксикации цианидов в клетках печени, т. е. сводятся к образованию циангидринов и роданистых соединений⁹. Но глюкоза и тиосульфат действуют значительно медленнее, чем нитриты: они не восстанавливают ингибированный дыхательный фермент. Их рекомендуют вводить вместе с метгемоглобинообразователями или же до предполагаемой интоксикации. Многолетняя практика свидетельствует, что наиболее эффективно последовательное введение отравленному нитрита натрия (или амилнитрита) и тиосульфата. Такая антидотная комбинация предохраняет от 10—20 смертельных доз цианида.

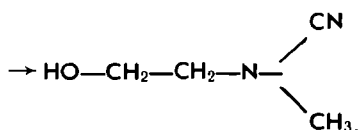
⁹ Подробнее см.: Оксенгендлер Г. И. Биотрансформация чужеродных веществ. — Природа, 1980, № 3, с. 18.

Как было показано в нашей лаборатории, при отравлении животных смертельными дозами цианида натрия хорошим защитным действием обладает гепарин — мукополисахарид, который широко используют в клинике как антикоагулянт¹⁰.

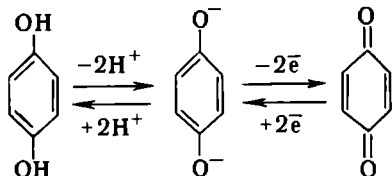
Что касается соединений кобальта, то их химическое сродство к цианидам, известное еще с конца прошлого века, стали использовать лишь с появлением малотоксичных кобальтовых комплексонов. В качестве антицианидов определенный интерес представляют также органические соединения кобальта, включающие атомы серы.

Антицианидом оказался также витамин В₁₂ (гидрокобаламин), в молекуле которого к атому кобальта присоединена гидроксильная группа. Его детоксикационное действие состоит в замещении гидроксила на CN-группу с последующим образованием цианокобаламина (витамина В₁₂).

Экспериментальная токсикология располагает еще несколькими противоязными препаратами. Так, было установлено¹¹, что животных можно спасти от 1,5—2 смертельных доз цианида, если им ввести β-оксиэтилметиленамин, образующий с ядом нетоксичный комплекс:



Перспективными антицианидами могут стать некоторые акцепторы и доноры электронов и протонов. В числе таких веществ можно назвать гидрохинон, который в водной среде находится одновременно в трех формах — нейтральной, окисленной и восстановленной:



Способность гидрохинона акцептировать электроны была с успехом использована при экспериментальной цианидной интоксикации¹². Можно полагать, что в условиях тканевой гипоксии гидрохинон «разгружает» дыхательные ферменты от избытка электронов и, кроме того, активирует дегидратазное звено клеточного окисления, являющееся резистентным по отношению к цианидам.

Таким образом, арсенал антидотно-лечебных средств при цианидных интоксикациях достаточно велик; однако поиски новых веществ подобного типа действия продолжаются.

Итак, цианистым соединениям присущи разнообразные химические свойства и весьма избирательное действие на организм. С одной стороны, они рассматриваются в числе основных предшественников биологических молекул и, следовательно, без их участия невозможно представить возникновение живой материи. С другой — чрезвычайная химическая активность, способность в ничтожно малых дозах тормозить и блокировать функцию жизненно важных биологических структур делают их высокотоксичными веществами. В то же время это свойство цианидов может оказаться полезным, когда необходимо ослабить интенсивность потребления кислорода органами и тканями, в частности с целью профилактики воздействия ионизирующих излучений. На примере цианистых соединений хорошо видно, как раскрытие путей превращения в организме и молекулярного механизма биохимической активности чужеродного вещества позволяет разработать эффективные специфические средства борьбы с интоксикациями.

Большой интерес к цианидам токсикологов, химиков, биохимиков и других специалистов свидетельствует о перспективности использования этих веществ в различных сферах деятельности, в том числе экспериментальных исследованиях.

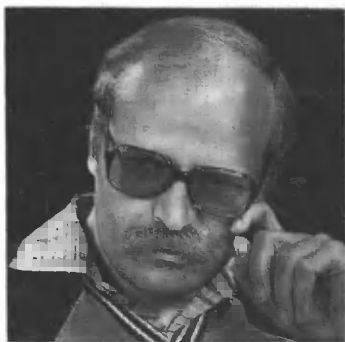
¹⁰ Оксенгедлер Г. И., Назаров Г. Ф. О влиянии гепарина на течение цианидной и нитритной интоксикации в эксперименте. ВНИИМИ МЗ СССР, № Д-1831, «МРЖ», 1978, раздел XII, № 10, публ. 2642.

¹¹ Розенберг В. Н. Об антидотных свойствах β-оксиэтилметиленамина при отравлении цианидами. — Фармакол. и токсикол., 1967, № 1, с. 99.

¹² Виноградов В. М., Пастушенков Л. В., Фролов С. Ф. Использование акцепторов электронов для профилактики и лечения кислородного голодания. — В сб.: Изыскание и фармакологическое исследование веществ, повышающих устойчивость организма к чрезвычайным воздействиям. Л., 1968, с. 111.

Промежуточные векторные бозоны

М. А. Смондырев



Михаил Александрович Смондырев, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований (Дубна). Научные интересы связаны с квантовой теорией поля и физикой элементарных частиц. В «Природе» опубликовал статьи: Экспериментальная проверка модели Вайнберга — Салама (1979, № 4), Квантовая электродинамика на малых расстояниях (1980, № 9) и др. Лауреат премии Ленинского комсомола.

В декабрьском номере итальянского научного журнала «Ricerca Scientifica» за 1933 г. Э. Ферми опубликовал работу, занявшую всего несколько страничек. Для наших дней название статьи выглядит довольно затейливо: «Попытка построения теории испускания «бета»-лучей». В то время β -распад атомных ядер представлял собой единственный известный пример слабого взаимодействия. Таким образом, сейчас мы отмечаем 50-летний юбилей первой теории, описывающей одну из фундаментальных сил природы.

Само понятие слабых взаимодействий сформировалось постепенно, по мере накопления экспериментальных данных. Выяснилось, что слабые взаимодействия ответственны за многие распады элементарных частиц и реакции с участием нейтрино. Даже термоядерные реакции на Солнце и звездах происходят при непосредственном участии слабых взаимодействий.

Теория Ферми отлично выдержала испытание временем, оказавшись на редкость жизнеспособной. Сравнительно небольшие модификации позволили прекрасно описать процессы β -распада при сохранении общей идеологии. Получило объяснение даже такое фундаментальное явление, как несохранение четности слабыми взаимодействиями. В результате этой эво-

люции теория Ферми переросла в так называемую универсальную четырехфермионную теорию, созданную в 1957—1958 гг. Р. Маршаком и Э. Сударшаном и независимо М. Гелл-Манном и Р. Фейнманом.

Великий Ферми как-будто предвидел такой исход. В заключение своей более подробной работы 1934 г. он писал: «Резюмируя, вполне можно утверждать, что данная теория... согласуется с экспериментальными данными, которые, правда, не всегда достаточно точны. Если же при дальнейшем сравнении теории с опытом возникнут противоречия, то всегда сохраняется возможность изменить теорию, не затрагивая ее наиболее общих положений... Однако будет ли такое изменение необходимо, покажет прежде всего дальнейшее развитие теории, а также, возможно, уточнение экспериментальных данных»¹.

Прошло время, и универсальная теория была заменена новой, эстетически даже более привлекательной теорией. В ней была вскрыта тесная связь таких на первый взгляд разных взаимодействий,

¹ Ферми Э. Научн. тр. М., 1971. т. 1, с. 525—541.

как слабые и электромагнитные. Объединенная теория электрослабых взаимодействий, созданная в работах С. Вайнберга, Ш. Глэшоу, А. Салама и других теоретиков, сейчас стала общепризнанной и получила почетный эпитет «стандартная»². Произошло это не только из-за ее внутренней красоты, хотя эстетические соображения всегда играли важную роль в теоретической физике. Главным было подтверждение теории многочисленными экспериментами.

Теория электрослабых взаимодействий предсказывала совершенно новый тип процессов, обусловленных так называемыми нейтральными токами³. Как часто случается, сила теории временно обернулась ее слабостью: в существование нейтральных токов многие физики не поверили. Однако в 1973 г., ровно десять лет назад, процессы, обусловленные нейтральными токами, были зарегистрированы в пузырьковой камере «Гаргамелла» в Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН) в Женеве. (По-видимому, такое название было дано камере из-за ее внушительных размеров: так звали мать Гаргантюа.)

Триумфальным для стандартной теории стал 1978 г.: результаты всех экспериментов в совокупности показали, что она верно описывает любые процессы слабого взаимодействия⁴. В 1979 г. создатели стандартной теории С. Вайнберг, Ш. Глэшоу и А. Салам получили Нобелевскую премию⁵.

Однако некоторые из основных положений теории приходилось принимать на веру — они не были подкреплены экспериментами. В первую очередь это относилось к вопросам существования и свойств так называемых промежуточных векторных бозонов. Сейчас начался второй этап проверки стандартной теории.

ОБЪЯСНЕНИЕ НАЗВАНИЯ СТАТЬИ

Хорошо известно, каким образом квантовая электродинамика (КЭД) объясняет электромагнитное взаимодействие заряженных частиц: оно возникает за счет обмена фотоном — квантом электромагнитного излучения. В объединенной теории электрослабых взаимодействий, помимо фотона, фигурируют еще три частицы, ответственные за перенос собственно слабых взаимодействий. Эти частицы и называются промежуточными векторными бозонами. Две из них, W^- и W^+ , заряжены; они обуславливают «обычные» слабые взаимодействия типа β -распада. Третья частица — бозон Z^0 — электрически нейтральна. Именно ее существование порождает новую разновидность слабых взаимодействий, связанную с нейтральными токами.

В отличие от фотона, совсем лишенной массы, бозоны электрослабых взаимодействий очень массивны: они почти в сто раз тяжелее протона. Возможность существования тяжелых переносчиков слабых взаимодействий обсуждалась уже давно, задолго до создания стандартной теории. Было известно, что радиус слабых взаимодействий очень мал, гораздо меньше радиуса ядерных сил (10^{-13} см) и, возможно, не превышает 10^{-15} — 10^{-16} см. Принцип неопределенности В. Гейзенберга позволяет связать радиус действия любых сил с массой частицы, являющейся их переносчиком:

$$R(\text{см}) \approx \frac{\hbar}{mc} \approx \frac{2 \cdot 10^{-14}}{M(\text{ГэВ}/c^2)}.$$

Отсюда следовало, что масса промежуточных бозонов, если они существуют, должна составлять не менее нескольких десятков ГэВ/ c^2 . Поэтому при низких энергиях тяжелые бозоны могут возникать только на промежуточном этапе процессов слабого взаимодействия в ненаблюдаемом, или, как принято говорить, виртуальном состоянии. Отсюда ясно происхождение термина «промежуточный» в названии этих частиц.

Бозонами они названы по имени индийского физика Ш. Бозе, одного из создателей квантовой статистики частиц с целыми спинами. Все переносчики известных сейчас взаимодействий являются бозонами. Наоборот, все частицы, которые считаются фундаментальными «кирпичиками» материи, т. е. кварки и лептоны, имеют полуцелый спин $1/2$ и называются фермионами.

Как и у фотона, спин «слабых» бозо-

² Создание теории относят к 1967—1968 гг., когда С. Вайнберг и А. Салам получили полную систему уравнений теории. Однако важная работа Ш. Глэшоу появилась еще в 1961 г., а упоминаемая ниже работа Г. 'т Хоффа — в 1971 г.

³ См.: Мартеньянов В. П. Проблема нейтральных слабых взаимодействий. — Природа, 1974, № 2, с. 105.

⁴ См.: Смондырев М. А. Экспериментальная проверка модели Вайнберга — Салама. — Природа, 1979, № 4, с. 93.

⁵ См.: Кобзарев И. Ю. Лауреаты Нобелевской премии 1979 года по физике — С. Вайнберг, Ш. Глэшоу, А. Салам. — Природа, 1980, № 1, с. 84.

нов равен 1. Поле, соответствующее таким квантам, описывается четырехмерными векторами, примером чего может служить электромагнитное поле. Поэтому промежуточные бозоны называются векторными⁶.

Итак, стандартная теория предсказывает существование и свойства трех промежуточных векторных бозонов. Точнее сказать, предсказывала, ибо эти частицы, столь долго бывшие гипотетическими, уже открыты физиками ЦЕРНа⁷. Цель нашей статьи — рассказать об их физических свойствах, но изложение было бы неполным, если бы мы обошли вниманием вопрос о причинах возникновения самой идеи промежуточных бозонов.

ЗАЧЕМ НУЖНЫ БОЗОНЫ?

В теории Ферми, как и в универсальной четырехфермионной теории, никаких промежуточных частиц не было. Первоначально теория Ферми предназначалась для описания ядерного β -распада, который сводился к распаду нейтрона $n \rightarrow p + e + \bar{\nu}_e$. Ферми рассматривал этот процесс как переход тяжелой частицы из состояния «нейтрон» в состояние «протон». При таком переходе, по предположению Ферми, рождаются две легкие частицы — электрон и нейтрино, которых ранее в нейтроне не было. Образцом для Ферми послужила электродинамика: при переходе атома из одного состояния в другое излучается (или поглощается) фотон, который в самом атоме не содержится.

В то же время аналогия с КЭД не полна. В теории Ферми основной элементарный процесс взаимодействия — это локальное (в одной точке) взаимодействие четырех фермионов. Графическое изображение такого процесса (диаграмма Фейнмана) представляет собой четыре линии, исходящие из одной точки — вершины (линии изображают протон, нейтрон, электрон и нейтрино).

В КЭД диаграмм такого вида нет. Элементарным процессом в ней является испускание фотона электроном $e^- \rightarrow e^- + \gamma$, т. е. в вершинах диаграмм встречаются две электронные и одна фотонная линии.

Комбинации элементарного процесса КЭД в различных сочетаниях дают все реакции с фотонами и электронами. Например, взаимодействие двух электронов представляется комбинацией двух элементарных процессов: первый электрон испускает фотон, который распространяется в другую точку пространства-времени, где поглощается вторым электроном. Фотон здесь выступает в промежуточном (виртуальном) состоянии.

Кроме диаграммы с обменом одним фотоном, вообще говоря, следует учитывать и диаграммы с несколькими фотонами или даже электрон-позитронными парами в виртуальном состоянии. Диаграммы Фейнмана — не просто картинки: каждой линии и вершине соответствует вполне определенная математическая функция от импульсов и энергий виртуальных частиц, а самой диаграмме — довольно сложный многократный интеграл от этих функций. Сумма всех диаграмм — это амплитуда данного процесса, квадрат которой определяет его вероятность (сечение).

С ростом числа вершин диаграммы становятся все сложнее, и о точном решении задачи приходится только мечтать. Но во многих задачах КЭД достаточно ограничиться диаграммой с одним виртуальным фотоном: такое приближение довольно точно описывает экспериментальные данные. Причина этого кроется в малости электрического заряда электрона e , или, точнее, безразмерной комбинации фундаментальных констант $\alpha = e^2/4\pi\hbar c \approx 1/137$. Каждая вершина вносит в амплитуду процесса вклад, пропорциональный $\alpha^{1/2}$, так что вклад диаграммы с двумя виртуальными фотонами, вообще говоря, должен быть примерно в сто раз меньше вклада однофотонной диаграммы. Однако, все не так просто. Некоторые диаграммы с большим числом вершин приводят к расходящимся интегралам, так что, несмотря на наличие малого множителя, вклад таких диаграмм бесконечно велик. Примером может служить диаграмма, в которой электрон сам поглощает испущенный им же виртуальный фотон. Другой пример — диаграммы с электрон-позитронными парами в виртуальном состоянии.

Рецепт борьбы с бесконечностями в КЭД был найден в конце 40-х годов. Он получил название процедуры перенормировок и сводится, грубо говоря, к выделению из бесконечно больших выражений определенных конечных вкладов — так называемых радиационных поправок. Доказано, что этот рецепт применим к сколь

⁶ В стандартной теории имеются также скалярные (со спином 0) бозоны Хиггса. В этой статье мы их не касаемся, хотя бозоны Хиггса, быть может, — самое интересное из предсказаний стандартной теории.

⁷ Природа, 1983, № 4, с. 107; № 8, с. 102.

угодно сложным диаграммам, иными словами, КЭД — перенормируемая теория. После создания процедуры перенормировок появилась возможность последовательно учитывать диаграммы с все большим числом вершин, поскольку выяснилось, что они действительно приводят лишь к малым поправкам к первому приближению.

Свойство перенормируемости — одно из основных требований, предъявляемых к квантовой теории поля: в этом случае все эффекты, в принципе, могут быть рассчитаны с любой желаемой степенью точности.

Сила связи электрона с полем определяется зарядом e ; подобные параметры носят общее для всех теорий поля название — константы связи. В теории Ферми также имеется специфическая константа связи, ассоциируемая с четырехфермионной вершиной (этот параметр, обозначаемый G , сейчас называют фермиевской константой связи). Однако между константами связи КЭД и теории Ферми есть важное различие: в естественных единицах⁸ электрический заряд безразмерен, а фермиевская константа связи имеет размерность обратного квадрата массы. Оказывается, что это отражает существенный недостаток теории Ферми (и универсальной четырехфермионной теории): теории поля с константами связи отрицательной (по энергии) размерности неперенормируемы. Почему же все-таки теория согласовывалась с экспериментом?

Очевидно, что взаимодействие можно считать «слабым», если мала соответствующая константа связи. Фермиевская константа $G = 1,6632 \cdot 10^{-5} \text{ ГэВ}^{-2}$, а размерная величина может быть мала не сама по себе, а лишь в сравнении с величиной той же размерности. Так по сравнению с чем мала константа G в каком-нибудь процессе слабого взаимодействия? Ответ почти очевиден: по сравнению с обратным квадратом характерной для этого процесса энергии. Скажем, характерная энергия E для многих процессов β -распада составляет примерно 100 МэВ. Безразмерная величина GE^2 в таких процессах равна 10^{-7} , т. е. в сто тысяч раз меньше константы

α в КЭД. Поэтому слабое взаимодействие действительно слабо и диаграмма с одной вершиной в теории Ферми, например, неплохо описывает распад нейтрона. Но если мы вздумаем все-таки посчитать поправки к процессу, учтя диаграммы с большим числом вершин, то придем к физически бессмысленным результатам. Трудности появятся и при изучении какого-либо процесса слабого взаимодействия при высоких энергиях, когда соответствующий безразмерный параметр GE^2 будет велик.

Итак, существовал парадокс: универсальная четырехфермионная теория прекрасно описывала все экспериментальные данные, но теоретикам было трудно смириться с ее несовершенством. Выход подсказывался КЭД: в попытке построить перенормируемую теорию надо перейти от непосредственного взаимодействия четырех фермионов к их взаимодействию попарно через какое-то поле, кванты которого так естественно обозначить W (от англ. weak — слабый).

ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ БОЗОНЫ ВЫХОДЯТ НА СЦЕНУ

В отличие от фотона, W -бозоны должны быть электрически заряжены, так как нейтрон может перейти в протон, только испуская отрицательную (или поглощая положительную) частицу. В свою очередь, отрицательно заряженная частица должна иметь возможность распадаться на электрон и антинейтрино, и тогда в два этапа будет воспроизведен элементарный процесс теории Ферми.

Константу связи заряженного бозонного поля с фермионами обозначают g ; она играет роль «слабого» заряда и безразмерна, как и электрический заряд e . Следовательно, есть надежда, что введение промежуточного бозона сделает теорию перенормируемой. Установим связь между константами g и G . Поскольку элементарный процесс теории Ферми стал описываться диаграммой с двумя вершинами, то G пропорциональна g^2 . В то же время мы знаем, что G имеет размерность обратного квадрата массы. На квадрат какой величины с размерностью массы (энергии) надо разделить g^2 , чтобы получить G ? Очевидно, что эта величина не может быть связана с характерной энергией какого-либо процесса или с массами участвующих в нем частиц, так как G имеет универсальный характер. Единственная остающаяся возможность — связать ее

⁸ В физике элементарных частиц принято пользоваться «естественными» единицами, в которых постоянная Планка $\hbar$ и скорость света c полагаются равными единице. В такой системе размерности длины и времени совпадают и обратны размерности массы; размерности массы и энергии одинаковы. Далее везде используется естественная система единиц.

с массой промежуточного бозона M . Таким образом, по порядку величины фермиевская константа G равна g^2/M^2 . Мы видим, что β -распад нейтрона — нелокальный процесс, и с этим связана отрицательная размерность константы G . Теория Ферми пыталась «провести» этот процесс в одной точке, и отсюда возникли трудности с перенормируемостью.

Воспользуемся на примитивном уровне идеей объединения слабых и электромагнитных взаимодействий и предположим, что слабый заряд совпадает с электрическим: $g=e=(4\pi)^{1/2}$. Тогда $G=4\pi/M^2$, а масса промежуточного бозона

$$M \simeq (4\pi\alpha/G)^{1/2} \simeq 90 \text{ ГэВ}.$$

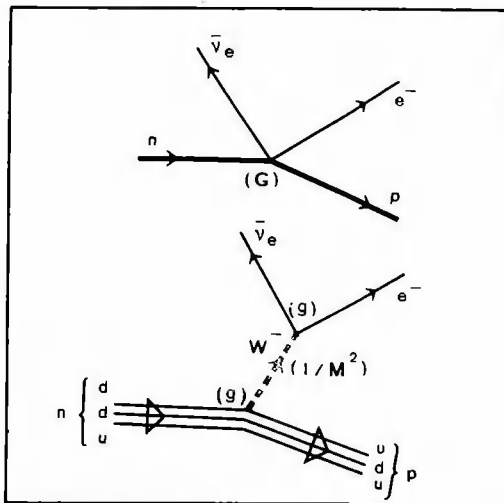
Конечно, нельзя слишком доверять полученному числу, так как мы не учитывали различные числовые множители. Сейчас нам важно, что качественные соображения позволили получить хоть какую-то оценку на массу промежуточного бозона.

Теперь ясно, что «слабость» слабого взаимодействия по сравнению с электромагнитным вызвана большим значением массы промежуточного бозона. При низких энергиях ($E \ll M$) типичные расстояния между частицами намного больше радиуса слабого взаимодействия, интенсивность которого по этой причине очень мала. При высоких энергиях ($E \gg M$) частицы сблизятся настолько, что в полной мере проявится объединение слабых взаимодействий с электромагнитными.

Подчеркнем еще раз, что ни теория Ферми, ни универсальная четырехфермионная теория не содержали никаких промежуточных бозонов. Однако эти теории настолько органично могли их включить, что такая идея неоднократно приходила в голову многим физикам, даже вне связи с проблемой перенормируемости. Можно сказать, что идея витала в воздухе со времен знаменитой работы Х. Юкавы (1935), в которой он предложил объяснение ядерных сил, впервые введя обмен массивной промежуточной частицей. Впоследствии оказалось, что частицы Юкавы не что иное, как π -мезоны. В то время полагали, будто ядерные силы между протоном и нейтроном и силы, вызывающие β -распад, имеют одинаковое происхождение. Сам Юкава указал в первой же работе, что его мезон можно ввести в теорию Ферми. Мы не станем останавливаться подробно на истории промежуточных бозонов, отметим лишь несколько малоизвестных или забытых работ, которые теперь можно счи-

тать предвестниками современной теории.

В 1937 г. английский ученый Н. Кеммер в рамках теории Ферми предположил, что могут осуществляться процессы, которые, как мы бы сейчас сказали, обусловлены взаимодействием нейтральных токов. Зная, что ядерные силы между протоном и нейтроном, двумя протонами и двумя нейтронами примерно одинаковы, Кеммер стремился построить теорию, учитывающую такую симметрию. В этой теории нейтрон (или протон) могли бы переходить сами в себя при слабом взаимодействии. В ре-



Диаграммы Фейнмана, изображающие процесс β -распада нейтрона в теории Ферми (вверху) и в стандартной теории (внизу). В элементарном акте взаимодействия теории Ферми участвуют сразу четыре частицы. Вершина, в которой сходятся четыре фермионные линии, вносит в амплитуду процесса множитель, пропорциональный фермиевской константе связи G . В стандартной теории распад нейтрона происходит за счет превращения кварка d в кварк u . При этом испускается промежуточный бозон W^- , который затем распадается, например, на электрон и электронное антинейтрино. С вершинами, изображающими элементарные акты взаимодействия W -бозона с парами кварков $[du]$ и лептонов $[e\nu_e]$, ассоциируется безразмерная константа связи g , так что G пропорциональна g^2 . В первом приближении радиус слабого взаимодействия можно считать, равным нулю. При этом бозонная линия стягивается в точку и нижняя диаграмма переходит в диаграмму теории Ферми. В таком пределе от функции, описывающей распространение бозона, остается множитель $1/M^2$, так что $G \simeq g^2/M^2$.

зультате Кеммер пришел к выводу, что возможны процессы, где фермионы не меняют своих электрических зарядов (например, при рассеянии электрона на нейтроне). Развивая свою теорию, Кеммер

предположил, по аналогии с нуклонами, что электрон и нейтрино суть разные состояния одной частицы. Иными словами, он первым ввел лептонный дублет (пару), как это делается в современной теории электрослабых взаимодействий. На языке теории с промежуточными бозонами это означало бы, что кроме двух заряженных частиц должна существовать и нейтральная. Уже через год Кеммер получил этот результат, но в мезонной теории ядерных сил: он построил симметричную теорию с тройкой промежуточных частиц (мезонами π^- , π^+ и π^0 в современных обозначениях). Напомним, что тогда сильные и слабые взаимодействия еще не различались.

Нейтрон со спином $1/2$, испуская промежуточную частицу, переходит в протон, спин которого также равен $1/2$. Отсюда следует, что частица должна иметь целый спин, т. е. быть бозоном. Но каким, скалярным или векторным? Первоначально Юкава из соображений простоты рассмотрел скалярный вариант. Но впоследствии некоторые противоречия с экспериментальными фактами стимулировали развитие вариантов теории, в которых фигурировали векторные бозоны. Создание таких теорий относится примерно к одному периоду (1938) и выполнено в работах многих ученых. Особый интерес представляет для нас работа шведского ученого О. Клейна. Он построил модель, в которой векторные бозоны выступали несимметрично: заряженные имели массу, а нейтральный ее не имел и отождествлялся поэтому с фотоном. Клейн предположил, что константа связи заряженных бозонов с фермионами совпадает с электрическим зарядом. Таким образом, по-видимому, он первым пришел к мысли о связи слабых и электромагнитных взаимодействий.

При создании универсальной теории ее авторы отмечали, что все теоретические результаты не противоречат предположению о существовании заряженных промежуточных бозонов. В 1958 г. бразильский физик Ж. Лейте Лопес указал, что в универсальную теорию можно ввести и нейтральный промежуточный бозон. Лопес оценил массы бозонов примерно в 60 ГэВ. Он исходил из рассуждений в духе Клейна о равенстве слабого и электрического зарядов. Подобные рассуждения мы уже провели выше.

Так или иначе идеи Кеммера и Клейна неоднократно возрождались на новом уровне в работах многих ученых. Следует, однако, подчеркнуть, что простым введением промежуточных бозонов невозможно

было разрешить всех противоречий теории. Дело в том, что отсутствие констант связи отрицательной размерности — необходимое, но еще не достаточное условие перенормируемости. К сожалению, мы не имеем возможности рассказать о дальнейшей истории теории слабых взаимодействий и упомянуть имена всех ученых, внесших вклад в ее развитие. Окончательный итог нам известен: объединенная теория электрослабых взаимодействий с четырьмя промежуточными частицами γ , W^- , W^+ и Z^0 была построена на основе так называемых калибровочных полей⁹. Ее авторы подозревали, что такая теория перенормируема, но строгое доказательство через несколько лет дал голландский физик Г.т Хоофт. По выражению С. Коулмена, «работа Г.т Хоофта превратила лягушку Вайнберга—Салама в очаровательную принцессу».

МАССА ПРОМЕЖУТОЧНЫХ БОЗОНОВ

Выше мы приводили оценку массы промежуточных бозонов на основе предположения о равенстве «слабого» и электрического зарядов. В стандартной теории имеется уже не оценка, а точное предсказание, выраженное через так называемый угол Вайнберга θ_W — свободный параметр, значение которого в рамках данной теории не предсказывается, а должно быть найдено из экспериментов.

Функциями угла Вайнберга являются не только массы бозонов, но и сечения различных реакций и другие величины. Например, константа связи заряженных бозонов с фермионами g равна $e/\sin \theta_W$. Массы векторных бозонов выражаются формулами:

$$M_W = \frac{(\pi\alpha/G\sqrt{2})^{1/2}}{\sin \theta_W} \simeq \frac{37,28}{\sin \theta_W} \text{ (ГэВ)},$$

$$M_Z = M_W / \cos \theta_W.$$

Общая структура точных формул такая же, как и у тех соотношений, которые мы применяли для грубой оценки массы M . Видно, что масса W -бозона, во всяком случае, не меньше 37 ГэВ. Теперь дело за малым — определить значение угла Вайнберга (при-

⁹ Ансельм А. А. В поисках единой теории фундаментальных взаимодействий. — Природа, 1980, № 6, с. 9; № 7, с. 63.

нято приводить значения не самого угла, а квадрата его синуса). Близость значений $\sin^2 \theta_w$, измеренных в совершенно различных опытах, убедила физиков в правильности предсказаний стандартной теории. В таблицах элементарных частиц приводится усредненное по всем экспериментам значение $\sin^2 \theta_w = 0,229 \pm 0,010$. Соответственно,

$$M_W = 77,9 \pm 1,7 \text{ ГэВ}, M_Z = 88,8 \pm 1,4 \text{ ГэВ}.$$

Таким образом, в своих грубых оценках мы были не так уж далеки от истины, однако и приведенные результаты не совсем точны.

Как определяется $\sin^2 \theta_w$ в каком-то конкретном эксперименте? До недавнего времени с полученными данными сравнивался результат теоретического расчета, учитывающего лишь диаграммы Фейнмана с обменом одним промежуточным бозоном. Но мы теперь знаем, что стандартная теория перенормируема и позволяет учесть радиационные поправки — вклад более сложных диаграмм с дополнительными фотонными линиями и виртуальными кварк-антикварковыми и лептон-антилептонными парами.

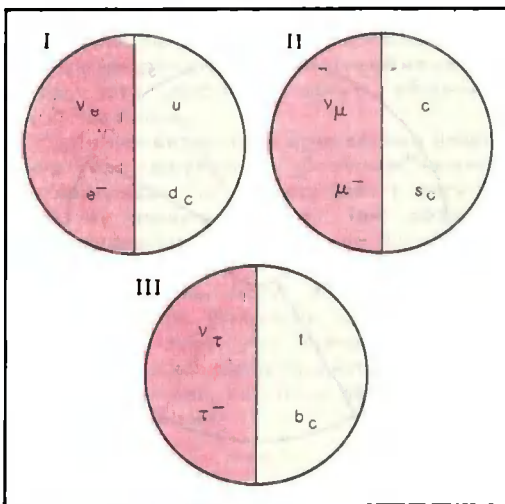
Первые радиационные поправки в стандартной теории были рассчитаны в 1972 г., но наиболее последовательный их учет в самом общем виде стал проводиться с 1978 г. в работах группы Д. Ю. Бардина (Объединенный институт ядерных исследований, Дубна) и ряда зарубежных исследователей. Были вычислены радиационные поправки к основным процессам слабого взаимодействия. Сравнение экспериментальных данных с расчетами, учитывающими вклад радиационных поправок, приводит к несколько меньшим значениям $\sin^2 \theta_w = 0,218 \pm 0,009$. В результате предсказания стандартной теории изменяются примерно на 5%:

$$M_W = 82,5 \pm 2,5 \text{ ГэВ}, M_Z = 93,3 \pm 2,5 \text{ ГэВ}$$

(мы приводим значения, полученные дубненскими физиками).

Как экспериментально подтвердить правильность расчетов радиационных поправок? Например, можно измерить массы бозонов, восстановить значение $\sin^2 \theta_w$ по формуле $\sin^2 \theta_w = 1 - M_W^2/M_Z^2$ и посмотреть, какое число получится: 0,229 (значение, найденное без учета радиационных поправок) или 0,218. Разница между ними настолько мала, что точность опре-

деления масс бозонов должна составлять десятые доли процента. Иначе говоря, эффекты радиационных поправок можно обнаружить, если экспериментальная погрешность измерения масс бозонов не превысит 0,3 ГэВ. По-видимому, такие измерения удастся провести только в будущих экспериментах со встречными e^+e^- -пучками. Пока полученные результаты, о которых мы поговорим ниже, недостаточны для обнаружения влияния радиационных поправок, хотя измеренные значения масс лежат исключительно близко к предска-



Элементарные частицы стандартной теории. В каждое поколение фермионов (I, II, III) входит один кварковый и один лептонный дублеты. Третье поколение окончательно не заполнено: пока еще не открыты частицы, в состав которых входит t -кварк. Заряды всех «верхних» кварков равны $+2/3$, а «нижних» — $-1/3$. Нижние компоненты дублетов являются смесью кварков d , s и b , на что указывает индекс «с» (в честь Н. Кабиббо, первым предложившего подобное смешивание). Доля кварка d в нижней компоненте кваркового дублета первого поколения заметно выше примесей кварков s и b ; зато кварк s превалирует во втором поколении, а кварк b — в третьем. Благодаря кабиббовскому смешиванию W -бозон может взаимодействовать не только с парой кварков $\{du\}$, но и с парой $\{su\}$, хотя и менее интенсивно. Это приводит к распадам странных частиц, которые в противном случае были бы стабильными. Например, элементарный процесс $s \rightarrow u + W^-$ приводит к распаду каона $K^- \{s\bar{u}\} \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$. Пока неизвестно, сколько всего существует фермионных поколений.

занным теоретически. Подтверждение правильности этих расчетов лишний раз продемонстрирует, что стандартная теория по-настоящему хороша и не уступает КЭД по силе своих предсказаний.

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ПРОЦЕССЫ

На каждом этапе развития теории обычно определяется круг частиц, называемых элементарными. Когда-то таковыми считались протон и нейтрон, и для них формулировались основные законы взаимодействий. Сегодня полагают, что эти частицы составные. Поэтому мы будем говорить о взаимодействиях промежуточных бозонов с теми частицами, которые принимаются за элементарные в стандартной теории, т. е. с кварками и лептонами.

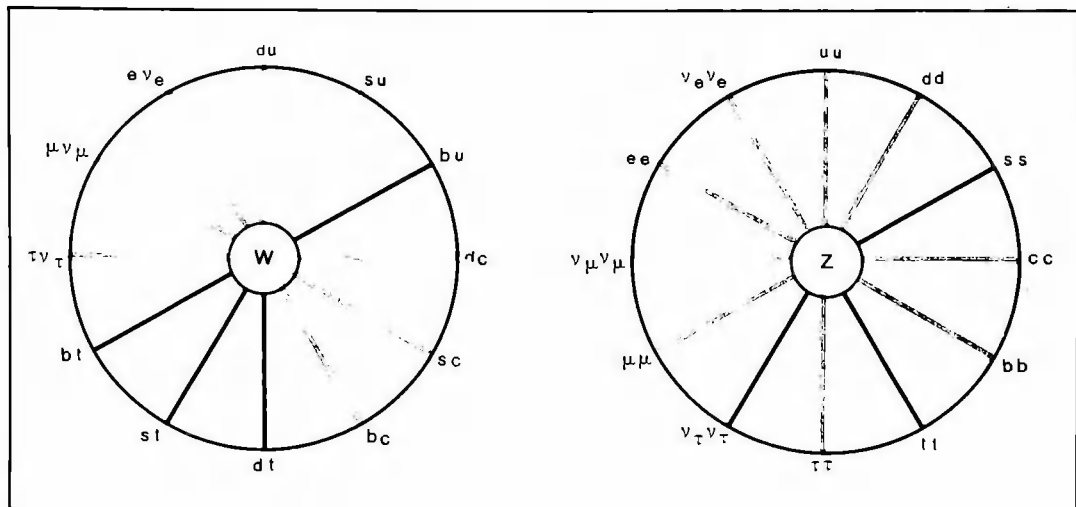


Схема всех элементарных процессов взаимодействия заряженных (слева) и нейтрального (справа) бозонов с кварковыми и лептонными парами. (Рисунок из книги: Окунь Л. Б. Лептоны и кварки. М.: Наука, 1981.) Линия, соединяющая бозон с какой-либо парой, изображает соответствующий набор родственных элементарных процессов. Например, для пары кварков $[du]$ это процессы $d \rightarrow u + W^-$, $u \rightarrow d + W^+$, $W^- \rightarrow d + \bar{u}$ и т. п. Всего имеется 12 различных пар элементарных фермионов, взаимодействующих с W -бозоном [как принято говорить, 12 слабых заряженных токов]. Элементарные взаимодействия, наблюдавшиеся на опыте, показаны цветными линиями. Каждая пара связана через W -бозон с любой другой парой, так что в общей сложности возможны 144 взаимодействия заряженных токов. Обозначения для слабых нейтральных токов аналогичны. Из общего числа [288] взаимодействий слабых токов в экспериментах наблюдалось менее тридцати. Каждому из этих 288 взаимодействий соответствует целый ряд родственных процессов.

Кварки и лептоны естественным образом объединяются в пары — дублеты. Дублет кварков и дублет лептонов образуют одно поколение фермионов. К первому поколению относятся кварки u и d

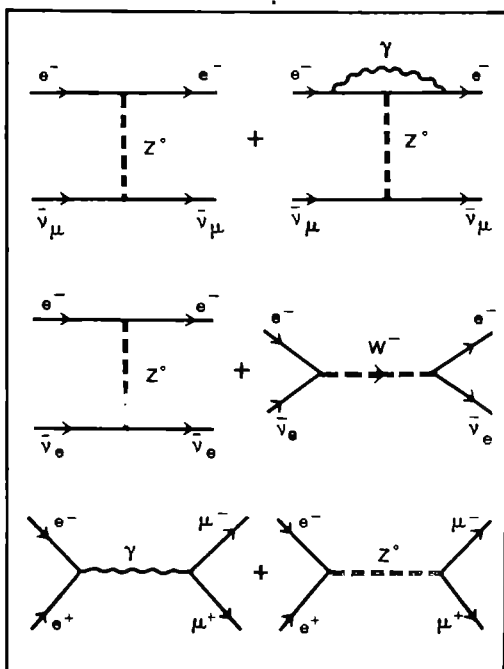
(из которых построены протон, нейтрон и π -мезоны), а также лептонный дублет, состоящий из электрона и электронного нейтрино. Естественно, к нему относятся и все соответствующие античастицы. Все, что нас окружает в обычной жизни, построено из частиц первого поколения; их достаточно для образования атомов вещества, для поддержания термоядерных реакций на Солнце и в звездах. Но природе зачем-то понадобилось размножить фермионные поколения: обнаружены еще два поколения частиц, отличающихся от фер-

мионов первого поколения своими массами. Пока неясно, зачем нужны последующие поколения фермионов и сколько их всего существует. Это — один из важнейших вопросов физики элементарных частиц.

Слабые взаимодействия кварков и лептонов порождаются обменом промежуточными бозонами. Испускание заряженных W -бозонов приводит к изменению заряда частицы. Примерами таких элементарных процессов служат переходы электрона в нейтрино ($e^- \rightarrow \nu_e + W^-$) или u -кварка в d -кварк ($u \rightarrow d + W^+$). Следует иметь в виду, что при испускании заряженного бозона фермион не может превратиться в частицу другого поколения, например невозможен процесс $e^- \rightarrow \nu_\mu + W^-$. Можно сказать, что такой процесс запрещен законом сохранения лептонного заряда, но это будет просто иной формой утверждения, что подобное взаимодействие в природе не наблюдалось. Комбинируя различные элементарные процессы с испусканием

W-бозонов, мы получим все слабые процессы, которые были известны до 1973 г., или, как принято говорить, реакции, обусловленные взаимодействием слабых заряженных токов.

При испускании нейтрального промежуточного бозона Z^0 заряд частицы не изменяется, однако и в этом случае она не может превратиться в фермион другого поколения. Иными словами, кварк (или лептон) останется тем же кварком (или лептоном); не происходят процессы вида $e^- \rightarrow \mu^- + Z^0$, зато возможны процессы



Примеры реакций с участием промежуточных бозонов. На верхних диаграммах — рассеяние мюонного антинейтрино на электроне. Этот процесс происходит только за счет обмена Z^0 -бозоном и само его наблюдение доказало существование нейтральных токов. Первая диаграмма соответствует основному вкладу в процесс, вторая дает пример так называемых радиационных поправок. Она учитывает возможность испускания и поглощения электроном виртуального фотона. В середине — рассеяние электронного антинейтрино на электронах. Этот процесс может происходить двумя способами: с обменом заряженным или нейтральным бозонами. На диаграммах внизу — аннигиляция электрона и позитрона с образованием мюонной пары $\mu^- \mu^+$. К диаграмме КЭД с обменом фотоном γ надо прибавить вклад процесса с участием Z^0 -бозона. Этот вклад приводит к эффекту асимметрии: вероятности вылета мюонов вперед и назад по отношению к движению электрона различны.

$\nu_e \rightarrow \nu_e + Z^0$, $e^- \rightarrow e^- + Z^0$ и т. п. Из этих элементарных процессов строятся реакции, которые не предсказывались универсальной теорией, — реакции, обусловленные взаимодействием нейтральных токов. Например, рассеяние мюонного антинейтрино на электроне может происходить только за счет обмена Z^0 -бозоном.

Некоторые реакции «складываются» из элементарных процессов сразу двух типов — с участием заряженных и нейтральных бозонов. Примером может служить упругое рассеяние электронных антинейтрино на электронах $e^- + \bar{\nu}_e \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$. Существование нейтрального бозона влияет и на такие чисто электродинамические процессы, как рассеяние электронов на позитронах: помимо обмена фотоном, эти частицы могут обмениваться и Z^0 -бозоном.

Элементарными процессами испускания промежуточных бозонов кварками и лептонами не исчерпывается весь список их взаимодействий. Так, возможны элементарные процессы вида $W^\pm \rightarrow W^\pm + \gamma$, $W^\pm \rightarrow W^\pm + Z^0$, $W^\pm \rightarrow W^\pm + Z^0 + Z^0$; иначе говоря, бозоны могут взаимодействовать между собой. Открытие таких процессов имело бы огромное значение для подтверждения калибровочной природы электрослабых полей, но это — весьма отдаленная перспектива.

РАСПАДЫ

Представим себе, что нам удалось получить бозон не в промежуточном, а в свободном состоянии. Что с ним произойдет? Вопрос риторический, поскольку ясно, что бозон распадется.

Посмотрим вначале, какими величинами характеризуются распады любых частиц. Основной параметр — время жизни частицы τ . Для короткоживущих частиц принято использовать обратную величину, так называемую полную ширину частицы¹⁰ $\Gamma = 1/\tau$. Далее, надо перечислить все возможные способы (каналы) распада частицы. Каждый канал i характеризуется относительной вероятностью B_i , показывающей, какова доля данного конкретного распада среди всех возможных. Наряду с относительной вероятностью используются так называемой парциальной шириной данного канала распада, определяемой как

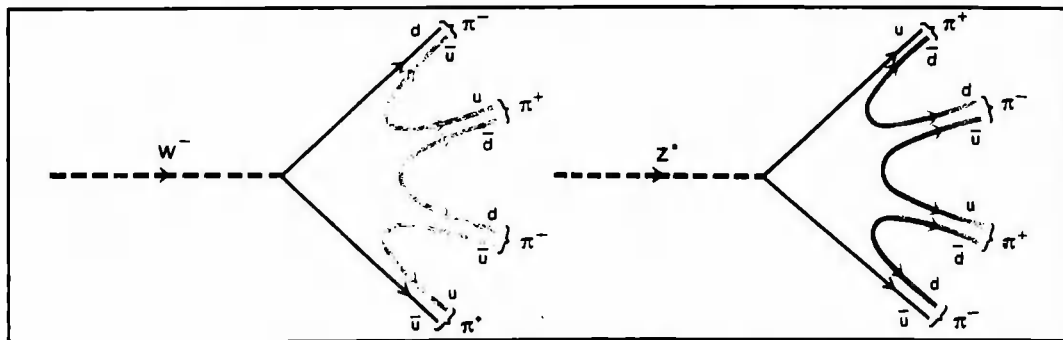
¹⁰ Ширина измеряется в единицах энергии. В естественной системе единиц $1/\text{ГэВ} = 6,58 \cdot 10^{-25}$ с.

$\Gamma_i = V_i \Gamma$. Сумма всех парциальных ширин равна полной ширине частицы.

Теперь мы можем вернуться к распадам промежуточных бозонов и начнем с заряженного бозона W^- . Возможные каналы его распада определяются элементарными процессами взаимодействий, в которых он участвует. Надо только иметь в виду, что в уравнении реакции можно переносить частицы слева направо, заменяя их на соответствующие античастицы, так что процессы $e^- \rightarrow \nu_e + W^-$ и $W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$ в сущности идентичны. Правда, реальные

и относительные вероятности лептонных распадов, т. е. они встречаются одинаково часто.

Из элементарных процессов вида $d \rightarrow u + W^-$ следует возможность распадов W^- на кварк-антикварковые пары, например $W^- \rightarrow d + \bar{u}$, $W^- \rightarrow s + \bar{c}$ и т. п. Кварки любого вида могут находиться в трех цветовых состояниях, так что эффективно число кварков в три раза превышает число лептонов. Если обозначить число фермионных поколений через N , то суммарная ширина всех лептонных распадов будет



Примеры кварковых каналов распада промежуточных бозонов. Такие распады не надо понимать буквально: силы, действующие между кварками, не дают им разлететься, так как кварки в свободном состоянии существовать не могут. За счет энергии поля этих сил из вакуума рождаются кварк-антикварковые пары (им соответствуют цветные линии), которые вместе с распадными кварками образуют различные адроны, например π -мезоны.

физические частицы могут участвовать лишь во втором процессе, поскольку масса W -бозона больше массы электрона. Первый же процесс может происходить, если какие-то из частиц (например, W) виртуальные: кратковременное несохранение энергии допускается квантовой механикой.

Итак, мы уже знаем один из каналов распада W^- -бозона. Для парциальной ширины этого распада расчет дает величину $\Gamma(W^- \rightarrow e \bar{\nu}_e) = 0,25$ ГэВ. Однако есть еще и лептоны следующих поколений, отличающиеся от лептонов первого поколения только массой. Это различие несущественно в случае распада W^- -бозона, масса которого намного больше масс всех известных лептонов. Поэтому парциальные ширины распадов на пары $\mu^- \bar{\nu}_\mu$ и $\tau^- \bar{\nu}_\tau$ также равны 0,25 ГэВ. Это значит, что равны

равна $N \Gamma(W^- \rightarrow e \bar{\nu}_e)$, а суммарная ширина всех кварковых распадов — в три раза больше. Таким образом, полная ширина W -бозона

$$\Gamma_W = 4N \Gamma(W^- \rightarrow e \bar{\nu}_e) \simeq N(\Gamma_Z).$$

Если число поколений равно трем, то $\Gamma_W \simeq 3$ ГэВ, а время жизни W -бозона — около $2 \cdot 10^{-25}$ с. Полная вероятность лептонных распадов составляет 25%, так что при $N=3$ вероятность каждого из них примерно равна 8,3%. Три четверти всех распадов W -бозона приходится на кварковые каналы, что не следует понимать буквально как распад на свободные кварки. В свободном состоянии кварки находиться не могут, поэтому кварковые распады бозона приводят в конечном итоге к рождению множества адронов, например в реакции $W^- \rightarrow \pi^0 + \pi^+ + \pi^- + \pi^-$ и т. п.

Распады нейтрального промежуточного бозона в принципе похожи на распады W с той лишь разницей, что продукты распада всегда должны быть античастицами друг другу:

$$\begin{aligned} Z^0 &\rightarrow \nu_e + \bar{\nu}_e, \quad Z^0 \rightarrow e^- + e^+, \\ Z^0 &\rightarrow u + \bar{u}, \quad Z^0 \rightarrow d + \bar{d}. \end{aligned}$$

Здесь выписаны распады Z^0 на фермионы первого поколения; распады на частицы других поколений аналогичны. Для парциальной ширины нейтринного распада стандартная теория дает значение $\Gamma(Z^0 \rightarrow \nu\bar{\nu}) \approx 0,18 \text{ ГэВ}$ — примерно в 2 раза больше, чем на пару e^-e^+ . Это означает, что Z^0 в два раза чаще распадается на пару нейтрино, чем на электрон и позитрон. Кварковые каналы распада Z^0 составляют примерно 72%. Как и в случае заряженного бозона, каждое фермионное поколение вносит примерно 1 ГэВ в полную ширину Z^0 , иными словами, $\Gamma_z \approx N(\text{ГэВ})$.

Мы говорили, что число фермионных поколений не предсказывается стандартной теорией. Точное измерение ширины промежуточных бозонов, помимо проверки теории, дает уникальную возможность экспериментально установить число поколений, даже не открывая новых кварков и лептонов.

Однако представим себе, что лептоны и кварки следующих поколений очень тяжелы. Для этого у нас есть определенные основания: вспомним, что мюон в 207 раз тяжелее электрона, а τ -лептон — в 17 раз тяжелее мюона. Может случиться, что эти частицы настолько массивны, что соответствующие распады вообще невозможны из-за закона сохранения энергии: массы бозона не хватит для их рождения. Тогда последующие поколения лептонов не дадут вклада в полную ширину W -бозона, так что «видимое» число поколений по-прежнему будет равно трем. В этом случае изучение распадов Z^0 даст независимую информацию о числе N_f различных типов нейтрино, масса которых мала (либо просто равна нулю). Из наших рассуждений следует, что полная ширина всех нейтринных распадов составляет $0,18N_f$ (ГэВ). Несмотря на то что нейтрино ускользают от непосредственной регистрации, измерение полной ширины Z^0 -бозона в принципе возможно. Таким образом, даже при очень массивных кварках и заряженных лептонах каждое новое поколение фермионов за счет своего нейтрино увеличивает ширину нейтрального бозона на 0,18 ГэВ, т. е. на 6%. При точных измерениях этот эффект может быть обнаружен. Следовательно, и в этом случае мы будем в состоянии «пересчитать» фермионные поколения или, по крайней мере, различные виды нейтрино. Такая информация поистине бесценна, например, для космологии. Точное измерение полных ширин промежуточных векторных бозонов — одна из задач экспериментов на будущих ускорителях.

РОЖДЕНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ БОЗОНОВ

При поисках новых частиц экспериментаторам наших дней приходится решать сразу две задачи. Во-первых, надо искусственно создать возможности для рождения частицы и, во-вторых, исхитриться ее зарегистрировать. Выполнение обеих задач требует большого труда, незаурядных организаторских способностей и немалых финансовых затрат.

Рождение частицы — процесс, обратный ее распаду. Например, мы знаем, что Z^0 -бозон может распасться на пару e^-e^+ . Очевидно, что обратный процесс — рождение Z^0 в e^-e^+ -столкновении — произойдет, если электрон и позитрон имеют достаточно большую энергию. Это означает, что для рождения Z^0 -бозонов нужен мощный ускоритель.

Образовавшийся бозон быстро распадается. Надо выбрать один из каналов распада, например на пару $\mu^-\mu^+$, и построить детектор, хорошо регистрирующий мюоны. Имея в своем распоряжении ускоритель и детектор, можно приступить к изучению реакции

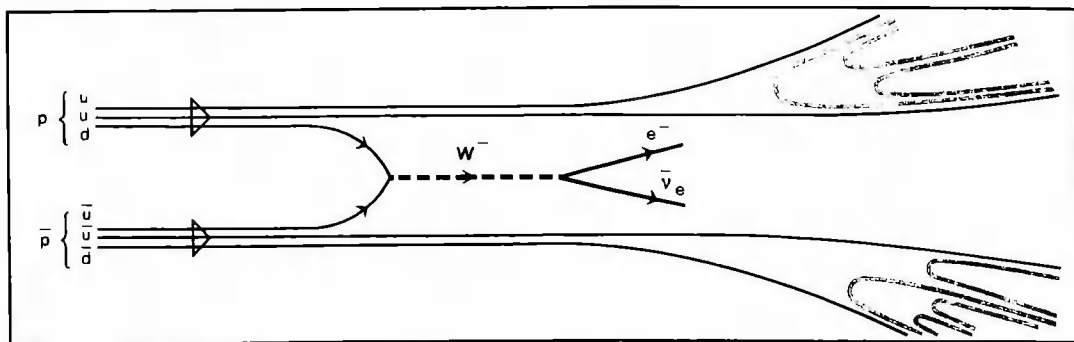
$$e^- + e^+ \rightarrow Z^0 \rightarrow \mu^- + \mu^+.$$

Поставим себя мысленно на место экспериментаторов. Станем измерять число рождающихся мюонных пар, изменяя энергию столкновения электронов с позитронами. При относительно небольших энергиях Z^0 -бозон возникает на очень короткое время в виртуальном состоянии; вероятность нашей реакции невелика, и, соответственно, мал выход мюонов. Будем постепенно повышать энергию, и мы столкнемся с явлением, напоминающим резонанс в классической механике. Когда энергия столкновения совпадет со значением массы Z^0 -бозона, вероятность нашей реакции сильно возрастет и детектор зарегистрирует резкое увеличение выхода мюонов. При дальнейшем повышении энергии область резонанса остается позади и вероятность реакции снова понижается. Обнаружение резонансного пика на кривой зависимости сечения реакции от энергии столкновения можно считать наблюдением Z^0 -бозона. Положение пика позволит найти массу бозона, а ширина резонансной кривой в нашем примере — не что иное, как полная ширина нейтрального бозона. Если к тому же наш ускоритель настолько хорош, что сталкивающиеся электроны собраны в достаточно плотные сгустки,

то в единицу времени будет происходить множество интересующих нас событий. Это позволит нам в короткий срок набрать необходимую статистику и объявить о полученных результатах.

Рождение промежуточных бозонов в столкновениях электронов и позитронов — наиболее чистый эффект, ожидаемый в теории электрослабых взаимодействий. К сожалению, даже на самых мощных современных ускорителях с встречными e^+e^- -пучками энергия столкновения примерно равна 40 ГэВ — т. е. намного

Измерения величины асимметрии при максимально доступной энергии позволили физикам в Гамбурге экспериментально оценить массу нейтрального векторного бозона: $M_Z = 76^{+21}_{-11}$ ГэВ. Особенно важной была впервые полученная оценка сверху: ведь мы знаем, что бесконечно большое значение M_Z означало бы контактное взаимодействие à la Ферми, т. е. отсутствие в природе Z^0 -бозонов. И все же, поскольку область резонанса в этих опытах не была достигнута, можно говорить лишь о полу-



Рождение W -бозона в столкновении протонов с антипротонами. Кварк d и антикварк $\bar{u}$ образуют бозон W^- , который затем распадается по одному из возможных каналов. Остальные кварки, не участвовавшие в столкновении (на рисунке это u , $\bar{u}$, d), вместе с кварк-антикварковыми парами, рожденными из вакуума (цветные линии), дают начало адронным струям, летящим в основном вдоль оси столкновения $p\bar{p}$. Аналогичным образом рождаются и нейтральные бозоны Z^0 .

меньше массы Z^0 . Тем не менее на ускорителе "PETRA" (Гамбург, ФРГ) удалось получить косвенные свидетельства в пользу существования Z^0 -бозона. При изучении обсуждаемой нами реакции наблюдался эффект асимметрии: в переднюю и заднюю полусферы по отношению к направлению движения начального электрона вылетало различное число мюонов. Асимметрия возникает из-за интерференции вкладов фотона и Z^0 -бозона в сечение реакции и растет вместе с энергией столкновения¹¹.

ценных указаний на существование Z^0 , но не об его открытии.

Лавры первооткрывателей промежуточных векторных бозонов неизбежно должны были достаться экспериментаторам ЦЕРНа. Не так давно, в 1981 г., там был запущен ускоритель на встречных протон-антипротонных пучках с энергией столкновения до 540 ГэВ (так называемый $p\bar{p}$ -коллайдер¹²). Пока это единственный ускоритель, энергия которого достаточна для рождения промежуточных векторных бозонов. Они могут образоваться в столкновениях кварков и антикварков, входящих в состав протонов и антипротонов, т. е. вследствие знакомых нам процессов:

$$\begin{aligned} u + \bar{d} &\rightarrow W^+, \bar{u} + d \rightarrow W^-, \\ u + \bar{u} &\rightarrow Z^0, d + \bar{d} \rightarrow Z^0. \end{aligned}$$

Оставшиеся кварки и антикварки дают начало множеству адронов, образующих так называемые адронные струи. В принципе

¹¹ Природа, 1982, № 5, с. 110. Подобный эффект в процессе глубоконеупругого рассеяния мюонов на ядрах углерода обнаружен в совместных опытах физиков ОИЯИ и ЦЕРНа (так называемый эксперимент NA-4, И. А. Савин, И. А. Голутвин, К. Руббин и др.). В самое последнее время эффекты асимметрии наблюдались также на «PETRA» и

ускорителе «PEP» (Станфорд, США) в процессах e^+e^- -аннигиляции, когда в конечном состоянии вместо мюонной пары возникают тяжелые лептоны $\tau^-\tau^+$ или пары тяжелых кварков ($c\bar{c}$) или ($b\bar{b}$).

¹² См.: Ройзен И. И. Физические исследования на коллайдерах. — Природа, 1983, № 2, с. 104.

и здесь происходят резонансные явления, подобные тем, что имеют место при столкновениях электронов с позитронами. Однако теперь надо еще принимать во внимание детали структуры адронов и движение кварков внутри них¹³.

Итак, рр-коллайдер обеспечивает условия для рождения векторных бозонов. Регистрировать их появление на свет удобно по лептонным распадам, поскольку лептоны легче «увидеть» на фоне множества рождающихся адронов. Адронные струи порождаются быстро движущимися кварками, избежавшими столкновений, и потому направлены почти вдоль оси рр-пучков. Бозоны же, возникшие при лобовых столкновениях кварков, образуются сравнительно медленными (их импульс не равен строго нулю из-за разницы в импульсах кварков). В то же время электрон, рождающийся при распаде W-бозона, имеет большой импульс и может вылететь под большим углом к оси пучков: его поперечный импульс будет скомпенсирован поперечным импульсом антинейтрино. При наблюдении под большими углами невелик фон от других частиц, и это облегчает поиск промежуточных бозонов.

Рождение Z⁰-бозона можно обнаружить по распадам на пары e^+e^- и $\mu^+\mu^-$. Если бы образовавшийся бозон строго покоился, то лептоны имели бы равные энергии (по $M_Z/2$ каждый) и вылетали бы в прямо противоположных направлениях. Из-за движения Z⁰-бозона эти энергии не совсем равны, а угол разлета не составляет 180°. И все же ясно прописывается идея экспериментов: следует искать пары заряженных быстрых лептонов, разлетающихся под большими углами к оси пучков. Среди всех таких событий нужно отобрать те, в которых поперечные импульсы лептонов скомпенсированы, а затем по значениям энергий лептонов и углу между их импульсами определить массу Z⁰-бозона.

Несколько сложнее процедура восстановления случаев рождения заряженных бозонов: ведь один из лептонов, антинейтрино, ускользает от регистрации. Для идентификации таких событий применяют метод недостающей энергии. Полная энергия всех продуктов реакции равна энергии столкновения. Измерив энергии и импульсы

всех регистрируемых частиц, можно найти величину «недостающей» энергии и направление, в котором она «исчезает», — иными словами, косвенным путем определить импульс нейтрино.

Отсюда ясно, что к детекторам предъявляются весьма жесткие требования. Чтобы не упустить рождающиеся частицы, они должны со всех сторон окружать точку столкновения протонов с антипротонами и, кроме того, регистрировать любые частицы, возникающие при распадах родившихся адронов. Для поисков промежуточных бозонов в ЦЕРНе были созданы два детектора. Оба они установлены глубоко под землей — отсюда и их названия UA-1 и UA-2 (от англ. Underground Area — подземная зона).

Группу исследователей, работающих на детекторе UA-1, возглавляет К. Руббиа, один из инициаторов создания коллайдера. В нее входят около 140 физиков ЦЕРНа и 11 научных организаций Западной Европы и США. Детектор UA-1 — огромный многоцелевой прибор, который контролирует почти всю область вокруг точки столкновения: регистрации избегают только частицы, летящие под углами 0,7° и меньше к оси пучков (и, разумеется, любые нейтрино). Траектории частиц вычерчиваются компьютером по сигналам, поступающим из детектора. В среднем компьютер фиксирует 100 точек вдоль траектории, что вместе с другими измерениями позволяет идентифицировать частицу и определить ее энергию и импульс. Создание детектора UA-1 обошлось примерно в 65 млн долларов.

Группу UA-2 возглавляет П. Дарьюла, в ней — около 60 физиков из ЦЕРНа и 5 других западноевропейских институтов. Детектор UA-2 нацелен в основном на поиски промежуточных векторных бозонов.

Директор Национальной ускорительной лаборатории им. Э. Ферми (Батавия, США) Л. Ледерман дал любопытную характеристику взаимоотношениям этих групп, занятых одним делом в соседних экспериментальных залах одного ускорителя: «Я совершенно потрясен дружественными формами соревнования между UA-1 и UA-2. Это — в лучших традициях физики высоких энергий и напоминает мне анекдот о двух физиках. Прогуливаясь по лесу, они натолкнулись на огромного разъяренного медведя. «Бежим!» — закричал кто-то из них (но кто именно?). «Но ведь ты не сможешь бежать быстрее медведя», — несколько педантично заметил другой. На это первый физик ответил: «А мне и не тре-

¹³ Расчеты процессов образования промежуточных бозонов в адронных столкновениях были выполнены в 1976 г. Л. Б. Окунем и М. Б. Волошиным (Институт теоретической и экспериментальной физики) и другими исследователями.

буется бежать быстрее медведя. Досто-точно бежать быстрее тебя».

Похоже, что пока К. Руббиа «бежит» чуть быстрее. Первый сеанс на коллайдере по поиску промежуточных векторных бозонов длился около 30 дней в ноябре—декабре 1982 г. Уже в январе стали известны результаты обработки данных. Вот как был сформулирован основной вывод, сделанный группой UA-1: «Одновременное присутствие электрона и (одного) нейтрино с почти равными и противоположно направленными импульсами в поперечном направлении означает наличие двухчастичного распада $W \rightarrow e + \nu_e$ ». Группа UA-1 сообщила о шести случаях рождения W -бозонов, а несколько позже группа UA-2 заявила о наблюдении четырех W -бозонов. По предсказаниям стандартной теории, нейтральные Z^0 должны регистрироваться почти в десять раз реже заряженных W ; в первой серии опытов не была набрана статистика, необходимая для наблюдения Z^0 .

Вторая серия продолжалась три месяца — с апреля по июль 1983 г. В начале мая группа UA-1 зафиксировала первый случай рождения Z^0 с последующим распадом на пару e^-e^+ . Вскоре был найден распад родившегося Z^0 на мюонную пару $\mu^-\mu^+$. Общие результаты после второй серии экспериментов таковы: группа UA-1 наблюдала 71 заряженный и 6 нейтральных бозонов, группа UA-2 — 35 заряженных и 5 нейтральных. Экспериментальные значения масс промежуточных векторных бозонов (средние по данным групп UA-1 и UA-2)

$$M_W = 81 \pm 2 \text{ ГэВ}, M_Z = 93 \pm 2 \text{ ГэВ}$$

находятся в прекрасном согласии с теоретическими предсказаниями.

За этими результатами стоит многолетний труд, увлекательные и порой весьма драматичные события. Например, можно представить себе состояние ученых, когда в 1981 г. после нескольких предварительных экспериментов произошел непредвиденный инцидент: Для очистки канала ускорителя был ошибочно использован сжатый воздух из обычного компрессора. В результате зона столкновения пучков, где должен поддерживаться исключительно высокий вакуум, оказалась загрязненной частичками масла. К досаде физиков, вынужденный перерыв отнял несколько месяцев.

Несомненно, история открытия промежуточных векторных бозонов еще найдет

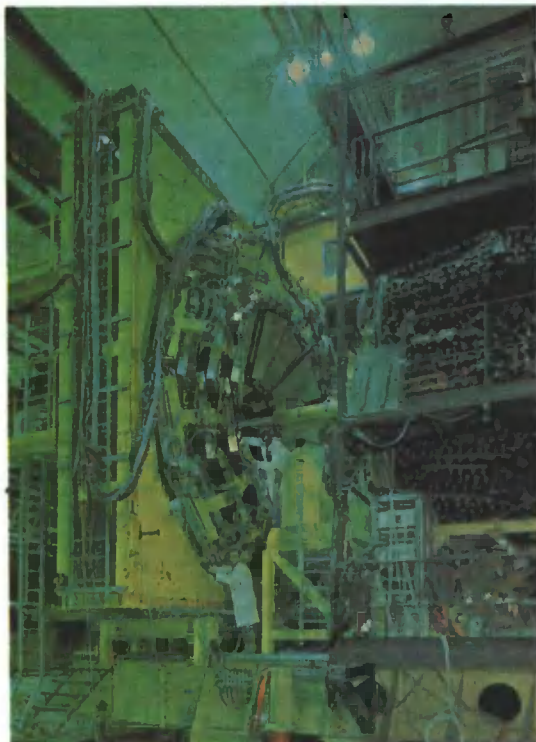


Детектор UA-1.

своего летописца (на этот сюжет уже создан документальный телефильм «Женевское событие»). 50-летний юбилей теории слабых взаимодействий отмечен выдающимся научным открытием, честь которого вместе с физиками-экспериментаторами по праву делят создатели коллайдера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование промежуточных векторных бозонов только начинается. В следующем году запланированы очередные сеансы на коллайдере. Но в основном дальнейшие надежды связаны теперь с двумя новыми ускорителями. В Национальной лаборатории им. Э. Ферми сооружается ускоритель со встречными $p\bar{p}$ -пучками ("Tevatron") с энергией столкновения 2000 ГэВ — примерно в 4 раза большей, чем в ЦЕРНе. С ростом энергии повышается «уровень рождаемости» промежуточных бозонов в $p\bar{p}$ -столкновениях. Предварительный сеанс планируется на сере-



Детектор UA-2.

дину 1985 г., но главные события развернутся, по-видимому, летом 1986 г.¹⁴

Заманчивые перспективы открывает проект "LEP": сооружение в ЦЕРНе большого электрон-позитронного накопительного кольца с энергией столкновения более 100 ГэВ. На этом ускорителе станет возможным наблюдение резонансного рождения Z^0 -бозонов. Проектируемые параметры "LEP" таковы, что этот ускоритель станет настоящей фабрикой Z^0 -бозонов. По самым консервативным оценкам, за сутки на нем будет рождаться несколько десятков тысяч нейтральных бозонов, что позволит детально изучить их свойства.

Резонансное рождение заряженных бозонов невозможно в e^-e^+ -столкновениях. Однако встречные электрон-позитронные пучки дают принципиальную возможность изучать чрезвычайно интересный процесс:

рождение пары W -бозонов при распаде виртуального Z^0 или фотона ($e^-+e^+ \rightarrow Z^0(\gamma) \rightarrow W^-+W^+$). Для такой реакции нужно, чтобы энергия каждого пучка превышала массу W , т. е. составляла более сотни ГэВ. Исследование этого процесса важно для проверки закона взаимодействия промежуточных бозонов между собой, или, иными словами, для подтверждения их природы как квантов калибровочных полей. Проект "LEP" предусматривает применение сверхпроводящих магнитов на втором этапе развития установки. Это позволит удвоить энергию столкновения. Предполагается, что первая очередь "LEP" войдет в строй в конце 1988 г. В настоящее время обсуждается возможность участия физиков ОИЯИ (Дубна) и ряда советских институтов в совместных экспериментах на "LEP".

Вместо подробного описания перспектив исследований на новом ускорителе мы приведем стишок, сочиненный Ш. Глэшоу во время одного из совещаний (1978 г.), посвященных этому проекту:

Наш научный не занят бедлам
Разработкой ракетных программ.
"LEP" иным озадачен:
Доказать предназначен,
Что лишь Вайнберг был прав и Салам.

Несмотря на то что стихотворение написано в веселом стиле «лимерик», в нем выражена вполне серьезная уверенность физиков, что исследования на "LEP" установят справедливость всех аспектов стандартной теории.

Естественно, что задачи новых ускорителей этим не ограничиваются. Но подтверждение объединенной теории электрослабых взаимодействий имеет особое значение: ведь здесь мы имеем дело с одним из самых фундаментальных законов мироздания.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Хуфт Г. КАЛИБРОВОЧНЫЕ ТЕОРИИ СИЛ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ.— Успехи физических наук, 1981, т. 135, с. 479—512.

Клайн Д. Б., Руббин К., ван дер Meer С. ПОИСКИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ВЕКТОРНЫХ БОЗОНОВ.— Успехи физических наук, 1983, т. 139, с. 135—152.

Окунь Л. Б. ЛЕПТОНЫ И КВАРКИ. М.: Наука, 1981.

¹⁴ Подробнее см.: Арутюнян И. Н. Ускорители нового поколения и их задачи.— Природа, 1981, № 12, с. 37.

Глубинные неоднородности Земли

Н. И. Павленкова



Нинель Ивановна Павленкова, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР. Занимается изучением глубинного строения Земли сейсмическими и другими геофизическими методами. Вице-президент Международной комиссии по сейсмологии контролируемых источников.

Наши знания о внутренней структуре Земли до сих пор остаются довольно скудными, а главное — фрагментарными. Как это ни парадоксально, о строении других планет мы иногда знаем больше, чем о Земле. Может быть, причина заключается в том, что до недавнего времени не было возможности взглянуть на нашу планету со стороны — из космоса. За последние годы положение резко изменилось, космическая геофизика постепенно набирает силу. Существенно выросли и масштабы наземных геофизических исследований. Так, метод глубинного сейсмического зондирования, предложенный в 50-е годы Г. А. Гамбургцевым, долгое время ограничивался глубинами не более 50—70 км. В настоящее время вся верхняя мантия до глубины 400—700 км доступна этому методу¹. Увеличилось и число физических характеристик вещества Земли, измеряемых геофизиками.

Ниже будут изложены последние результаты исследования глубинного строения Земли сейсмическими и другими геофизическими методами. Причем упор бу-

дет сделан на земную кору и верхнюю мантию континентов, изучению которых посвящена основная часть работы автора.

ЭВОЛЮЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ЗЕМНОЙ КОРЕ

Понятие земная кора возникло давно. Первоначально оно было связано с представлениями о довольно тонкой твердой оболочке Земли, перекрывающей расплавленные породы ее недр. Впоследствии стало ясно, что продукты расплава сосредоточены в локальных магматических очагах, а верхняя часть Земли сложена твердым веществом. Об этом, в частности, свидетельствовал тот факт, что поперечные волны — сейсмические волны, не образующиеся в жидких средах, — проходят через всю мантию.

Современное понятие земной коры основано прежде всего на сейсмических характеристиках пород и связано с именем югославского сейсмолога А. Мохоровичича. Изучая сейсмограммы близких землетрясений, он установил, что в верхнем слое Земли сейсмические волны распространяются с меньшей скоростью (около 6 км/с), чем на больших глубинах (8—8,5 км/с). Этот низкоскоростной слой впоследствии и был назван земной корой, а сейсмическая граница, отделяющая его от мантии, в память

¹ Егоркин А. В. Строение и свойства верхней мантии. — В кн.: Сейсмические модели литосферы основных геоструктур территории СССР. М., 1980.

ее первооткрывателя была названа границей Мохоровичича (Мохо, граница М).

По мере накопления новых данных представления о земной коре постепенно изменялись. Одна за другой возникали сложные, часто противоречивые модели. Затем наступила пора массового увлечения упрощенными представлениями, например двуслойной моделью кристаллической части коры с гранитным и базальтовыми слоями, разделенными резкой границей Конрада. Предположение о существовании этих двух слоев — сиала и симы — было высказано задолго до сейсмических работ. Поэтому, когда в 1924 г. немецкий геофизик Дж. Конрад обнаружил в земной коре промежуточную границу со скоростью около 6,4 км/с (т. е. со скоростью близкой к скорости продольных волн в базальтах), данная двуслойная модель стала общепринятой. И хотя осторожные геологи и геофизики понимали, что по скорости сейсмических волн нельзя однозначно определить состав пород, и употребляли при названии слоев «гранитный» и «базальтовый» кавычки, тем не менее выделять границу Конрада стало модным. Ее выделяли несмотря на то, что в разных регионах она проходила на разной глубине и отвечала разным сейсмическим скоростям. Появилось мнение о значительной изменчивости «гранитного» и «базальтового» слоев как по мощности, так и по составу². Но наряду с этим родились сомнения, одну ли поверхность геофизики принимают за границу Конрада. Эти сомнения подтвердились: было доказано, что одни исследователи принимают за поверхность «базальтового» слоя границу со скоростью 6,4 км/с, другие — со скоростью 6,8 км/с. Возникла путаница. Поэтому в 1962 г. на международном совещании сейсмологов в Париже было принято решение не пользоваться терминами «гранитный» или «базальтовый» слой, граница Конрада, а называть сейсмические слои просто по величинам их скоростей.

Но когда научная идея получает слишком большое распространение, с ней трудно бороться. И при бурении Кольской сверхглубокой скважины все ждали, когда она пересечет границу Конрада и войдет в «базальтовый» слой. Этого не случилось. Сейсмическая граница со скоростью около 6,5—6,6 км/с, которую в данном регионе связывали с границей Конрада,

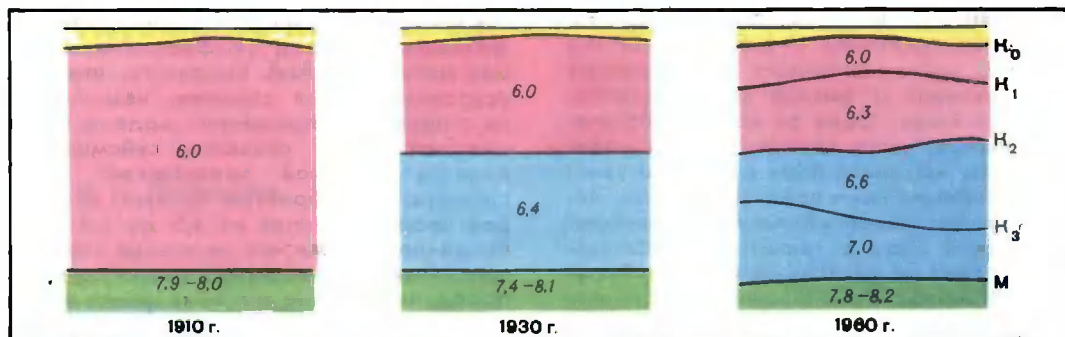
совпала с довольно тонким слоем метаморфизованных пород (амфиболитовая фация метаморфизма). Оказалось, что кора устроена гораздо сложнее, чем полагали сторонники упрощенной модели. Функция изменения скорости сейсмических волн с глубиной представляет собой сложную пилообразную кривую, на которой скорость растет от 4,5 до 6,8 км/с. Выяснилось также, что не всегда скорости сейсмических волн определяются составом пород, не меньшее значение имеют их механические свойства: трещиноватость, степень разрушенности, катаклаза и т. д. Сейсмические границы оказались связаны не только со слоями разного петрографического состава, но и с зонами разломов, плоскостями сбросов.

Все эти данные, полученные при бурении Кольской скважины, привлекли внимание к тем сейсмическим характеристикам среды, которые прежде изучались спорадически. Сейчас совершенно ясно, что состав нижних слоев коры не может быть определен только по сейсмическим скоростям продольных волн, необходимо знать скорости поперечных волн, плотность пород, их магнитную восприимчивость, электропроводность, поглощающие свойства.

Разные комбинации этих параметров помогают определить геологическую природу скоростных неоднородностей. Например, скорости поперечных волн более «чувствительны» к изменению температуры, чем скорости продольных волн, и с их помощью можно выявлять области частичного плавления пород. Соотношение скоростей продольных и поперечных волн оказывается разным для так называемых кислых и основных пород. Плотность пород не всегда линейно связана со скоростью, что дает возможность по относительно высокой величине плотности отделить осадочно-метаморфизованные породы от кристаллических пород фундамента. Знание магнитной восприимчивости позволяет установить, не связано ли изменение скорости сейсмических волн с глубиной с содержанием железа, а данные по электропроводности дают объяснение этим изменениям. Исследование теплового потока позволяет выделить блоки коры кислого состава с повышенной генерацией тепла и блоки основных пород, обладающих низкой теплогенерацией.

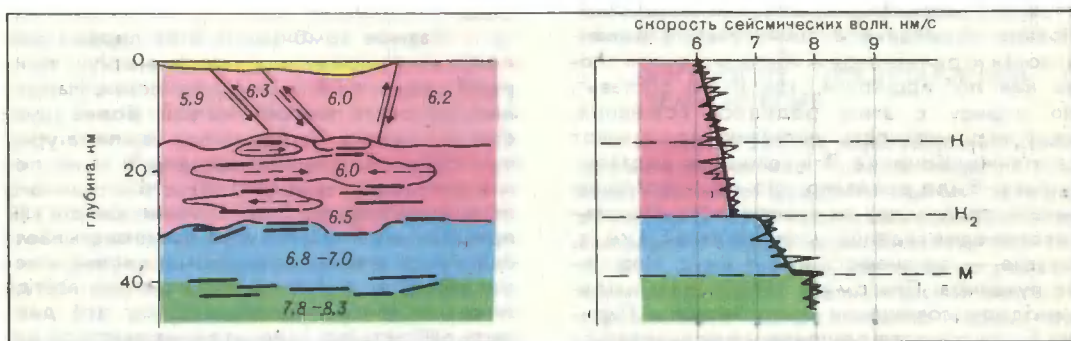
Определенную роль в характеристике вещества земной коры могут сыграть и такие сейсмические параметры, как поглощение, преобладающая частота колеба-

² Вольвовский И. С. Сейсмические исследования земной коры в СССР. М., 1973.



Сейсмические модели, демонстрирующие смену представлений о структуре земной коры. В 1910 г. А. Мохоровичич отделил от мантии слой с низкими скоростями распространения сейсмических волн — земную кору. В 1930 г. Дж. Конрад выделил в коре промежуточную границу, и общепринятой стала двухслойная модель консолидированной части коры с «гранитным» и «базальтовым» слоями. К 1960 г. модель стала многослойной, но еще долгое время слои продолжали группировать в два основных — «гранитный» и «базальтовый». На этом и последующих рисунках буквами обозначены сейсмические границы, цифрами — скорости распространения сейсмических волн.

- Осадочный слой
- «Гранитный» слой
- «Базальтовый» слой
- Мантия

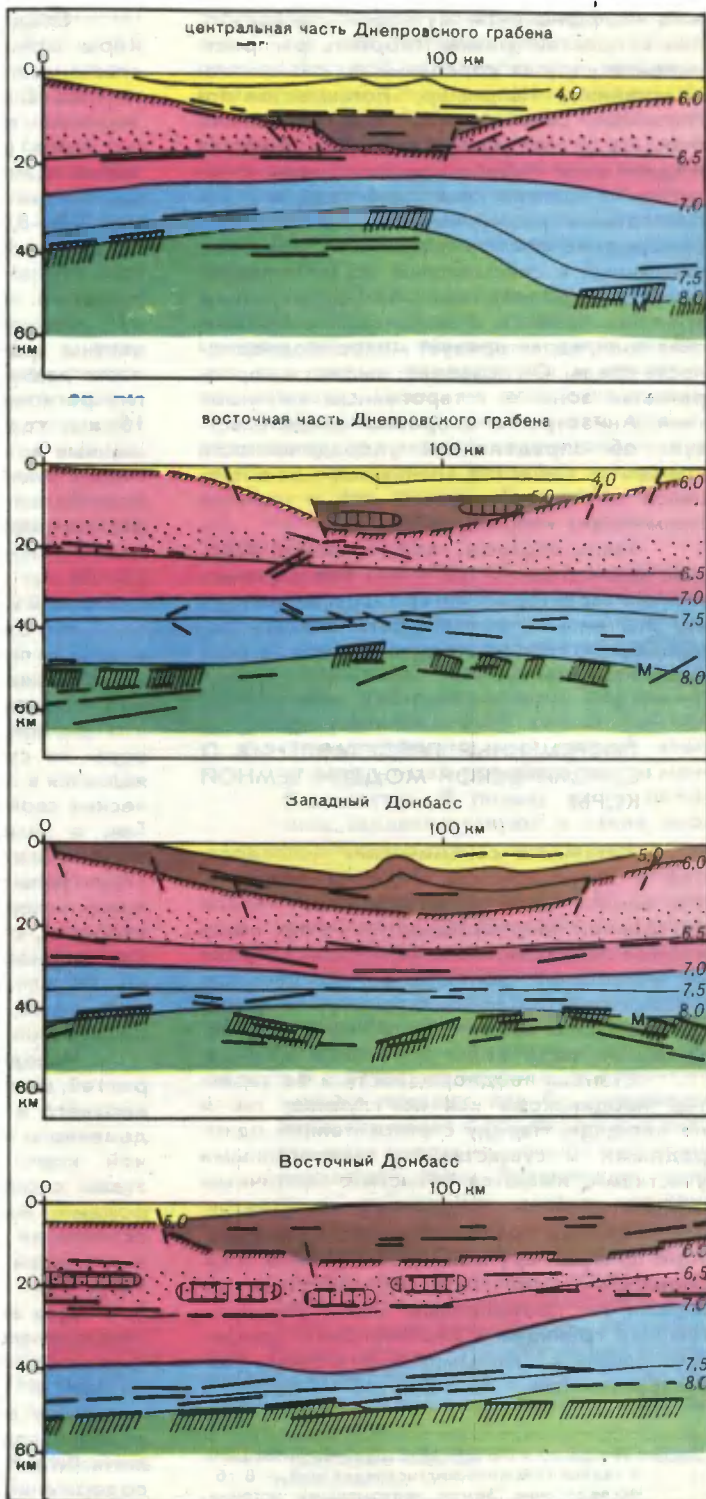
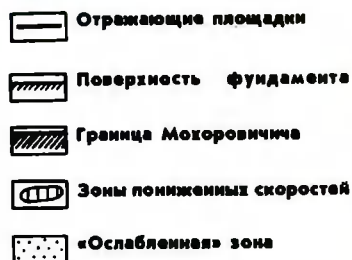
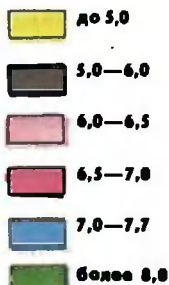


Новая сейсмическая модель земной коры платформенных регионов, построенная автором. В коре выделяются три структурных этапа, верхний из которых характеризуется субвертикальной расслоенностью пород и вертикальными разломами, а промежуточный — инверсионными зонами, где возможны горизонтальные податки вещества. В правой части рисунка показан характер изменения скоростей с глубиной: тонкая линия — перепады скоростей на отдельных мелких пластинках, толстая — средине величины.

- Осадочный слой
- Структурные этапы консолидированной коры:
 - верхний
 - промежуточный
 - нижний
- Мантия
- Направление возможных податок отдельных блоков
- Зоны пониженных скоростей
- Отражающие площадки

Сейсмические разрезы через Днепровско-Донецкую впадину и Донбасс, образующие эволюционный ряд, который характеризует изменение структуры земной коры при формировании глубоких прогибов и последующем преобразовании заполняющего их вещества (по Барановой Е. П., Коновалову Ю. Б., Павленковой Н. И., Смелянской Т. В.). На разрезах Днепровского грабена видны основные особенности структуры земной коры глубоких прогибов: граница Мохоровичича над наиболее прогнутой частью фундамента поднимается, скорости сейсмических волн в консолидированной коре увеличиваются, вес низкоскоростных осадков компенсируется весом более плотных пород фундамента. На разрезах Донбасса видно, что в результате процессов метаморфизма и складкообразования в осадочных породах плотность их становится сравнимой с плотностью кристаллического основания, глубинные границы выравниваются и вновь увеличивается мощность консолидированной коры.

Скорости сейсмических волн, км/с:



ний, коэффициенты мутности и анизотропии скоростей (разная скорость распространения упругих колебаний по разным направлениям). Например, повышенное поглощение сейсмической энергии можно ожидать в породах, в которых имеется жидкая фаза. Избирательность среды относительно частоты колебаний связана с характерными размерами сейсмических неоднородностей. Коэффициент мутности, введенный в сейсмологию А. В. Николаевым и определяемый по флуктуациям времени пробега и амплитуды сейсмических волн, характеризует микронеоднородность среды. Он позволяет выделять «прозрачные» зоны и гетерогенные «мутные» тела. Анизотропия скоростей свидетельствует об определенной упорядоченности элементов вещества, возникшей еще в процессе его формирования, или о наличии сжимающих напряжений.

Таким образом, геофизическим методам исследования доступны все перечисленные характеристики среды, и, используя их, мы имеем возможность описать современную геофизическую модель земной коры континентов³.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О СЕЙСМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Детальные сейсмические исследования и сверхглубокое бурение показали, что земная кора характеризуется мелкой внутренней неоднородностью — так называемой зернистостью с величиной «зерен» от нескольких сантиметров до десятков километров. Перепады скоростей на границе отдельных неоднородностей в кристаллической части коры достигают 2,9 км/с.

Степень неоднородности и ее характер неодинаковы как по глубине, так и по площади. Наряду с относительно однородными и существенно гетерогенными участками, имеются области с хаотичным распределением отдельных элементов.

Помимо мелких неоднородностей, коре присущи крупные блоки, точнее, пластины. Они выделяются сейсмическими методами по протяженным почти горизонтальным границам и вертикальным контактам пород с разными физическими характеристиками.

Среди протяженных границ земной коры можно выделить глобальные, прослеженные по всему земному шару, и региональные. К глобальным относятся поверхность фундамента (граница K_0) и граница Мохо (М), главными признаками которой являются высокая величина граничных скоростей сейсмических волн — в среднем 7,9—8,2 км/с — и резкая смена вертикального градиента скорости от 0,1—0,01 с⁻¹ в низах коры до 0,01—0,001 с⁻¹ в мантии.

Из региональных границ наиболее известны границы K_1 и K_2 . Граница K_1 (ее часто называют также границей А) во многих регионах выделяется на глубине 10—15 км, где образуются интенсивные обменные волны; скорость продольных волн в подстилающих ее породах 6,4—6,5 км/с. Еще более устойчива поверхность со скоростями продольных волн 6,8—7,0 км/с — граница K_2 ; она прослежена на глубине 25—30 км в пределах Русской, Западно-Сибирской и Сибирской платформенных плит.

Ни одна из промежуточных границ в коре не прослежена повсеместно и поэтому не может служить основой для выделения отдельных слоев. Но это не значит, что региональной расслоенности земной коры не существует. Она отчетливо проявляется в закономерном изменении физических свойств вещества коры с глубиной. Так, в земной коре платформ, помимо осадочного чехла, можно выделить еще три структурных этажа. Они различаются величинами скоростей, вертикального градиента скорости, степенью слоистости и микронеоднородности. Последнее различие вызвано не столько разным составом пород этих слоев, сколько разной степенью их разрушенности и метаморфизма.

Исходя из величин сейсмических скоростей, можно говорить о разном составе верхнего и промежуточного этажей и отдельного границей K_2 нижнего этажа земной коры: верхний и промежуточный этажи сложены в основном кислыми породами, нижний — основными и ультраосновными породами. Различие двух верхних этажей выражается во внутренней их структуре.

Для верхнего этажа характерна вертикально-слоистая структура и резкая дифференцированность отдельных блоков по составу и физическим параметрам. Значительный вертикальный градиент скорости в этом слое дает основание предположить, что с глубиной в нем увеличивается содержание метаморфических или основных пород.

³ Павленкова Н. И. Структура литосферы и задачи сейсмических исследований. — В сб.: Исследование Земли невязрывными источниками. М., 1981.

Промежуточный этаж земной коры мало отличается по скоростям сейсмических волн от верхнего. Но ряд особенностей заставляет выделить его как самостоятельную единицу в структуре коры. Замечено, например, что сейсмические границы в средней части коры становятся более пологими по сравнению с верхним этажом, где они в основном круто наклонены. Промежуточный этаж отличают прослои с пониженной скоростью сейсмических волн и более низким коэффициентом мутности. Результаты исследования потенциальных геофизических полей показали, что нижние крошки магнитоактивных и аномальных по плотности тел также располагаются внутри промежуточного этажа. Здесь же встречаются зоны с повышенной электропроводностью.

Все это дает основание считать промежуточный этаж тем ослабленным слоем, по которому возможны горизонтальные подвижки или течение вещества, стирающие субвертикальную расслоенность коры. Это предположение подтверждается и характером распределения очагов землетрясений. Отмечено, что не только в тектонически активных регионах, но и в таком районе, как Балтийский щит, землетрясения зарождаются лишь в верхнем 10—15-километровом слое земной коры, глубже которого вещество коры более пластично.

Чем же объясняется появление ослабленного слоя земной коры в платформенных регионах?

Изучая характер разрушения пород при увеличении нагрузки, В. Н. Николаевский пришел к выводу, что крупные разрывы в верхней части земной коры становятся более пологими с глубиной (это подтверждается и сейсмическими данными), и на глубине около 10 км они рассыпаются на систему мелких трещин, происходит, как говорят геофизики, «охрупчивание» пород⁴. Этим процессом можно объяснить появление слоев с пониженными скоростями сейсмических волн, которые часто отмечаются на уровне границы K_1 .

Большую роль в формировании промежуточного этажа играют ювенильные (глубинные) растворы. Вода способствует развитию процессов серпентинизации, что в свою очередь ведет к увеличению пластичности вещества, возрастанию его подвижности вдоль серпентинизированных про-

слоев. Этим можно объяснить появление субгоризонтальной тонкой расслоенности коры, так как процесс серпентинизации развивается при определенном давлении и температуре. Он-то и должен вести к образованию пологих прослоев в древней гетерогенной коре. Повышенная расслоенность промежуточного этажа является возможной причиной образования в его кровле устойчивых обменных волн, которые дали основание для выделения опорной границы K_1 .

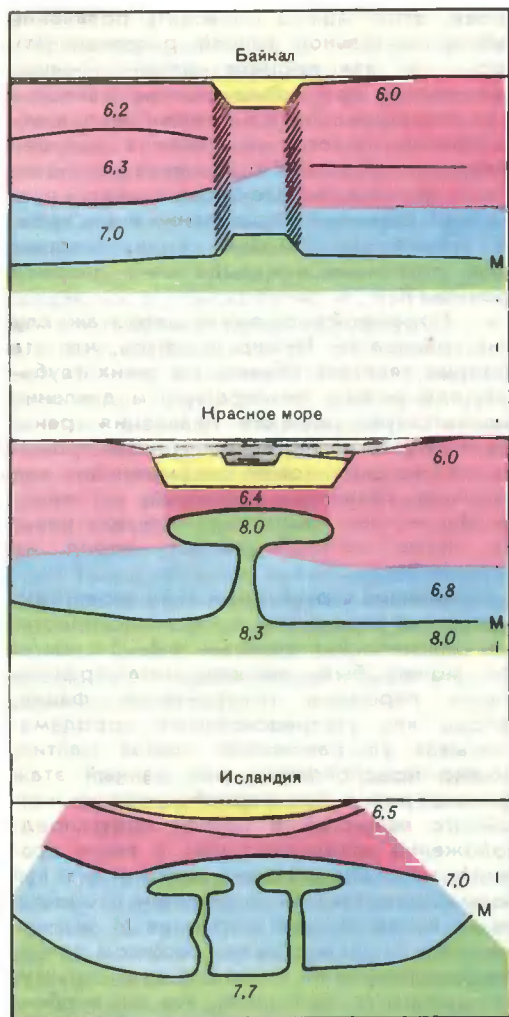
Подшовой промежуточного этажа служит граница K_2 . Нужно отметить, что эта граница залегает обычно на таких глубинах, где режим температуры и давления соответствует условиям плавления гранитов. Следовательно, нижнюю часть промежуточного слоя можно рассматривать как источник гранитных интрузий, а границу K_2 — как петрографическую границу, ниже которой кислых пород не должно быть.

Нижний структурный этаж характеризуется, как отмечалось, высокими скоростями сейсмических волн — 6,8—7,0 км/с. Он может быть сложен метаморфическими породами гранулитовой фации, габбро или ультраосновными породами. Учитывая ультраосновной состав мантии, можно предположить, что данный этаж является результатом преобразования мантийного вещества. В пользу этого предположения свидетельствуют и такие особенности нижнего структурного этажа, как большой вертикальный градиент скорости, резко возрастающий к границе M , выдержанная мощность слоя при сложном рельефе поверхности M , тонко-слоистая структура границы M . Возможно, все эти особенности связаны с процессом преобразования мантийного вещества, который протекает при определенной температуре и давлении. В случае изменения температурного режима процесс как бы смещается по глубине, что ведет к образованию в нижней части коры довольно мощной расслоенной переходной зоны. Залегаящая ниже этой зоны собственно мантия сложена ультраосновным веществом, в котором нет воды, отсутствуют процессы преобразования, полностью «залечены» трещины.

Таковы общие представления о сейсмической модели земной коры континентов. Замечу только, что она принципиальным образом отличается от модели океанической коры⁵. Кора океанов имеет неболь-

⁴ Николаевский В. Н. Трещиноватость и пластичность земной коры. — В сб.: Вопросы нелинейной геофизики. М., 1981.

⁵ Геофизика океанов, т. 1. Геофизика океанского дна. М., 1979.



Сейсмические разрывы через рифтовые системы. Большую роль в их формировании играет мантийный диапиризм, который может проявляться в подъеме границы Мохе под рифтом (Байкальский рифт, по Крылову С. В. и др.), в обособлении в коре тела с высокими скоростями сейсмических волн, характерными для мантии (рифтовая зона Красного моря, авторская интерпретация), или зон ослабленного состояния вещества с пониженными скоростями (по Звереву С. М., Павленковой Н. И.). Мощность коры на схеме составляет 30—40 км.

шую толщину (5—10 км) и высокие скорости сейсмических волн (6,4—6,6 км/с); слои со скоростями около 6 км/с, типичные для континентальной коры, здесь почти не встречаются.

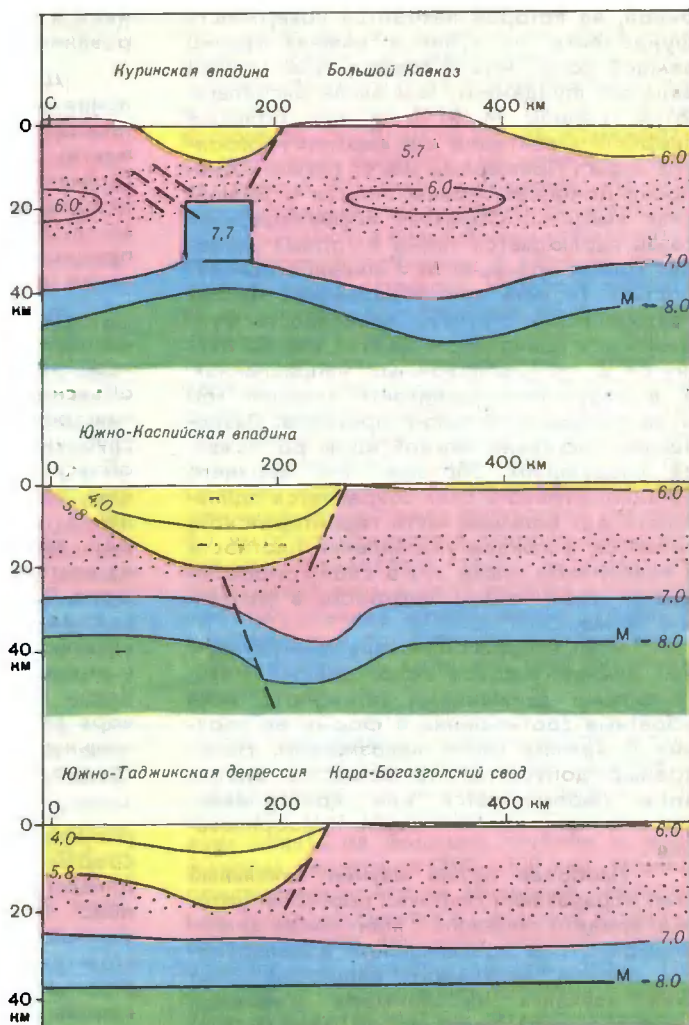
Между континентальным и океаническим типами коры существует ряд промежуточных видов. Они отличаются большой мощностью, сравнимой с мощностью континентальной коры (20—30 км), и высокими скоростями сейсмических волн (6,5—7,0 км/с), близкими к скоростям океанической коры. Если двигаться от континента к структурам промежуточного типа, скорость в коре в некоторых случаях будет увеличиваться постепенно (например, это наблюдается при перемещении от Шотландии с типичной континенталь-

ной корой к Шетландским о-вам и Фареро-Исландскому порогу с корой промежуточного типа)⁶. Сейчас трудно сказать, с чем связана эта изменчивость скоростного разреза: с изменением состава пород или со сменой степени их метаморфизма.

А вопрос этот принципиальный. Ответ на него позволил бы решить одну из наиболее актуальных проблем современной геодинамики: возникла океаническая кора за счет преобразования континентальной коры, как полагает В. В. Белоусов, или она возникла при раскрытии океанов, на чем

⁶ Зверев С. М., Косминская И. П. и др. Глубинное строение Исландии по комплексу геофизических данных. — В кн.: Исландия как срединно-океанический хребет. М., 1977.

Сейсмические разрезы по трем субмеридиональным профилям, пересекающим Большой Кавказ, Южно-Каспийскую и Южно-Таджикскую впадины (по Барановой Е. П., Краснопевцевой Г. Н., Юрову Ю. Г., Павленковой М. И.). Разрезы свидетельствуют о сложной замечательности структуры коры в районах, где соседствуют горные системы и внутренние моря. Горным поднятиям соответствуют прогибы на границе М и разуплотнения в средней части коры, а прогибу фундамента Куринской впадины — внедрение в кору мантийного материала. Структура Куринской впадины напоминает зародыш структуры земной коры внутренних морей (например, Черного моря). Два нижних разреза — редкие примеры некомпенсированных структур, в которых под глубокими впадинами нет подъема глубинных границ.



настаивают сторонники мобилизма, и в частности плитовой тектоники. Если рассматривать сейсмические скорости, земная кора переходного типа может быть сложена как кислыми образованиями, но метаморфизованными и пропитанными базальтами (подобно коре Сибирской платформы), так и основными океаническими породами, которые мы имеем в коре типичных океанических структур.

Решить этот вопрос можно только при помощи бурения в океанах, но несколько более глубокого, чем сейчас (не менее 3—4 км). Однако некоторые данные о преобразовании мощной земной коры с низкими скоростями сейсмических волн в тонкую кору, где скорости сейсмических волн высоки, можно получить, изу-

чая континентальные структуры, например глубокие заполненные осадками прогибы — седиментационные бассейны. Они представляют интерес не только с точки зрения истории образования океанических впадин, внутренних и окраинных морей, но и как вмещающие месторождения ряда важных полезных ископаемых, и в первую очередь нефти, газа, каменного угля, солей.

РАЗВИТИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ ГЛУБОКИХ СЕДИМЕНТАЦИОННЫХ БАССЕЙНОВ

Главной особенностью структуры земной коры глубоких прогибов является обратная корреляционная связь между глу-

биной, на которой находится поверхность фундамента, и глубиной нижних границ земной коры. Иначе говоря, чем глубже залегает фундамент, тем выше располагаются границы M и K_2 и тем большие скорости характерны для верхних горизонтов коры⁷. Примерами могут служить Днепровско-Донецкая, Прикаспийская и Виллюйская впадины. Обратная корреляционная связь наблюдается также в горных регионах между границей M и дневной поверхностью. То есть при образовании многих тектонических структур поверхность фундамента и поверхность мантии как бы движутся в противоположных направлениях, и в результате возникают «корни» гор и «антикорни» глубоких прогибов. Равновесное состояние земной коры достигается следующим образом: вес верхнего 50-километрового слоя сохраняется одинаковым для большей части территории континентов, а каждое уменьшение плотности в каком-либо этаже этого слоя сопровождается увеличением плотности в другом его этаже.

Ясно, что, рассматривая земную кору как единое жесткое тело, одними механическими движениями объяснить такие обратные соотношения в форме ее верхних и нижних слоев невозможно. Необходимо допустить, что вещество внутри коры перемещается или претерпевает сложные физико-химические преобразования⁸.

Наиболее полно изучен начальный этап образования глубоких прогибов, который принято связывать с мантийным диапиризмом (т. е. воздыманием к поверхности порций мантийного вещества). Этот этап изучался на примере рифтовых систем, в коре которых, по данным глубинного сейсмического зондирования, имеются участки с высокими скоростями сейсмических волн. Вполне допустимо, что и в процессе формирования платформенных прогибов типа Виллюйской и Прикаспийской впадин в земную кору постепенно внедрялось мантийное вещество, что сопровождалось преобразованием пород земной коры, общим их уплотне-

нием и сокращением мощности консолидированной части коры.

Данный процесс мог протекать медленно и при этом охватывать большие площади (такие как Западно-Сибирская плита), а мог концентрироваться на небольших участках и проходить интенсивно (например, глубоководные впадины Черного и Средиземного морей). Такой же процесс, возможно, сопровождал образование некоторых океанических впадин.

Таким образом, внедрением в кору мантийного вещества и подвижностью вещества промежуточного этажа можно объяснить смещение границ земной коры навстречу друг другу при образовании глубоких прогибов. Гораздо труднее найти объяснение обратному перераспределению вещества, когда в процессе уплотнения и метаморфизма осадочных пород, заполняющих эти прогибы, исчезли их «антикорни». Это хорошо видно на примере Донбасса или Тунгусской впадины — седиментационных бассейнов, земная кора которых мало отличается по мощности и структуре от коры платформенных плит. Каким образом и когда тонкая и плотная кора этих бассейнов превратилась в нормальную более толстую кору, сказать трудно.

Самой сложной структурой характеризуется кора тех областей, где горные сооружения соседствуют с глубокими впадинами (например, Альпийский складчатый пояс и Средиземноморье). Мощность земной коры изменяется здесь на небольшом расстоянии в два-три раза: она составляет около 10 км под впадинами морей и 50—60 км под горами. В таких сложных регионах иногда нарушается главная закономерность в структуре земной коры — ее уравновешенность. Примером может служить район Южного Каспия и соседней с ним Южно-Таджикской депрессии, где мощная низкоскоростная осадочная толща подстилается столь же мощной низкоскоростной корой.

В целом структуры земной коры свидетельствуют о значительной подвижности ее нижних границ. Они смещаются вверх при формировании прогибов фундамента, выравниваются в процессе «старения» этих прогибов и опускаются при образовании на их месте поднятий. Естественно, что эти смещения не являются чисто механическими — большую роль при этом, несомненно, играют процессы преобразования вещества земной коры и верхней мантии.

⁷ Павленкова Н. И., Косминская И. П. Скоростные модели коры основных геоструктур. — В кн.: Сейсмические модели литосферы основных геоструктур территории СССР. М., 1980.

⁸ Барсуков В. Л., Урусов В. С. Фазовые превращения в мантии Земли. — Природа, 1983, № 5, с. 11.

РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О СТРУКТУРЕ ВЕРХНЕЙ МАНТИИ

Верхней мантией называется оболочка Земли мощностью около 400 км, скорость сейсмических волн в которой изменяется от 7,8—8,2 до 8,6—9,0 км/с. Она отделена от нижней мантии мощным переходным слоем, где скорости изменяются от 9 до 11 км/с. Примерная глубина залегания этого слоя 400—700 км.

Прежде считали, что верхняя мантия однородна и смена ее свойств с глубиной связана с изменением давления и температуры. В общепринятой в начале этого века модели Джефриса — Буллена скорости сейсмических волн постепенно нарастали с глубиной. Но в выдвинутой почти в то же время модели Гутенберга в верхней мантии на глубине 50—250 км уже выделялся слой с пониженной скоростью, так называемый волновод. Сейсмические волны, отражаясь и преломляясь в кровле и подошве этого слоя, распределяются вдоль него. Модель с волноводом стала особенно популярной в последние десятилетия в связи с развитием концепции тектоники плит. Согласно этой концепции, жесткие литосферные плиты (земная кора и часть верхней мантии) перемещаются на большие расстояния. Для этих перемещений необходим ослабленный слой, характеризующийся повышенной пластичностью, — астеносфера. Именно с волноводом легче всего было связать астеносферный слой.

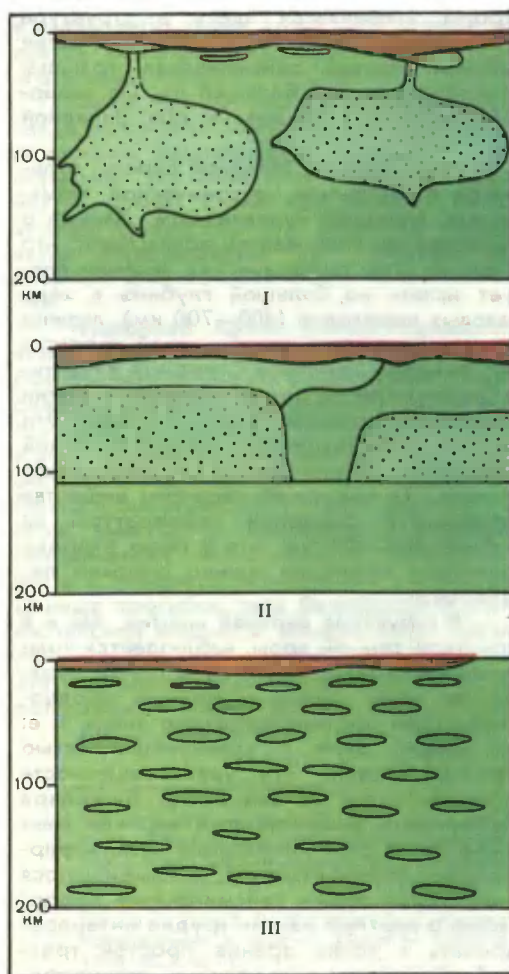
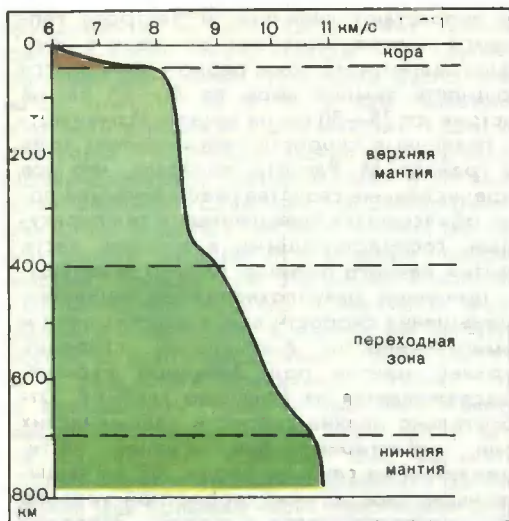
Детальные исследования последних лет, основанные на регистрации волн от крупных взрывов, показали существенную неоднородность верхней мантии как по горизонтали, так и по вертикали. Для многих регионов подтвердилось наличие слоев с пониженной скоростью, но были выделены и площади, где они отсутствуют. Кроме того, выявилась тонкая расслоенность верхней части мантии, которая обусловлена чередованием прослоев с повышенными (до 8,6 км/с) и пониженными (до 7,4 км/с) скоростями сейсмических волн. Все это породило множество новых моделей мантии.

Наиболее полно в настоящее время изучена верхняя мантия северной части Евразии. Установлены четкие различия в ее структуре между Западной Европой и остальной частью континента. Структурные планы сменяются по краю Восточно-Европейской платформы, по так называемой линии Тейссейра — Торнквиста. По этой линии существенно изменяются и все геофизические поля: в сторону Западной Евро-

пы возрастают величина и пестрота теплового потока, исчезают локальные аномалии магнитного поля, резко уменьшается мощность земной коры от 40—45 км на востоке до 25—30 км на западе. Изменяются граничные скорости сейсмических волн на границе М. Расчеты показали, что все перечисленные свойства геофизических полей объясняются повышенными температурами, господствующими в верхней части мантии данного региона. Они-то и являются причиной разуплотнения ее вещества, уменьшения скорости сейсмических волн и намагниченности. Аномальное строение верхней мантии под Западной Европой прослеживается на большую глубину. Относительно низкие скорости сейсмических волн, характерные для верхней части, сменяются на глубине около 300 км повышенными скоростями: скоростной уровень 8,7 км/с поднимается в сторону Западной Европы. Изменяется здесь и структура переходной зоны между верхней и нижней мантией; четкая сейсмическая граница, прослеженная под большей частью северной Евразии, не выделена под Западной Европой.

Южная часть Западной Европы отличается повышенной тектонической активностью, молодым вулканизмом. Данные о структуре верхней мантии показывают, что источник этих тектонических явлений следует искать на большой глубине в зоне фазовых переходов (400—700 км). Можно предположить, что на обширной территории Западной Европы и Северной Атлантики разогретое вещество верхней мантии поднялось к подошве земной коры. Это привело к уменьшению толщины земной коры и к тектонической активизации всего региона. За подъемом горячего вещества последовало снижение температуры на глубине 300—400 км, что в свою очередь привело к поднятию границ фазовых переходов.

В структуре верхней мантии, как и в структуре земной коры, наблюдается компенсация неоднородностей в самой верхней ее части более глубокими неоднородностями противоположного знака, т. е. мы имеем дело с уравновешенностью верхней мантии. Эта уравновешенность устанавливается, по-видимому, благодаря пластичности вещества всей верхней мантии, а не за счет некоторого астеносферного слоя. Нужно отметить, что имеющуюся в настоящее время сейсмическую информацию о верхней мантии трудно интерпретировать с точки зрения простой трехслойной модели: литосфера — астеносфе-



Эволюция представлений о структуре верхней мантии. Еще в начале века считали (верхний рисунок), что в связи с изменением режима температуры и давления свойства однородной по составу мантии меняются с глубиной, и на глубине 400—700 км выделяли зону фазовых переходов (модель Джеффриса — Буллена). Работы последних лет (нижний рисунок) дают основание считать, что слои с пониженными скоростями сейсмических волн существуют не повсеместно [I — модель А. С. Алексеева, В. З. Рыбого, 1979], что блоки с разными скоростями сейсмических волн могут располагаться вертикально [II — модель Г. Панзы для Альпийского региона, 1980 г.], что верхняя мантия может иметь тонкую расслоенность [III — модель К. Фукса, 1982 г.].

 Земная кора

Верхняя мантия:

 с пониженными скоростями

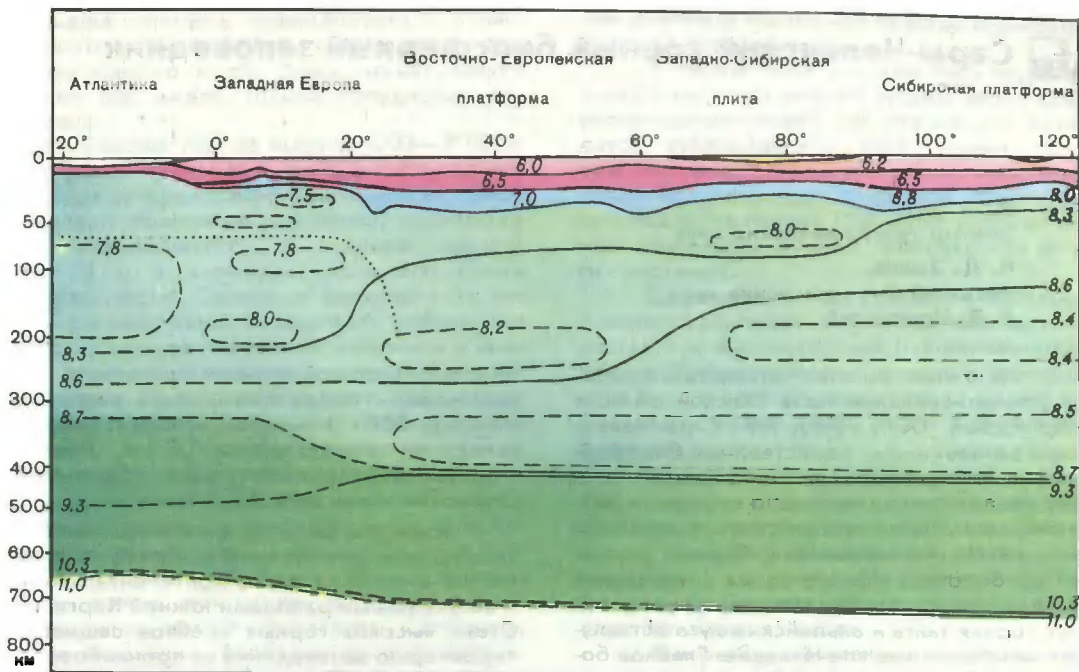
 с повышенными скоростями

 астеносфера

 Нижняя мантия

ра — подастеносферный слой. По последним данным, существует несколько слоев с пониженными скоростями; они, как правило, малы по мощности и разобщены между собой. Не всегда эти слои связаны с уровнем, где, по данным теплового потока, существуют условия, близкие к солидусу. На территории Западной Европы эти условия можно ожидать на глубине около 50 км, под древними плитами Евразии — на глубине 200 км. На этих глубинах действительно выделяются слои с пониженными скоростями, но они ничем не отличаются от волноводов на других глубинах, которые не менее выразительны с точки зрения падения скорости и имеют не меньшую мощность. Все это дает основание считать наиболее обоснованной многоастеносферную или расслоенную модель верхней мантии, состоящей из отдельных пластин с разными физическими свойствами.

Такая модель, так же как и описанная выше расслоенная земная кора, в большей степени соответствует характеру сложных тектонических движений, наблюдаемых на поверхности, чем модель жесткой ли-



Скоростной разрез верхней мантии северной части Евразии, составленный автором. На нем хорошо видна корреляционная связь структуры земной коры со структурой верхней мантии: меньшие скорости наблюдаются под молодыми плитами Западной Сибири и Западной Европы, где земная кора более тонкая. На больших глубинах (200—400 км) отмечается увеличение скорости к центру континента — к Сибирской платформе. Структура переходного слоя мантии (глубина 400—700 км) отражает существенную разницу между актианизированной частью Западной Европы и остальной частью Евразии. Четкая сейсмическая граница на глубине 400 км, прослеженная под большей частью континента, превращается под Западной Европой в широкую переходную зону. В этом же месте наблюдается резкое уменьшение мощности земной коры, увеличение мощности литосферы, увеличение теплового потока.

Осадчи

Структурные этапы консолидированной коры:

верхний

промежуточный

нижний

Мантия:

с пониженными скоростями

с повышенными скоростями

Подшва литосферы

тосферы, подстилаемой подвижной астеносферой. Многослойность верхних оболочек Земли позволяет объяснить наблюдаемую подвижность отдельных ее блоков, сочетание вертикальных и горизонтальных движений этих блоков, уравновешенность их на разных глубинах.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ЗЕМЛИ. Киев: Наукова думка, 1979.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИТОСФЕРЫ И АСТЕНОСФЕРЫ НА ДЛИННЫХ ПРОФИЛЯХ ГСЗ. М.: Наука, 1979.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЛИТОСФЕРЫ ОСНОВНЫХ ГЕОСТРУКТУР ТЕРРИТОРИИ СССР. М.: Наука, 1980.

ТЕКТОНОСФЕРА ЗЕМЛИ. М.: Наука, 1978.



Сары-Челекский горный биосферный заповедник

В. М. Чупахин,
доктор географических наук

К. Д. Зыков,
кандидат биологических наук

В. В. Криницкий

Москва

На южных склонах Чаткальского хребта (северо-западная часть Ошской области Киргизской ССР) находится Сары-Челекский заповедник — единственный биосферный заповедник в горах Средней Азии. Его ландшафты удивительно красивы и разнообразны. Предгорные степи и хребты с заснеженными вершинами, бурные реки и тихие болотца, горные озера с пестрыми скалами на крутых берегах, цветущие долины, горная тайга и альпийские луга оставляют незабываемое впечатление. Главное богатство этих мест — ореховые и плодовые леса. Для их охраны, а также для изучения уникального сочетания природных ландшафтов, их растительного и животного мира в 1959 г. и был создан Сары-Челекский заповедник, который в 1978 г. получил статус биосферного.

Небольшую территорию заповедника (23,9 тыс. га) с севера ограничивают горные цепи Чаткальского хребта с некоторыми вершинами, достигающими высоты более 4000 м над ур. м. Хребты и разделяющие их межгорные впадины тянутся в юго-западном направлении почти параллельно друг другу. Рельеф среднегорья сложен, но и здесь встречаются крутые гребни, пикообразные вершины и узкие ущелья. Нижняя часть горного массива (от 1200 м над ур. м.) — это полоса невысоких холмистых предгорий, пересеченных оврагами и долинами.

Начинаясь у западных границ заповедника, почти по всей его территории мчится бурная Ходжа-Ата, в некоторых местах образуя живописнейшие каскады водопадов. Руслу ее многочисленных небольших притоков протяженностью в 12—15 км лежат на дне глубоких сумрачных ущелий. В северной части заповедника на высоте 1940 м над ур. м. раскинулась синяя гладь Сары-Челекского озера. К юго-востоку от него находятся еще несколько небольших озер: Кыла-Коль, Ири-Коль, Чоча-Коль и Круглое. Все озера — результат древних

обвалов, плотинами перекрывших реку. Сары-Челек — самое большое из озер (его площадь 507 га) — протянулось с северо-запада на юго-восток на 7,5 км. Хребты с пестрыми скалами окружают озеро и отражаются в его спокойных заливах.

Климат в Сары-Челекском заповеднике относительно влажный и мягкий по сравнению с другими резко континентальными и засушливыми районами южной Киргизии. Стена высоких горных хребтов защищает территорию заповедника от проникновения холодного воздуха с севера, и в зимнее время здесь сохраняется более высокая температура, чем в долинах. Летом же, наоборот, из-за высотного положения заповедника воздух там прогревается в среднем на 10° меньше.

На большей части территории заповедника зима умеренно холодная, со средней температурой января —3°C. Снега обычно выпадает немного (мощность его покрова не более 20 см), и только в нижнем поясе гор (до 2000 м над ур. м.), покрытых реликтовыми лесами грецкого ореха и дикой яблони, зима бывает многоснежной: под тяжестью выпавшего снега нередко обламываются ветви, а случается, падают даже деревья. Климат альпийского пояса суров; продолжительной зимой часты метели, после которых с гор обрушиваются снежные лавины.

Весна и осень хотя и дождливые, но теплые периоды в заповеднике. В летнее время влажность воздуха никогда не бывает ниже 50%, но дождей выпадает очень мало и трава почти полностью высыхает. Средняя температура летних месяцев невысока — 20—21°C.

Такие климатические условия — умеренная температура, обилие осадков (их годовая сумма составляет 800—1000 мм) и повышенная влажность воздуха — благоприятны для многих теплолюбивых пород деревьев и кустарников. Разнообразие

рельефа, климата, освещенности и почвы являются основой богатства и пестроты растительного мира. Здесь насчитывается более 800 видов только сосудистых растений.

Склоны гор на высоте 1200—2100 м над ур. м. покрывают горные листопадные леса, из которых наибольший интерес представляют обширные орешники, состоящие из светолюбивого, с мощной кроной (до 12 м в диаметре), грецкого ореха (*Juglans regia*). Основные массивы этих лесов расположены в ущельях, небольшие участки ореховых лесов встречаются у южных границ заповедника и в припойменной части рек. Высокая сомкнутость крон ореха препятствует развитию подлеска и травянистого яруса, потому лишь отдельными экземплярами в орешниках попадают алыча (*Prunus sogdiana*) и жимолость, а из трав господствует коротконожка (*Brachypodium silvaticum*). Встречается грецкий орех и в лесах из яблони, груши, тополя, арчи, пихты, ели и др. В редкостойных орешниках растут бересклет Семенова, роза Федченко, барбарис продолговатый, кизильник мелкоцветковый и многие другие, часто образуя непроходимые джунгли.

Арчовники (из *Juniperus turkestanica*, *J. seravschanica*, *J. semiglobosa*) начинаются от самых южных границ заповедника, а отдельные экземпляры доходят до альпийского пояса, но здесь из-за суровых условий арча приобретает своеобразную форму стланника.

На высоте 2200 м над ур. м. начинается горная тайга. Здесь совместно с основной породой — елью Шренка (*Picea schrenkiana*) — в некоторых ущельях и по склонам гор растут пихта (*Abies semenovii*), клен (*Acer turkestanicum*), арча, береза (*Betula procurva*), а под пологом леса — кустарники (спирей, абелия, смородина и др.).

Кустарники местами образуют и сплошные заросли, в которых преобладает экзехорда (*Exochorda tianschanica*). Это эндемичное светолюбивое растение Средней Азии, с сильно ветвящимся сероватым стеблем, достигающим 4 м, встречается на высоте 1400—2000 м над ур. м., а иногда и выше (2400 м). На территории заповедника растут 13 видов шиповника; в районе оз. Сары-Челек и в пойме р. Ходжа-Ата распространены ивняки (из 17 видов ив 3 древовидные, остальные — кустарники).

В горных степях заповедника чаще всего преобладает один вид растений, например бородач кровоостанавливающий (*Andropogon ischaemum*), эремурус загор-

лый (*Eremurus fuscus*) или прангос кормовой (*Prangos pabularia*).

В лесной зоне массивы леса перемежаются высокотравными лугами. Выше древесно-кустарниковой растительности находятся субальпийские луга. Удивительно красивы такие луга во время цветения трав, когда издали виден сплошной одноцветный ковер из герани (*Geranium ferganense*) или купальницы (*Trollius altaicus*), или других растений.

Еще выше, между скалами и осыпями, находятся альпийские луга, где чаще других растет лук высокогорный (*Allium oerophyloides*). Флора многочисленных в заповеднике скал и осыпей относительно бедна, но и здесь более 130 видов цветковых растений.

Вдоль берегов озер развита влаголюбивая растительность: илистые отмели оз. Сары-Челек покрыты небольшими зарослями гречиш земноводной (*Polygonum amphibium*), тростника (*Phragmites australis*); на влажных берегах озер встречается мята (*Mentha arvensis*) и др.

Флора Сары-Челекского заповедника богата и разнообразна, есть здесь и много ценных растений: кормовых — 180 видов, декоративных — 56, медоносных — 57, пищевых — 32, эфирноносных — 26 видов. Свойства многих растений еще не изучены, и это предстоит сделать сотрудникам заповедника.

Богат и животный мир: 42 вида млекопитающих, 159 — птиц, 5 — пресмыкающихся, 2 — земноводных и 5 видов рыб обитают на территории Сары-Челекского заповедника. Среди яблоневых деревьев, на кустах боярышника, алычи или барбариса живет лесная соя, в кустарниковых джунглях охотится мелкий ловкий хищник — ласка, на всей территории заповедника вплоть до среднегорья можно встретить косулю. В ореховых и плодовых лесах много кабанов, которые в периоды высокой численности (общее поголовье составляют животные, искони обитающие на территории заповедника и мигрировавшие с прилегающих участков, где разрешена охота) наносят вред уникальной растительности заповедника. Такая ситуация складывается и на других небольших заповедных территориях. Чтобы предотвратить ущерб, который могут нанести неестественно сложившиеся популяции отдельных видов животных, очевидно, следует регулировать их численность, а на смежных с заповедником территориях активно применять биотехнические приемы — посадку кормовых растений, отлов животных для переселения и т. п.



Ели спускаются к самой воде.

В нижнем поясе горы покрыты сплошной растительностью.

Заросли мелких кустарников у подножия скалы.







Склоны гор с арчой.

В заповеднике водится барсук, который в зарослях кустарников (таволги, шиповника, караганы, ивы, жимолости и др.) отыскивает ягоды, корневища, грибы или ловит ящериц, лягушек, червей. Только ночью в поисках пищи выходит из норы дикобраз. Летом он питается травами, корнями, плодами, а зимой побегами деревьев и кустарников.

Есть в Сары-Челекском заповеднике и ставшие большой редкостью звери, выследить которых — редчайшая и счастливая удача для зоолога. Таковы когда-то многочисленные козероги. Эти типичные жители скального высокогорья кочуют на ограниченных территориях. Среди скал они устраиваются на дневной отдых и на ночлег; в самых укромных уголках скальных лабиринтов весной (в мае) самки приносят одного-двух детенышей. И только в многоснежные зимы, когда трудно добыть корм из-под снега, козероги спускаются вниз и доходят до еловых лесов.

На высокогорных плато в лугах, поросших полынью, овсягом или типчаком, теперь лишь очень редко можно полюбоваться горными баранами — архарами. Сильный и выносливый самец с гордо запрокинутой головой, увенчанной толстыми тяжелыми рогами, обычно шагает впереди стада. Часто останавливаясь, он принимает прислушивающуюся позу при малейшей опасности издавая своеобразный свистящий

звук, и все стадо вмиг исчезает из поля зрения. Сейчас этих животных чрезвычайно мало, поголовье их сократилось как из-за браконьерства, так и под влиянием отгонного животноводства, которое практиковалось на территории, ставшей заповедной немногим более 20 лет назад.

В альпийском поясе Чаткальского хребта обитает редчайший зверь — снежный барс, или ирбис. Этот сильный хищник чрезвычайно осторожен; среди скал, осыпей и камней его следы отыскать трудно, а остатки своей излюбленной пищи — козрогов, архаров — зверь оставляет вдали от логова. Как все кошки, снежный барс очень ловок: при опасности или в погоне за добычей он совершает прыжки в 8—10 м длиной, хорошо лазает по деревьям.

Тяньшанский бурый, или белокоготный, медведь сейчас находится под угрозой исчезновения. Лишь несколько особей обитают в глухих горных лесах Чаткальского хребта. Этот зверь совершает сезонные кочевки: от зарослей яблонь, арчи, ореха, боярышника, в которых питается плодами, до альпийского пояса, где добывает грызунов.

Архары, козероги, медведь и снежный барс внесены в «Красную книгу СССР», барс значится, кроме того, и в списках «Красной книги Международного союза охраны природы». Некоторые птицы тоже находятся в числе видов «Красной книги»: змееяд, гнездящийся в предгорьях Чаткальского хребта, и балобан. Этот дневной хищник тоже стал редким, поскольку из-

давна его использовали для соколиной охоты, отлавливая взрослых птиц или выбирая из гнезд птенцов.

В заповеднике много обычных лесных птиц — постоянных обитателей Юго-Западного Тянь-Шаня — и пролетных. На озерах обычны кряква, чирок-свистунок, красноголовый нырок, лысуха, серая цапля и др.

Сары-Челекский заповедник с его своеобразными и сложными ландшафтами, обилием реликтовых биогеоценозов представляет большую ценность как научная лаборатория в природе. В первое десятилетие после организации заповедника была проведена инвентаризация фауны и флоры, описаны типы растительности. Зоологи занимались акклиматизацией некоторых животных: были сделаны попытки поселить в заповеднике лань, европейского оленя, зубра. И хотя эксперимент был удачным, оказалось, что зубры в биоценозах заповедника нежелательны, так как уничтожают молодую поросль грецкого ореха. Сейчас, к сожалению, объем научных исследований в заповеднике очень мал, несмотря на то что работы для ученых разных специальностей непочатый край.

В заповеднике есть интереснейшие деревья, своего рода растительные долгожители. Такова арча туркестанская, для которой возраст в 2000 лет — не редкость. Очевидно, в этих деревьях сохранились следы земных и астрофизических явлений прошедших времен, и выявление и изучение таких долгожителей может дать много ценных сведений по истории и условиям формирования растительности Тянь-Шаня. Главной же задачей научных исследований представляется разработка основ воспроизводства и сохранения биологических ресурсов горных районов Средней Азии, моделью которых является Сары-Челекский заповедник.

В горах Средней Азии растет численность постоянного населения, увеличивается нагрузка на природные ландшафты в связи с развитием горнодобывающей промышленности, гидромелиоративных преобразований, интенсификации горного земледелия и животноводства. Все это приводит к перегрузке субальпийских и альпийских пастбищ, развитию пастбищной эрозии и деградации почвенного покрова.

Опустынивание горных ландшафтов в значительной мере связано с неправильным использованием леса. Так, уничтожение ореховых и плодовых лесов за последнее столетие на площади около 10 млн га привело к превращению покрытых ранее

лесными зарослями склонов Памиро-Алая, Тянь-Шаня и Копет-Дага в сухие степи, к эрозии и нарушению перемещения органического вещества в почве. Качественные и количественные проявления нежелательных и даже вредных изменений в высотнo-зональных геосистемах являются результатом антропогенной перестройки структуры естественных ландшафтов. Если подобные перестройки осуществляются без достаточного знания естественного хода развития и динамики горных ландшафтов, их устойчивости к антропогенным нагрузкам, их емкостей и предельных возможностей, это приводит к нарушению ландшафтно-экологического равновесия и нормального функционирования любой высотнo-зональной геосистемы.

Заповедники, и в том числе Сары-Челекский, являясь эталонами нормально функционирующих экосистем, позволяют отличить явления естественного ряда изменений биогеоценозов от тех, которые вызваны прямым или косвенным воздействием человека. А это дает возможность совершенствовать систему природопользования. В отдельных случаях примеры антропогенных преобразований на территории самого заповедника могут дать полезный материал для рационального планирования хозяйства в других горных районах. Об одном из них мы упоминали, касаясь акклиматизации зубра. Второй пример имеет отношение к строительству. На исключительно привлекательное озеро, давшее название заповеднику, проложена дорога, а на берегу размещены строения для посетителей. Конечно, это нарушение режима заповедности будет устранено, но главная беда не только в этом: прокладка дороги была спланирована неудачно и в результате в лесных массивах, по которым проходит трасса, развивается линейная и плоскостная эрозия.

Тянь-Шань — молодая по геологическому возрасту система, в которой и сейчас продолжают процессы горообразования. Как мгновенно действующие процессы, вызывающие стихийные бедствия (землетрясения, селевые потоки, снежные лавины и др.), так и длительные процессы, неносящие стихийного характера (эрозионные, криогенные, гляциальные), изменяют биогеоценозы, разрушают горные породы, часто уничтожают почвенный покров. При такой ранимости природных ресурсов горных систем надо вести борьбу с эрозией почв, регулируя поверхностный сток, и рационально, с учетом свойств и закономерностей развития природных условий, стро-





Птенцы ушастой совы.

Ласка в летнем наряде.



Балобан — редкая птица Тянь-Шаня, занесенная в «Красную книгу СССР».

Барсук.

Реликтовый суслик.

Лесная соя.

ить хозяйство. Пока же многие отрицательные процессы в горах протекают, увы, при непосредственном содействии человека.

Любые изменения экосистем в заповеднике — и естественные, и антропогенные — сейчас регистрируются в «Летописи природы», так же как и ход «самоизлечения» ландшафтов. И это очень важно, поскольку без таких знаний нельзя поддерживать природное равновесие в горных системах. Изучение вопросов, связанных с устойчивостью горных биогеоценозов, и должно быть налажено в Сары-Челекском заповеднике. Сейчас делаются лишь первые шаги.

ИССЛЕДОВАНИЯ В. А. ОБРУЧЕВА В АЗИИ

В октябре 1983 г. исполнилось 120 лет со дня рождения выдающегося геолога и географа Владимира Афанасьевича Обручева. Вся долгая и исключительно плодотворная жизнь Обручева, отличавшегося феноменальной работоспособностью, внутренней дисциплинированностью, необычайной страстью исследователя, была настоящим трудовым подвигом. Он впервые провел геологическую съемку на огромных территориях, положил на карты тысячи километров нехоженных дорог, разработал десятки теоретических и практических научных проблем. Многие из его разработок не потеряли значение и в наши дни. Его перу принадлежат свыше тысячи оригинальных научных трудов в различных областях геологии, географии и горного дела, научно-популярные книги и статьи, романы и повести. В. А. Обручев воспитал целую плеяду геологов и географов.

Долгие годы Обручев был связан с нашим журналом, где опубликовал десятки статей, рефератов, рецензий. В этом номере мы знакомим читателей с некоторыми идеями В. А. Обручева о тектонике Азии, активно развиваемыми в современной науке, а также с письмами Обручева известному русскому географу и этнографу Г. Н. Потанину, написанными во время первого путешествия Обручева в Монголию и Китай в 1892—1893 гг. Письма публикуются впервые.

Современные проблемы тектоники Азии в свете идей В. А. Обручева

М. С. Нагибина,
доктор геолого-минералогических наук
Геологический институт АН СССР
Москва

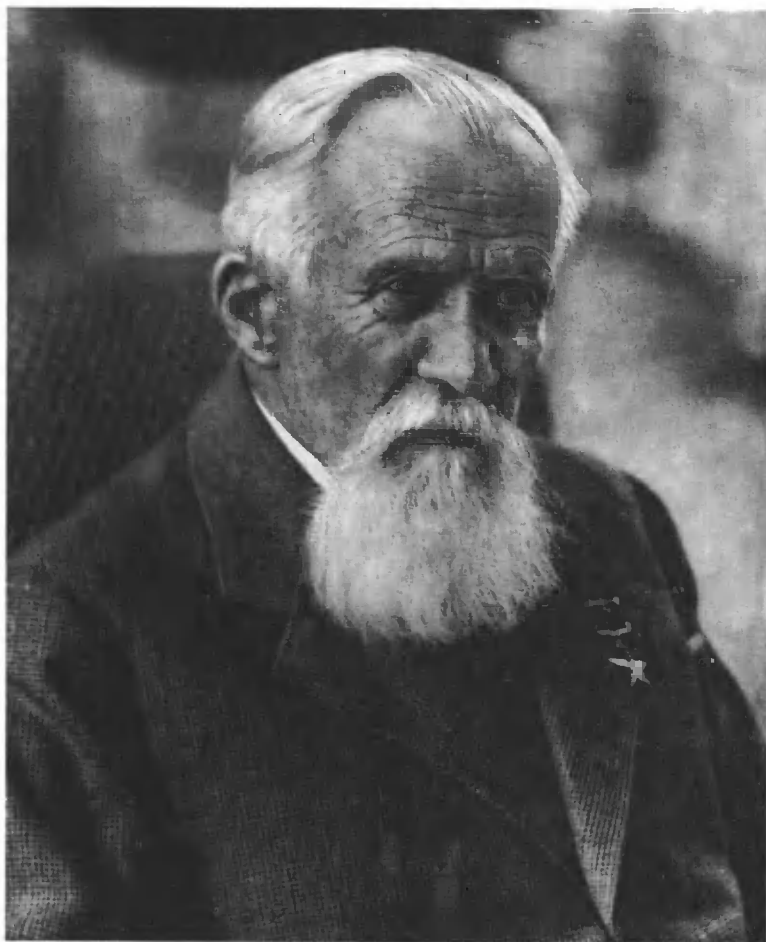
Научное наследие замечательного естествоиспытателя Владимира Афанасьевича Обручева столь велико и интересно, что к его анализу неоднократно обращались и еще будут обращаться советские ученые. В течение всей своей жизни Обручев занимался проблемами геологии и географии крупнейшего в мире континента — Азии. В автобиографии, опубликованной ученым в 1946 г.¹, он отмечает пять наиболее интересовавших его научных вопросов: происхождение лёсса; древнее оледенение Сибири и Центральной Азии; тектоника вообще и Сибири в частности; геология месторождений золота; древняя темя Азии. Обручев внес существенный вклад в разработку каждого из этих вопросов. Однако сейчас мы остановимся лишь на некоторых

проблемах тектоники Азии, впервые поставленных в трудах Обручева, важных в научном и практическом отношении и получивших дальнейшее развитие в современной геологии.

Речь пойдет о молодых движениях земной коры и о неотектонике, положения которой впервые сформулировал Обручев; его крупных обобщениях в области региональной тектоники Сибири и Азии, и в частности представлении о «древнем темени Азии»; пульсационной гипотезе тектогенеза, активно разрабатываемой некоторыми советскими геологами в последние годы; о ряде представлений В. А. Обручева об особенностях размещения полезных ископаемых и их поиске.

Уже в первые годы работы Обручева в Сибири, куда он в 1888 г. был послан в качестве геолога Иркутского горного управления (заметим, что это была первая штатная должность геолога в Сибири),

¹ Обручев В. А. Страницы из моей жизни. — Изв. Геогр. о-ва СССР, 1946, т. 78, вып. 3, с. 251.



ВЛАДИМИР АФАНАСЬЕВИЧ ОБРУЧЕВ
28.IX[10.X]1863—19.VI 1956.

Уважаемая Марина Сергеевна!

Вместо шаблонной надписи, на добрую память и пр. к этому портрету, который Вы приобрели, тогда когда вспоминали об исследованиях (Самаркандской Даурии, восточные походы тому же), я предпочел обратиться Ваше внимание на несколько вопросов по стратиграфии и тектонике уральской свиты Забайкалья, которыми Вы уже усердно занимались и можете помочь их окончательному решению своими исследованиями. Вопросы написаны на обороте.

С приветом и пожеланиями полного успеха *В. А. Обручев*

Москва, 12 августа, 1948.

Надпись, сделанная Обручевым под его портретом.



Космический снимок южной части западного берега Байкала. В левой части фотографии хорошо виден Обручевский сброс.

ученый пришел к новым выводам относительно геологии этого края. В этот ранний период исследований в Азии Обручев проявил себя как великолепный полевой геолог, тщательно и точно вел наблюдения, а затем всегда до конца доводил их обработку. Его зоркий взгляд пытливого исследователя позволял подмечать черты строения лика Земли, менявшие ранее существовавшие представления о происхождении тех или иных структур, и в частности гигантских впадин типа Байкальского озера.

Существовало мнение предшественника Обручева И. Д. Черского, ранее изучавшего окрестности Байкала, о постепенном образовании его впадины. Черский считал, что располагавшаяся на месте Байкала палеозойская синклиальная складка при размыве ее реками превратилась в современную впадину. В 1890 г., работая в Прибайкалье и наблюдая Байкал с высоты Приморского хребта, Обручев пришел к очень важному заключению о сравнительно недавнем (25—30 млн лет) грабенно-провальном происхождении Байкала по разломам и сбросам, возникшим в земной коре при ее растяжении. До этого на месте Байкала и соседних горных хребтов, по мнению Обручева, расстилалась обширная равнина,



Тектоническая карта южной части западного берега оз. Байкал, составленная на основе дешифрирования снимков из космоса. Показаны разломы разных категорий; хорошо видно блоково-глыбовое строение района.

образовавшаяся при размыве и выравнивании древних складчатых гор. Таким образом, Обручев заключил, что в происхождении байкальской впадины главную роль сыграли новейшие глыбовые движения в коре. В дальнейшем, изучая соседние районы Тункинской долины, горы Алтая, Обручев еще раз убедился в сбросовом происхождении впадин и хребтов типа байкальских. Внимательно исследуя геоморфоло-

гию горных систем Сибири и Центральной Азии, Обручев пришел к выводу, что описанные явления имеют не местное значение, а распространены весьма широко. Таким образом, у Обручева сложилось представление, что складчатые горы, однажды возникнув, не превращаются в неподвижные мертвые структуры, а продолжают жить и возрождаться под действием молодых, «юных», по терминологии ученого, тектонических движений. В своей статье «Юные движения на древнем темени Азии», опубликованной в «Природе» в 1922 г. (№ 8—9), Обручев подчеркивает огромное значение разломных (дизъюнктивных) дислокаций в формировании современного рельефа Азии, отмечая, что к это-

му выводу он пришел еще в 90-х годах прошлого века и еще раз убедился в нем после исследований в юго-западном Забайкалье в 1914 г.

Юные движения, по его мнению, ярче всего проявились именно в образовании Байкальской впадины по системе сбросов. Один из них, которым образован западный берег Малого моря Байкала, в дальнейшем получил название Обручевского и в настоящее время нанесен на все геологические карты. Этот сброс великолепно виден на космических снимках.

Современные исследования полностью подтвердили идеи Обручева относительно грабенного происхождения впадин типа байкальской. Правда, сегодня для их характеристики используется другой термин — «рифт». Байкальский рифт уже второе десятилетие привлекает самое пристальное внимание геологов. Проведено подводное исследование его рельефа², сейсмопрофилирование. Эти работы позволили установить на дне озера и под осадочным чехлом целую систему ступенчатых сбросов, образовавшихся при растяжении коры. Такие же сбросы обнаружены и в горах, обрамляющих озеро. Советским геологам (В. В. Ломакину, Н. А. Флоренсову, Н. А. Логачеву и др.) удалось установить стадии развития Байкальской рифтовой структуры.

Интерес к рифтам особенно возрос после открытия в 50-х годах глобальной системы срединно-океанических хребтов, осевые части которых рассекаются глубокими продольными впадинами. Геофизические поля и морфология океанских впадин подобны этим характеристикам впадин континентов, и в частности Байкальского рифта. В настоящее время существует обширная литература по проблемам генезиса континентальных рифтов.¹

В 1948 г. Обручев на специальном заседании Московского общества испытателей природы предложил новый термин «неотектоника» для обозначения раздела науки, занимающейся исследованиями самых молодых движений коры разных типов, происходивших не ранее неогена (25 млн лет и менее). Этот термин в настоящее время широко используется. Значение же изучения молодых тектонических движений по мере накопления новых данных становится все более важным. Оно не только помогает расшифровать историю развития

рельефа, накопления осадочных толщ, что необходимо для поиска полезных ископаемых (особенно расспынных), термальных источников и т. п., но и дает возможность предостеречь многие нежелательные последствия молодых тектонических движений, которые могут возникнуть при строительстве и освоении новых территорий, — землетрясения, оползни и обвалы, обмеление одних участков водоемов и затопление других.

Идеи Обручева о постоянном возобновлении тектонических движений относятся не только к последнему этапу геологической истории, но и к более ранним эпохам — мезозою и палеозою. Так, работая в Селенгинской Даурии, а затем и в других районах Центральной Азии, ученый выделил мезозойский этап активизации тектонических движений глыбового характера, а в Алтае, Забайкалье несколько этапов — в позднем палеозое, в мезозое и в новейшее время. Эти мысли Обручева о возрождении тектоники в пределах древних континентальных структур (континентальных плит, по современной терминологии), в которых геосинклинальное развитие и образование жесткой гранитной коры завершилось в ранние этапы геологической истории Земли, популярны в настоящее время и развиваются в работах многих советских геологов. Проблема тектоники активизированных областей была посвящена специальная сессия Научного совета по тектонике Сибири и Дальнего Востока, проведенная в сентябре 1982 г.

В течение долгих лет Обручев развивал свою идею о существовании «древнего темени Азии», выдвинутую им еще в первые годы исследований в Сибири. По его мнению, в Прибайкалье, на Байкальском нагорье и на части Северной Монголии в древнеархейское время (более 2 млрд лет назад) сформировался массив (цоколь), который в ходе геологической истории постепенно увеличивался, обрастая складчатыми системами Саян, Алтая, Селенгинской Даурии и др. Эта идея Обручева неоднократно обсуждалась и подвергалась критике, однако он бережно и любовно оберегал ее, видоизменяя и дополняя под влиянием новых геологических материалов. Впоследствии он пришел к выводу об изменении древнего темени Азии глыбово-складчатыми мезозойскими и кайнозойскими (неотектоническими) движениями коры, раскалывающими древние структуры и приводящими к образованию разломов, грабенов и горстов, т. е. тех структур, о которых мы уже рассказывали.

² Монин А. С., Мирлин Е. Г. Изучение дна Байкала с помощью подводных аппаратов. — Природа, 1978, № 10, с. 58.

К 30-м годам относятся весьма бурные дискуссии Обручева и признанного знатока геологии Сибири М. М. Тетяева по поводу мезозойской тектоники Забайкалья, происходившие в Москве. Мне приходилось на них присутствовать. В. А. Обручев считал, что характер тектоники этого региона глыбово-складчатый. Тетяев же полагал, что основа многих структур — горизонтальные пологие надрывы (шарьяжи), переместившиеся в Забайкалье из Гималаев через две китайские платформы и Монголию. Наибольший спор вызвало происхождение угольных месторождений. По мнению Тетяева, они представляли собой широкие залежи, вскрытые лишь в «окнах», выступающих из-под шарьяжных покровов. Обручев же полагал, что мезозойские угольные бассейны Забайкалья формировались в изолированных грабенах после раскола древних структур. Впоследствии были получены детальные геологические материалы, полностью подтверждающие мнение Обручева, и Тетяев от своей точки зрения отказался.

Идея Обручева о древнем темени Азии в самые последние годы была подкреплена новыми геологическими данными. На тектонической карте Северной Евразии, составленной в 1979 г. в Геологическом институте АН СССР под руководством А. В. Пейве по принципу времени формирования коры, древний цоколь Азии сильно расширился по сравнению с обручевским и простирается от Байкальского нагорья до Чукотки. К югу от Байкала выходы древних кристаллических пород — обломки древнего темени — сохранились в виде многочисленных микроконтинентов разной величины, местами довольно крупных, охватывающих, например, всю Центральную Монголию.

В 1940 г., анализируя историю геологического развития Земли, Обручев сформулировал новую пульсационную гипотезу геотектоники, объясняющую все движения земной коры и сопровождающую их магматическую деятельность процессами сжатия и расширения, происходящими в недрах планеты. По мнению Обручева, «фазы сжатия и расширения чередуются друг с другом и представляют пульсации, сравнимые с движением живого сердца»³. В фазы расширения Земли Обручев допускал «перемещение континентальных масс на поверхности» вместе со

«смещением цоколей материка относительно земного ядра». И хотя размеры таких перемещений Обручев не считал столь большими, как принято у «крайних» мобилистов, можно полагать, что их идеи в чем-то схожи.

В последние годы наблюдается определенный интерес к пульсационной гипотезе тектогенеза, развиваемой, например, советским геологом Е. Е. Милановским⁴. Другой геолог и геофизик П. Н. Кропоткин в докладе на Всесоюзном техническом совещании в 1983 г. для объяснения механизма значительных горизонтальных перемещений плит привлек энергетический эффект, возникающий из-за переменных изменений радиуса Земли и смены периодов сжатия и растяжения коры. Такое представление, как отметил Кропоткин, хорошо согласуется с положениями предложенной в 1940 г. пульсационной гипотезы Обручева.

Занимаясь самыми разными вопросами геологии, Обручев считал геологические исследования недостаточно исчерпывающими, если в них не было выводов относительно размещения полезных ископаемых, всегда пытался сделать такие выводы в своих работах и настойчиво рекомендовал делать это другим геологам в своих рецензиях и заключениях. Вопросы практической геологии занимали большое место в его творчестве. Он изучил закономерности распространения многих полезных ископаемых, и в том числе сибирского золота, принимал участие в экспертизах месторождений, составлял сводки по отдельным районам. Обручеву принадлежит ряд широко известных среди геологов трудов: «Металлогенетические эпохи и области в Сибири», «Месторождения железных и марганцевых руд Сибири и их промышленное значение», многочисленные сводки по золоту Сибири, двухтомная монография-учебник «Рудные месторождения».

Обручеву, благодаря его знаниям и опыту, удалось сделать немало удачных научных прогнозов. Так, в 1926 г., проводя экспертизу Садонского полиметаллического месторождения на Северном Кавказе, он доказал, что запасы рудника еще достаточно велики, в то время как другие геологи предлагали его закрыть. Рудник работает и ныне. Во время Великой Отечественной войны, будучи академиком-секретарем Отделения геолого-геофизических наук

³ Обручев В. А. Пульсационная гипотеза геотектоники — Изв. АН СССР, сер. геол., 1940, № 2, с. 2—30.

⁴ Милановский Е. Е. Расширяющаяся и пульсирующая Земля. — Природа, 1982, № 8, с. 46.

АН СССР, Владимир Афанасьевич энергично включился в работу по мобилизации природных ресурсов Урала, Западной Сибири и Казахстана на нужды обороны. На основании данных о геологическом строении и палеографии восточного склона Урала, Обручев утверждал, что в этом районе достаточно запасов железных, марганцевых и алюминиевых руд, чтобы обеспечить сырьем заводы черной и цветной металлургии. Эти прогнозы, как известно, оправдались и помогли в самое трудное время открыть и разведать необходимые для Победы полезные ископаемые. В это время 79-летний ученый выезжал на полевые работы и буквально молодедел, взбираясь на склоны и отбивая образцы горных пород.

В то же время Обручев сделал конкретные рекомендации по добыче золота, позволившие увеличить его добычу.

Хочется сказать несколько слов и о работе Обручева, пропагандиста и популяризатора науки. Владимир Афанасьевич всегда пользовался известным правилом Фарадея «работать, завершать, публиковать» ("to work, to finish, to publish"). За свою жизнь он опубликовал так много работ различного жанра — монографий, научных и популярных статей, очерков, учебников, научно-фантастических романов, — что они составляют целую библиотеку. Основные мысли Обручева относительно проблем тектоники Азии нашли отражение в его «Геологии Сибири» в трех томах, изданной в 1936—1938 гг., и пятитомной «Истории геологических исследований Сибири», выходящей с 1931 по 1949 г. За эти крупные теоретические сводки Обручев взялся, когда он уже был избран действительным членом Академии наук СССР и когда возраст уже не позволял ему непосредственно принимать участие в полевых работах. Выход каждого тома этих книг был настоящим событием для нас, молодых исследователей Сибири. В своей «Геологии Сибири» он не только показал степень изученности каждого региона и изложил противоречивые взгляды разных геологов относительно происхождения тех или иных структур. Эта монография стала крупным обобщением и программой для дальнейших геологических исследований этого региона на долгие годы. «История геологического исследования Сибири», в которой Обручев подвел итоги различных экспедиций в Сибири за двести с лишним лет, была значительным событием в мировой геологии. Эта работа была предшественницей монографий по истории геологических ис-

следований всей территории нашей страны, которые в настоящее время регулярно публикуются Академией наук СССР под руководством Комитета по геологической изученности СССР. Сотни геологов трудятся над их составлением, используя принцип, предложенный Обручевым в его «Истории геологического исследования Сибири».

Мне посчастливилось лично общаться с Владимиром Афанасьевичем и знакомить его с новыми геологическими материалами, полученными при полевых исследованиях в Сибири, которыми он всегда живо интересовался. Феноменальное трудолюбие ученого, его необыкновенная внутренняя дисциплинированность, огромное чувство долга и стремление дать науке все, что можно, большая требовательность к себе и коллегам были хорошо известны в среде геологов. При встречах с Владимиром Афанасьевичем мне пришлось убедиться и в его исключительном интересе к творчеству молодых. В 1948 г. я получила от него целую научную программу в виде дарственной надписи на обратной стороне паспарту с его фотографией. Эта программа во многом определила мою дальнейшую научную деятельность. Подобные интересные по глубине и широте советы получали от Обручева и другие геологи.

За свою неутомимую и плодотворную научную и практическую деятельность ученый был награжден многими орденами и медалями СССР, и в том числе пятью орденами Ленина. В 1945 г. Президиум Верховного Совета СССР присвоил В. А. Обручеву одному из первых в стране звание Героя Социалистического Труда «за исключительные заслуги перед государством — выдающиеся достижения в области геологии, особенно за исследования геологии Сибири и Центральной Азии, за теоретическую разработку тектоники рудных месторождений и создание основ новой науки о вечной мерзлоте, а также за многолетнюю плодотворную работу по подготовке кадров геологов».

Хочется закончить этот небольшой очерк словами самого Обручева: «Надо всю жизнь учиться, учиться и учиться — у жизни, у науки, думать и анализировать; не успокаивайтесь на достигнутом, идите смело вперед и помните, что жизнь и наука все время идут вперед и отставать нельзя». Вся жизнь Владимира Афанасьевича является примером безостановочного движения вперед.

⁵ Обручев В. А. Памяти трех замечательных русских путешественников. — В сб.: Вопросы географии, вып. 35. М., 1954, с. 27.

Письма В. А. Обручева Г. Н. Потанину

Несколько лет назад в архивных материалах Краевого краеведческого музея г. Красноярск были обнаружены письма В. А. Обручева Г. Н. Потанину, датированные 1892—1893 гг. В то время Обручев был участником Центрально-Азиатской экспедиции Русского географического общества, руководил которой Г. Н. Потанин. Целью экспедиции было изучение геологии Северного Китая и восточной котловины Центральной Азии, включая Наньшань, и в частности сравнение рельефа и геологии этой территории с более южными районами, ранее изучавшимися немецким геологом Ф. Рихтгофеном. В сентябре 1892 г. Обручев выехал из Иркутска в пограничный с Китаем г. Кяхту, откуда и началось его знаменитое путешествие. Он должен был вести исследования до восточной окраины Тибета, где работал Потанин, пройти Бэйшань и восточный Тянь-Шань. Единственным постоянным спутником Обручева был казак-переводчик, бурят Цоктоев. Нехитрый экспедиционный груз везли верблюды, лошади или мулы, выюком или на двухколесных арбах. Путешествовал Обручев в китайском костюме, в котором походил на миссионера. В течение двух лет Обручев прошел путь в 13 625 км, более всего страдая, по его словам, от одиночества, а не от скверной воды, скудного питания, жары и морозов. Обручев постоянно вел не только геологические исследования, но и топографическую съемку, по вечерам записывая наблюдения в дневник, разбирая образцы пород, вычерчивая маршрут. Шесть раз он пересек хребты Наньшаня, дважды поднимался

на труднодоступные перевалы, пересекал монгольские пустыни там, где на это не решались местные жители. По богатству собранного материала и широте охвата исследованиями пространства путешествие Обручева, пожалуй, до сих пор остается непревзойденным. Им было охвачено маршрутной съемкой 9430 км, отобрано 7 тыс. образцов, произведено 838 определений высот. Его полевые дневники заняли более тысячи страниц текста с приложением 14 маршрутных карт, 79 фотографий, 205 рисунков. Огромно научное значение экспедиции. Обручев опроверг представление Рихтгофена о существовании в Центральной Азии третичного моря Ханхай, внес дополнения и исправления в теорию Рихтгофена об образовании и распространении лесса в Китае и Центральной Азии. За исследования, выполненные в этой экспедиции, Обручев был награжден премиями им. Н. М. Пржевальского и П. И. Чихачева. Подробности своего путешествия Обручев позднее изложил в своем отчете «Центральная Азия, Северный Китай и Нань-шань» [СПб, 1900—1901] и популярной книге «От Кяхты до Кульджи» [М., 1940]. Публикуемые письма — отчеты с пути — воспроизводят некоторые детали путешествия, показывают черты характера выдающегося ученого, неутомимого путешественника, увлеченного своими идеями геолога, стремящегося принести как можно больше пользы науке. Публикацию писем подготовила сотрудница Красноярского краеведческого музея Т. С. Нифонтова. Письма печатаются с сокращениями.

Калган
15 ноября 1892 г.

Многоуважаемый
Григорий Николаевич.

Вчера вечером я прибыл в Калган после месячного странствования по монгольским степям; поместился у г. Волосатого, который сообщил мне, между прочим, что Вы раздумали зимовать в Пекине. Но я полагаю, что Вы все-таки проведете в Пекине несколько недель, так что мне удастся увидеться с Вами и потолковать

относительно дальнейшего пути моего маршрута, Ваших монгольских наблюдений и т. п.

Прибуду я в Пекин не ранее конца ноября — недели через две, так как здесь придется пробить около недели, чтобы укупорить и отправить несколько ящиков с собранными образчиками и исследовать подробно Калганское ущелье купеческого тракта, которое оказалось при маршрутном осмотре очень интересным и выясняющим многое относительно строения монгольского плато; затем неделю буду идти до Пекина, также исследуя по пути местность, так как, хотя большая часть этого пути исследована Рихтгофеном, но мне необхо-

димо сразу познакомиться с горными породами и формациями Северного Китая и выяснить их отношения к породам и формациям Монголии.

От Урги [Улан-Батор¹]... все время я вел маршрутно-глазомерную съемку, которая хотя и не из важных, как первый мой опыт в этом роде (до сих пор мне не приходилось заниматься съемкой при работе), но все-таки вернее передаст конфигурацию местности, чем новая 40-верстная карта, оказавшаяся вообще неудовлетворительной. По части геологии я собрал много материала и весьма интересного и надеюсь, что буду в состоянии выяснить строение исследованной местности; из Пекина я думал написать подробное письмо в Географическое Общество с изложением главных результатов моей работы от Кяхты до Пекина; не знаю, удастся ли это, если придется торопиться ехать дальше.

В оставленных Вами образчиках некоторые содержат растительные отпечатки, которые хотя и очень плохи, но делают весьма вероятным нахождение угля и весьма желательным исследование этого тракта; на своем пути я встретил кроме древнейших, только отложения того моря, которое покрывало часть Монголии; найденные Вами, кажется, древнее последних.

До свидания в Пекине.
Преданный Вам В. Обручев.

¹ Далее в квадратных скобках — современное написание топонимов, у которых в оригинале нет единства. (Прим. ред.)

Тай-юань-фу [Тайюань]
19-го января 1893 г.

Многоуважаемый
Григорий Николаевич.

Вчера прибыл благополучно в Тай-юань-фу [Тайюань]... отправляю письма через итальянских миссионеров, которые не могли дать мне переводчика, китайца, знающего по-французски, т. к. они обучают своих питомцев только латинскому языку; хотели поискать китайца, знающего

по-монгольски, но без большой надежды на успех, так что до Боро-балгасуна придется, вероятно, ехать без переводчика и нельзя будет собирать расспросных сведений о местности.

Миссионеры не были очень любезны, не пригласили остановиться в миссии, обогреться и отдохнуть, даже не пригласили пообедать; по-французски говорят не лучше меня.

В Шаньсийских горах между Хус-лу и Тай-юань-фу я по возможности работал, больше для личного ознакомления с каменноугольными отложениями Китая, хотя удалось собрать добавления к данным Рихтгофена и в свете пестрых надкаменноугольных песчаников найти растительные остатки, вероятно, достаточные для определения возраста этих отложений, не определенного Рихтгофеном.

Пока иду хорошо... главное лишение дороги — холод в комнатах по вечерам, когда нужно писать; ехать далее верхом будет также неприятно по утрам, до 12 часов, пока солнце не пригреет.

Кланяюсь Ал. Викт.¹ и Вашим спутникам, всего хорошего, всякого успеха!

Глубоко преданный Вам
В. Обручев.

¹ Александра Викторовна — А. В. Потанина (1843—1893), жена Г. Н. Потанина, географ и этнограф, сопровождала мужа в ряде экспедиций, во время которых вела ботанические сборы и метеорологические наблюдения. Во время экспедиции 1893 г. скончалась, похоронена в Кяхте.

Лань-чжоу [Ланьчжоу]
10-го апреля 1893 г.

Многоуважаемый
Григорий Николаевич!

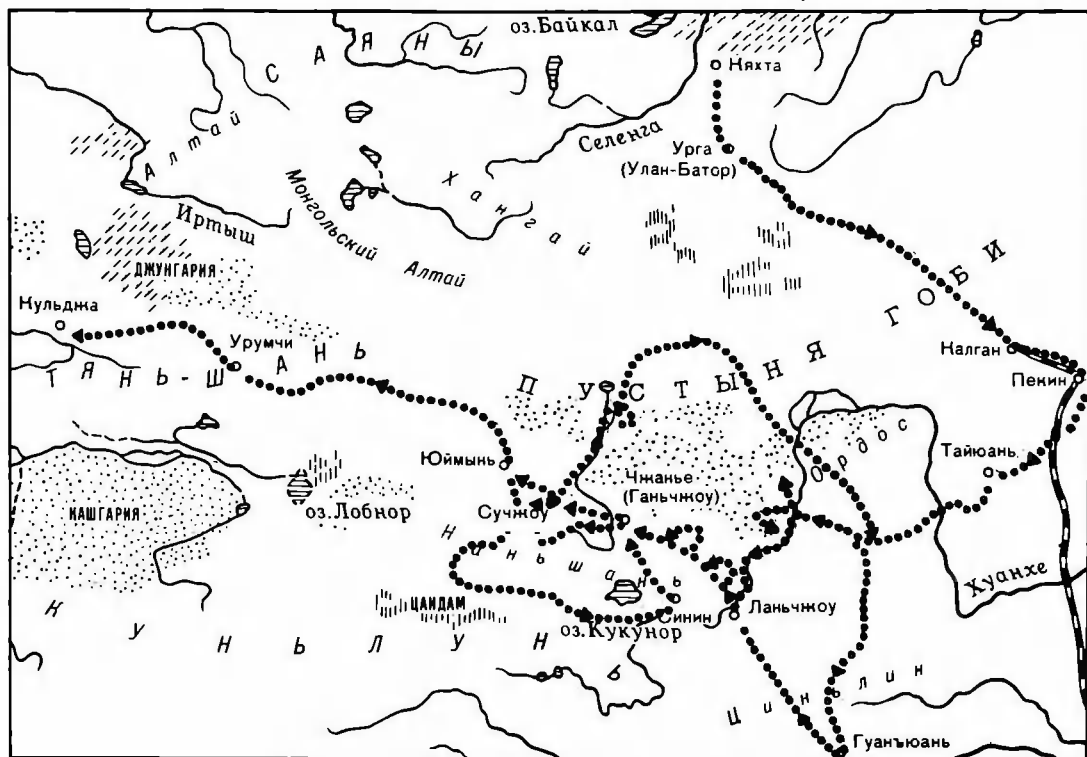
В Лань-чжоу, накануне отъезда, получил Ваше письмо на Си-ань-фу, так что могу ответить только теперь, со следующей стоянки, где опять переменял вьючных животных.

От Тхай-юань-фу [Тайюань], откуда писал Вам в январе, я направился... к Желтой реке¹, которую переехал у г. У-бао во время ледохода 28-го января, и затем через г. Суй-де-чжоу в Шеньси вышел

в Ордос и достиг Боро-балгасуна 6-го февраля, собственно миссии Сяо-чао, находящейся в 15 ли² к NO от г. Нин-тяо-льяна, где провел 6 дней у миссионеров, сообщивших мне много интересных сведений об Ордосе...

Здесь я переменял свой маршрут... направился на окраины Ордоса на северо-запад к городу Нин-ся [Иньчуань], перешел Желтую реку 19-го февраля накануне ее вскрытия и из Нин-ся сделал 6-дневную

берегу Желтой реки, и пересек восточные отроги Нань-шаня [Наньшань] в углу между Желтой рекой и большой дорогой в Лянь-чжоу [Ланьчжоу]. Избранный маршрут оказался удачным и интересным — дал много данных по вопросу о строении отрогов Нань-шаня (Алашанский хребет оказался принадлежащим к системе Нань-шаня), о происхождении песков Ордоса (из новейших песчаников Хан-хая), распространении лесса и осадков последнего



Маршрут путешествия В. А. Обручева по Монголии и Китаю [1892—1894 гг].

экскурсию в Алашанский хребет по дороге в Фу-ма-фу, до которого не доехал только 15 верст. Вернувшись в Нин-ся, я пошел в Лань-чжоу по большой (колесной) дороге через г. Чжунг-вей, все время по левому

внутреннего моря (красные конгломераты у Лань-чжоу). В Лань-чжоу пришлось прожить целых 16 дней... по большой дороге я вторично пересек восточный конец Нань-шаня, но на северном склоне трехдневный снег помешал мне работать как следует. Здесь я нахожусь уже пятый день — опять из-за перемены средства передвижения; за это время сделал экскурсию в горы (предгория Нань-шаня) и в резиденцию католического епископа Ганьсу, у которого скопировал карту путей этой провинции, значительно дополняющую существующие. (...)

¹ Переводная форма названия р. Хуанхэ. В настоящее время не употребляется.

² Ли — китайская дорожная мера, равная примерно 500 м.



В. А. Обручев в китайском costume.

Ваш совет — не покупать себе выюнных и верховых животных — оказался непрактичным для геолога, который должен почаще удаляться от больших дорог, а с наемными мулами это невозможно, и я до сих пор из-за них был сильно стеснен в своих движениях; здесь я купил себе четырех лошадей, а багаж отправляю в телегах до Су-чжоу [Сучжоу] с одним из китайцев, сам же поеду налегке по подошве Нань-шаня. Из Су-чжоу на два месяца отправлюсь в Нань-шань до Куку-нора [оз. Кукунор (Цинхай)] также на своих животных, а по возвращении куплю верблюдов для работы в Бейтане до Хами и Урумчи [Урумчи]... Ни от Мушкетова, ни от

Георг[афического] Общества никаких вестей и инструкций еще нет; моя семья в Петербурге и здорова.

Пишите, как путешествуете; кланяюсь всей компании.

Преданный Вам
В. Обручев.

Су-чжоу
24 августа 1893 г.

Многоуважаемый
Григорий Николаевич!

На днях я возвратился из поездки в Нань-шань, Цайдам и на Куку-нор и в двух полученных за это время почтах нашел Ваши два письма из Чен-ду-фу и Тарсамдо, последнее с прискорбной вестью о болезни Вашей супруги; надеюсь, что больная за лето поправилась и что в настоящее время Ваша компания находится уже в Сунпане. В последний раз я писал Вам из Лянь-чжоу в начале апреля; оттуда я отправил большую часть своего багажа на двух малых телегах прямо в Су-чжоу; сам же купил лошадей и втроем с казаком и вновь нанятым китайцем Хуа... налегке подвигался к Су-чжоу, исследуя местность вдоль большой дороги, где между Лянь-чжоу и Гань-чжоу [Чжань] довольно много гор, богатых кам[енным] углем и составляющих самые северные складки Нань-шаня; в кам[енно]угольных копях близ миссии Сю-Тя-чуань (к юго-востоку от городка Шен-дань-сянь) удалось собрать, благодаря указанию катол[ического] миссионера, хорошую коллекцию окаменелостей. От Гань-чжоу до Су-чжоу я шел по большой дороге, по знакомым Вам солончакам.

В Су-чжоу я встретил радушный прием и полное гостеприимство у г. Сплингерда¹, семья которого со времени Вашей встречи с ним в 1886 г. увеличилась еще 3 членами (9 девочек и 3 мальчика всего-навсего); собираясь в Нань-шань, я прожил у него две недели, т. к. с трудом нашли в Су-чжоу необходимых для экспедиции животных — верблюдов, ослов и лошадей...

25-го мая я тронулся в Нань-шань; мой караван состоял из шести человек (я, казак, старший сын Сплингерда 17 лет

¹ Сплингерд — бельгиец, находившийся на китайской службе.

и три китайца) на 4 конях, 2 ослах и вьюк на 3 верблюдах; я хотел идти в Нань-шань прямо на юг от Су-чжоу, но проводника на этот путь в Су-чжоу Сплингерд не мог найти; пришлось согласиться на более западную дорогу приблизительно по меридиану Юй-мын-сяна [Юймынь]; в 4 перехода от Су-чжоу мы дошли до подошвы гор и затем до Сев[ерного] Цайдама пересекли 7 горных цепей, из которых три с вечными снегами, перевалы от 12 до 14 тыс. футов; избранный путь оказался интересным; я пересек хр. Гумбольдта, убедился, что он с хр. Риттера не соединяется; как думал Пржевальский, хр. Риттера образует самостоятельную снеговую цепь общего WNW простираения и только конец его, протяжением верст 50—60, изгибается на WSW и высылает отроги, приближающиеся к южной подошве хр. Гумбольдта, но отделенные от нее руслом большой реки.

По Сев[ерному] Цайдаму от оз. Ихэ-Цайдамин-нор до оз. Курлык-нор мы прошли маршрутом Пржевальского и побывали у монгольского князя Курлык-бейсе... от Курлык-нора я прошел в Дуланг-кит прямой дорогой, никем еще не пройденной, открыл еще два горько-соленых озера; с Дуланг-кита на Кукунор также прошел новыми дорогами и на южном и восточном берегах этого прелестного озера провел 6 дней (19—24 июля); озеро несомненно усыхающее, а не переполняющееся, как думал Рихтгофен, и представляет остаток Ханхая, уцелевший в междугорной котловине благодаря значительному притоку пресной воды, тогда как другие остатки того же внутренне-азиатского моря — горько-соленые озера Сев[ерного] Цайдама — усохли до размеров маленьких озерков, в которых уже осаждаются соли из сгущенного раствора.

Мнение о реликтовом характере Кукунора подтверждается также рассказами монголов о существовании в этом озере — тюленя; рассказы правдоподобные — людей, видевших убитого тюленя (которого они называют морской собакой) и описывающих его наружность вполне верно; это факт новый и не менее интересный для зоологии, чем для геологии; Байкал нашел себе соперника, еще перецегалявшего его своей абсолютной высотой².

От Куку-нора до Синина мы дошли в 3 дня и перед Донкыром имели маленькое столкновение с тангутами³, окончившееся (вернее, начавшееся) к счастью только смертью тангутской собаки, но могшее перейти в побоище, будь на моем месте Пржевальский или другой, менее миролюбивый, чем я, путешественник; дело в том, что с Кукунора в Донкыр мы шли по новой дороге, с очень крутым перевалом, на котором один из наших усталых верблюдов отказался идти; пришлось разложить его вьюк на верховых лошадях, а самим идти пешком; на спуске с перевала дорога проходила возле палаток тангутских лам, откуда нас атаковало полдюжины крупных и злых собак, тогда как ламы с интересом смотрели, как мы от этих собак отмахивались и отбивались камнями; обозленный этим злорадством лам, не отзывавших собак, я выстрелил из револьвера в самую лучшую собаку, слишком приближившуюся к моим ногам, и так удачно, что положил ее на месте; не прошли мы и ста шагов от места убийства, как увидели бегущих за нами лам с длинными стегами, дубинами и нагайками, но без огнестрельного оружия... переводчика тангутского языка у нас не было, но из жестов мы поняли, что они хотят забрать двух наших верблюдов за убитую собаку; всего их собралось десять человек и четыре бабы, также вооруженные большими ножами для стрижки овец, нас же, способных к сопротивлению было только три человека с 2 ружьями и 2 револьверами... видя, что мы не понимаем их языка, а верблюдов безнаказанно не отдадим, они послали гонца в соседние палатки за переводчиком, до прибытия которого обе враждебные партии сидели возле верблюдов друг против друга, одни с дубинами, другие с револьверами в руках — никому не хотелось начинать драку; во время этого перемирия мы показали им конструкцию револьверов и объяснили, что собака убита выстрелом из револьвера, а не из ружья, как они думали, не имея понятия об опасности этой маленькой штуки; прибывший переводчик передал нам их требование — значительно уменьшившееся после осмотра револьверов — заплатить серебром за убитую собаку; я же велел передать... что заплачу за собаку только в Донкырском ямыне, если присудят. Тогда ламы стали

² В оз. Байкал, расположенном на меньшей высоте, обитает байкальская нерпа.

³ Тангуты — прежде встречавшиеся в русской литературе название тибетцев Цинхяя.

просить хоть кирпич чаю за собаку, но также получили отказ и заявление, что дреколья их я хочу увезти в Донкырский ямын с жалобой на нападение. После этого нас попросили уходить скорее и освободили верблюдов, чем приключение и окончилось. В Синине я встретился с англичанином Литтльдэль⁴, который ради охоты за дикими верблюдами, яками и куланами прошел с Лоб-нора до Са-чжоу [Сучжоу] по подгорной дороге, которую не докончил Пржевальский; из Са-чжоу он прошел вдоль северного склона хребта Гумбольдта, перевалил к востоку от моего маршрута хребты Гумбольдта и Риттера, соединение которых он также отрицает, и спустился к Кукунору по долине Бухаин-гола — загадочной реки, посетить которую думаю я, но вместо того попал в Цайдам, о котором и не мечтал; он также вел маршрутную съемку, так что данными его и моими топография Зап[адного] Наньшаня будет значительно выяснена. <...>

Всего, считая весенние переезды из Нин-ся в Лань-чжоу и отсюда в Лянь-чжоу, Наньшанская горная система пересечена мною 4 раза (3 раза Вост[очный] Наньшань, 2 раза Зап[адный], так что материал собран достаточный для выяснения ее строения; в Зап[адном] Наньшане мне удалось в нескольких местах найти окаменелости, все каменноугольные, так что результатами поездки я могу быть доволен.<...>

Куда я теперь направляюсь — еще не знаю сам, жду известий из Пекина; жена моя пишет, что Совет Георг[афического] Общ[ества]... решил выдать мне еще 1500 р. и кроме того возратить 700 р., затраченные мною на покупку инструментов, которые я должен возратить в Георг[афическое] Общество; между тем в полученной мною с той же почтой программе Георг[афического] Общ[ества] исследование Сы-чуани совсем не упоминается и официального извещения о прибавке денег и о цели этой прибавки нет; если она для Сы-чуани, то вначале отправлюсь в путь через Алашань, Ордос и Шень-си, чтобы провести в Сы-чуани три зимних месяца, а весной двинуться обратно; пока же придет почта, составляю для Георг[афического] Общ[ества] подробное письмо о поездке по Наньшаню.

10-го сентября

Кончил, наконец, отчет, который вышел очень длинный, но, почту все-таки не получил, посольство поленилось отправить ее вовремя. Получил из посольства телеграмму о переводе мне от Георг[афического] Общ[ества] еще 156 фунтов; таким образом, приходится ехать в Сы-чуань, хотя не имею на это желания — там были Рихтгофен, Сэчэни⁵, Бонвало⁶, Гилль⁷, и в геологическом отношении я едва ли найду много нового.<...> Вы мне напишите в свою очередь в Хуэй-сянь или Чен-ду-фу к миссионерам предположение Вашего маршрута будущей зимой по Сы-чуани, тогда легко можно будет встретиться.

Кланяюсь всем Вашим спутникам. Всего хорошего.

Преданный Вам В. Обручев

⁵ Сечени Бела — венгерский путешественник. В 1877—1880 гг. его экспедиция собирала материал о геологическом строении восточной части Наньшаня.

⁶ Бонвало Габриэль, французский путешественник; в 1889—1890 гг. совершил путешествие по Центральной Азии и Индокитаю.

⁷ Гилль В., английский путешественник. С 1877 г. занимался изучением Южного Китая.

Сан-то-хо на Желтой реке
18 ноября 1893 г.

Многоуважаемый
Григорий Николаевич.

Пользуясь случаем отправки миссионерской почты в Калган, чтобы предупредить Вас о значительном запоздании моего приезда в Сы-чуань против предположенной. В Су-чжоу я не нашел проводника для прямого пути в Сан-то-хо, и пришлось, повторяя Ваш маршрут 86 г., идти вновь по Эдзин-голу [Эцзин-гол], надеясь найти проводника у торгоутов¹; эта надежда также не оправдалась, все говорили, что прямых путей с Эдзин-гола ни в Сан-то-хо, ни в Алашань-ямын (последний путь упомянут в Ваших расспросных сведениях о Центр[альной] Монголии) нет или же они непроходимы вследствие безводья и больших песков; вместо того, тор-

¹ Англичанин, путешествовавший по Китаю.

¹ Торгоуты (торгуты) — подразделение западных монголов (ойратов). Живут на западе Китая и в МНР.

гоутский ван² (парень лет 20; старый, которого Вы видели, умер 2—3 года назад) дал проводника в самый центр Центр[альной] Монголии к хребту Гурбан-Сайхан, откуда новые проводники довели меня в Сан-то-хо; таким образом, пришлось сделать громадный крюк, и я пробыл в пути 2 месяца; наука от этого ничего не потеряла, так как я пересек и исследовал очень плохо известную часть Центр[альной] Азии; видел низовья Эдзинь-гола, хребты Тосту (возле Ноин-Богдо), Дэнг и Дзолин, показанные на Вашей распросной карте, на пути от Гурбан-Сайхана в Сан-то-хо еще несколько хребтов, не показанных на картах (на Вашей есть только Цоко) и хр. Хана-Нарын-ула. Теперь дожидаясь в резиденции Ордосского епископа Гамера покрытия льдом Хуан-хе, на которой ледоход и сообщение прервано, а затем пойду наискось через Ордос в Боро-Балгасун, Цинь-ань-фу и Хой-сянь; в Чен-ду-фу попаду, при быстром движении, не ранее половины или даже в конце января и идти в Тарсанды [Тарсамдо] будет уже некогда — предстоит еще длинный путь в Су-чжоу к Кульджу, который нужно совершить к началу августа, чтобы вернуться в Петербург к окончанию срока командировки, т. е. к 1-ому сентября; продолжить путешествие далее этого срока не буду в силах, да и департамент не согласится. (...)

Проходя по левому берегу Эдзин-гола, я собрал много интересных данных о близлежащих хребтах и пустыне, окаймляющей оазис; еще интереснее оказались хр. Тосту и Дэнг, где много новых вулканических пород; в этой части Центр[альной] Азии опять не оказалось ни мощного леса — новое подтверждение моего мнения вопреки Рихтгофенской гипотезе, — ни показанных на 100 в. карте больших песков; везде низкие хребты и скалистые холмы, разрушенные морем и атмосферными деятелями, в промежутках широкие долины или котловины, в к[отор]ых местами, особенно к северу от хр. Хана-нарын-ула, вскрыты новейшие отложения этого моря; как и Вост[очная] Монголия, Центр[альная] Монголия представляет горную страну с более или менее древними цепями и группами гор, сглаженную позднейшей абразией и ингрессией³ внутренне-азиатского моря.

Я чувствую, что Вы, многоуважаемый Григорий Николаевич, в душе не вполне довольны, даже, можно сказать, огорчены тем, что геолог Сычуанской экспедиции блуждает бог знает где и ставит Сычуань

совсем на задний план своих работ. Но я пришел к убеждению, что общее, даже беглое, исследование возможно большей площади Центр[альной] Азии для науки — не только геологии, но и географии — гораздо важнее, чем подробное изучение Сычуани. Я убедился, что до сих пор — это не возвеличение моих работ, а правда — о геологическом строении Центр[альной] Азии мы знаем слишком мало и из этого малого еще оказалось неверной капитальная гипотеза Рихтгофена; поэтому выяснение этого строения в общих чертах стало безусловно необходимым, и я стараюсь исполнить это по возможности; даже ограничиваясь программой Геогр[афического] Общ[ества] я мог бы уделить Сычуани не более полугода, а за этот срок в такой гористой стране с ужасными дорогами можно сделать немного, если не повторять маршруты Рихтгофена, Сечени и пр. Орлеанского⁴, ими общее строение Сычуани уже выяснено, и много нового я бы не прибавил; для большинства же местностей Центр[альной] Азии я являюсь первым геологом.

Ну, всего хорошего, полных успехов, кланяюсь А. Викт. и прочим.

Ваш В. Обручев.

² Князь.

³ Абразия — процесс механического разрушения волнами и течениями коренных пород; ингрессия (трансгрессия) — проникновение морских вод в понижения прибрежной суши при повышении уровня моря или погружении берега.

⁴ Принц Генрих Орлеанский — известный французский путешественник по Востоку и Центральной Африке. В 1889—1890 гг. вместе с Бонавалло совершил поездку в Центральную Азию.

Структура пыльцы гнетума — сходство или родство?

Л. А. Куприянова,
доктор биологических наук
Ботанический институт им. В. Л. Ко-
марова АН СССР
Ленинград

Вопрос о происхождении покрытосеменных, наиболее совершенной и самой обширной группы растений, — давний, интригующий, но до сих пор не решенный. Именно поэтому исследование пыльцы гнетума (*Gnetum*) — удивительного растения, сочетающего в себе признаки голосеменных и покрытосеменных, представляет большой интерес. Здесь излагаются некоторые новые и неожиданные факты, дающие ценный материал к проблеме происхождения покрытосеменных растений.

Кожистые листья гнетума похожи на листья двудольных, да и сами растения имеют облик двудольных. Виды гнетума, а их не более 40, произрастают во влажных тропических лесах на обломках древнего материала Южного полушария — Гондваны. Большинство видов растет в Южной Азии, несколько видов встречается в Южной Америке и только два — на юго-западе Африки (Ангола, Камерун).

Пыльца гнетума настолько мелка (всего лишь 10—20 мкм), что до появления электронного сканирующего микроскопа изучать ее строение было невозможно. При большом увеличении микроскопа удалось выяснить, что поверхность пыльцевых зерен разнообразна и представлена тремя типами: первый тип — африканский — имеет крупно-шиповатую слегка уплощенную структуру, покрытую редкими мелкими шипиками

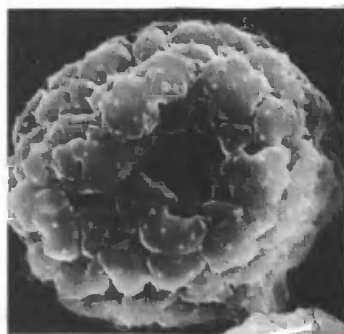
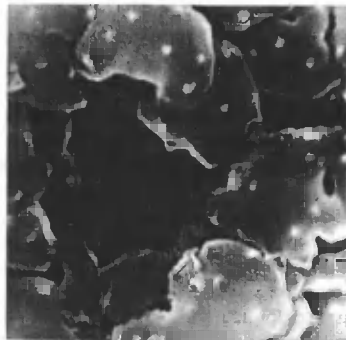


Рис. 1. Гнетум африканский (*Gnetum africanum*): слева — пыльцевое зерно с дистальной стороны, в центре — лептома (увел. в 6 тыс. раз); справа — шипиковато-уплощенная скульптура с короткими редкими шипиками, в центре — глубокопогруженная лептома (увел. в 10 тыс. раз).



лощенная скульптура с короткими редкими шипиками, в центре — глубокопогруженная лептома (увел. в 10 тыс. раз).

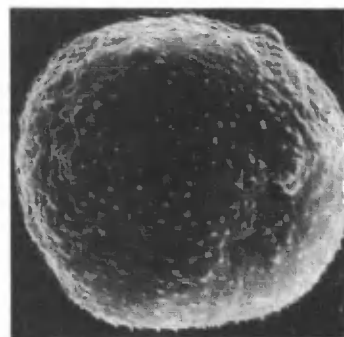


Рис. 2. Гнетум поникающий (*Gnetum paniculatum*): пыльцевое зерно с мелкошиповатой скульптурой и редкими разноразмерными перфорациями (увел. в 5,4 тыс. раз).

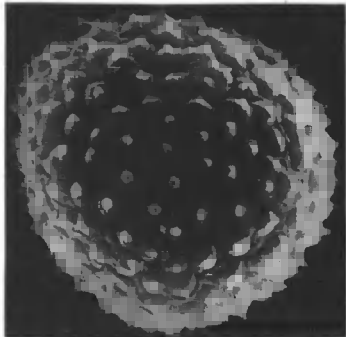


Рис. 3. Гнетум широколистный (*Gnetum latifolium*): пыльцевое зерно округлого треугольного очертания с крупношиповатой скульптурой, шипы с ширококоническим основанием (увел. в 4,4 тыс. раз).

(рис. 1); второй — южноамериканский — с ровной поверхностью оболочки, с редкими разноразмерными перфорациями и очень мелкими равномерно рассеянными шипиками

(рис. 2); и третий тип — азиатский — с более или менее крупной шипиковатой скульптурой, возвышающейся над равномерно-дырчатой или дырчатомелкобугорчатой поверхностью

(рис. 3). Характерная особенность пыльцы гнетума — это наличие крупного, утонченного, погруженного участка оболочки — так называемой лептомы. Лептома одновременно служит местом прорастания пыль-

сеае, Podocarpaceae, Araucariaceae и др.), она редко встречается у пыльцы покрытосеменных растений. Можно предполагать, что лептома — предшественница борозды.

Из представителей голо-

пыльцу, причем только с пыльцой одного вида этого рода — гнетума африканского (рис. 4). Это кажется неправдоподобным, так как других общих черт рода сциадопитис с родом гнетум никогда и никто не находил. Существенно и то, что шипиковая пыльца сциадопитиса ни у одного из родов голосеменных больше не встречается. Структура пыльцевых зерен сциадопитиса ранее была детально изучена с помощью сканирующих и трансмиссионных электронных микроскопов японским палинологом И. Уено¹.

Но самое интересное — нахождение шипиковатой скульптуры и лептомы у пыльцевых зерен тропического двудольного пеперомии (*Peperomia*), представителя древней группы покрытосеменных растений — перечных (рис. 5). Пыльца пеперомии также чрезвычайно мелкая и до сих пор не изучалась.

Говорит ли описанное свойство пыльцы (гнетум — сциадопитис — пеперомия) о действительном филогенетическом родстве? Или же сходные структуры возникли в разных филогенетических ветвях независимо друг от друга? Категорического ответа мы не предлагаем. Но, во всяком случае, при решении вопроса о происхождении покрытосеменных оставить в стороне изложенное выше наблюдение нельзя.

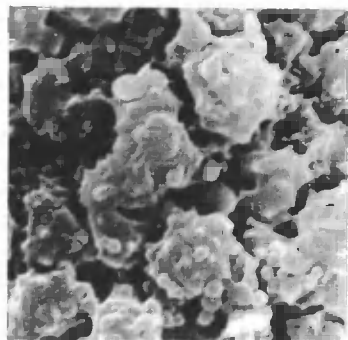
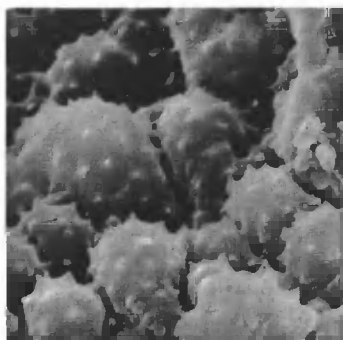


Рис. 4. Сциадопитис мутовчатый (*Sciadopitys verticillata*): слева — поверхность экзины с крупношиповатой скульптурой, покрытой редкими острыми шипиками. На поверхности шипиков видны округ-



лые тельца — орбикулы (увел. в 10 тыс. раз), справа — поверхность экзины при том же увеличении, но с другой стороны пыльцевого зерна.

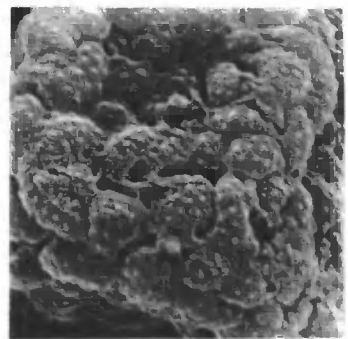
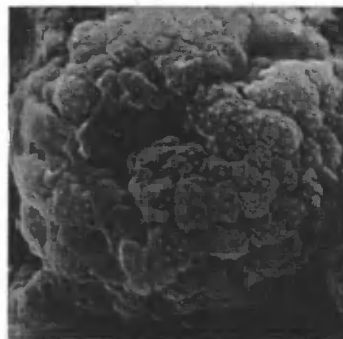


Рис. 5. Пеперомия красноватая (*Peperomia rubella*): слева — пыльцевое зерно с дистальной стороны, в центре — лептома (увел. в 7,2 тыс. раз), справа — пыльцевое



зерно с проксимальной стороны, шипиковато-уплощенная скульптура с многочисленными короткими шипиками (увел. в 10 тыс. раз).

цевой трубки, а также регулирует объем пыльцевого зерна в зависимости от влажности атмосферы. Лептома — древнее образование, свойственное пыльце многих голосеменных (*Pin-*

семенных лишь один род хвойных — род сциадопитис (*Sciadopitys*), из семейства таксодиевых, так называемая японская зонтичная пихта, имеет сходную с пыльцой гнетума

¹ Ueno I. Study of palinology. Tokio, 1978.

Современная атомная физика — тенденции и стимулы развития

А. В. Елецкий, Б. М. Смирнов



Александр Валентинович Елецкий, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Института атомной энергии им. И. В. Курчатова. Область научных интересов — физика низкотемпературной плазмы и физика газовых лазеров. Автор монографий по этим вопросам, в том числе: Газовые лазеры (в соавторстве с Б. М. Смирновым). М., 1971; Явления переноса в слабоионизованной плазме (в соавторстве с Л. А. Палкиной и Б. М. Смирновым). М., 1975.



Борис Михайлович Смирнов, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией Института теплофизики СО АН СССР. Основные научные интересы относятся к атомной физике и физике плазмы. Автор ряда монографий и учебных пособий, в частности: Физика слабоионизованного газа. М., 1972; Отрицательные ионы. М., 1981. Неоднократно публиковался в «Природе».

Один из ярких примеров научного прогресса — становление и развитие атомной физики. В начале нашего столетия она сыграла роль фундамента, на котором возникла квантовая механика. В то время главной целью атомной физики было определение основных свойств атомов и атомных систем¹.

С появлением квантовой механики темп развития атомной физики отнюдь не замедлился, и в послевоенные годы, например, удвоение числа публикаций в этой

области происходило примерно каждые 10 лет.

Прогресс атомной физики в наши дни тесно связан с тем своеобразным положением, которое она занимает в науке. Дело в том, что атомная физика поставляет информацию, остро необходимую для развития как прикладных (физика газового разряда и газовых лазеров, плазмохимия, космическая техника и т. д.), так и фундаментальных исследований (астрофизика, нелинейная оптика, термоядерный синтез, физика атмосферы и др). Вряд ли можно всерьез рассчитывать на успех в перечисленных и многих других направлениях без знания количественных характеристик атомных частиц и параметров процессов,

¹ Под атомной системой в современной литературе по атомной физике подразумевают такие объекты, как ионы, молекулы, молекулярные и кластерные ионы и т. д. Подробнее о них будет сказано ниже.

протекающих при столкновениях этих частиц или при их взаимодействии с излучением. Смежные области науки постоянно ставят перед атомной физикой все новые и новые задачи, стимулируя тем самым ее развитие.

С другой стороны, важным фактором совершенствования атомной физики служит разработка и внедрение новой экспериментальной техники. Благодаря этому удается проводить исследования, еще недавно казавшиеся нереальными, и получать качественно новую информацию об атомных объектах и процессах, в которых они участвуют².

Отличительной особенностью развития атомной физики на современном этапе следует считать непрерывное расширение круга изучаемых ею объектов. Среди них можно отметить высоковозбужденные состояния атомов, эксимерные молекулы, многозарядные и кластерные ионы и т. д. Исследование этих объектов не только расширяет наши представления о свойствах вещества на атомном уровне, но и обеспечивает прогресс в прикладных областях.

Таким образом, атомная физика, которая за три четверти века стала одним из классических разделов физической науки, и в наши дни переживает период интенсивного развития. Ниже нам хотелось бы подтвердить это конкретными примерами, проследить, в чем состояло продвижение в том или ином направлении за последнее время, что послужило его основой и к каким результатам это привело. Но прежде необходимо хотя бы в общих чертах представить современный уровень экспериментальной техники.

СОВРЕМЕННАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Основное содержание атомной физики в настоящее время составляют исследования элементарных процессов, происходящих при столкновениях атомных частиц друг с другом, а также при их взаимодействиях с фотонами или электронами. Среди большого числа экспериментальных методик, создание и совершенствование которых оказало заметное влияние на развитие этих исследований, имеет смысл выделить ряд направлений, представляющих наиболее плодотворными. К ним относятся пучковая техника, перестраиваемые

лазеры, масс-спектрометрия и электронная спектроскопия. Ниже мы рассмотрим их применения на конкретных примерах.

Пучковая техника. Параметрические парных соударений частиц могут быть определены двумя способами. Первый связан с измерением макроскопических характеристик газа, второй — с изучением сталкивающихся пучков частиц. Ясно, что второй подход сложнее первого, однако присущие ему технические трудности компенсируются существенным расширением возможностей эксперимента. В самом деле, пучковая методика позволяет изучать такие столкновения частиц, которые трудно, а порой и невозможно наблюдать в газовой фазе, а также изменять в широких пределах энергию сталкивающихся частиц, благодаря чему удается получить более детальную информацию о процессе. В связи с этим во многих направлениях физики элементарных процессов совершенствование экспериментальной техники состоит в переходе от исследований в газовой фазе к измерениям в пучках.

Продemonстрируем преимущества пучковой техники на примере так называемого процесса Пеннинга, т. е. ионизации атома какого-либо элемента с малым потенциалом ионизации (мишени) при его соударении с атомом другого элемента, находящимся в возбужденном метастабильном состоянии³. В результате столкновения энергия возбуждения метастабильного атома тратится на ионизацию. Процесс Пеннинга играет важную роль в плазме газового разряда. В частности, благодаря ему добавление к газу небольшого количества

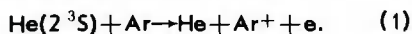
² Метастабильным называется возбужденное состояние любой квантовой системы, которое обладает относительной устойчивостью и может существовать длительное время. Метастабильными являются возбужденные состояния, квантовые переходы из которых в состояния с меньшей энергией запрещены точными или приближенными правилами отбора для квантовых чисел, характеризующих эти состояния. Такие переходы, следовательно, либо совсем не могут происходить, либо маловероятны.

Напомним, что состояния атомов принято обозначать символами $n^x l_j$, где n — главное квантовое число, l — орбитальное или азимутальное квантовое число, $J = l + s$ — суммарный момент количества движения, s — спиновое квантовое число, x — мультиплетность ($x = 2s + 1$). Вместо значений $l = 0, 1, 2$ и т. д. пишут соответственно латинские буквы S, P, D и т. д. Часто при записи энергетических уровней, отвечающих этим состояниям, ограничиваются указанием лишь значений l и x . Энергия высоковозбужденных состояний практически не зависит от спинового квантового числа s , поэтому для них его значение как правило не приводится.

³ Типичный пример этого — использование перестраиваемых лазеров для получения и исследования высоковозбужденных атомов.

легкоионизуемой примеси заметно снижает пробойное напряжение смеси.

Рассмотрим процесс Пеннинга для конкретного случая столкновения атомов аргона с находящимися в возбужденном состоянии 2^3S атомами гелия



При исследовании этого процесса в газе используются метастабильные атомы гелия, образующиеся вследствие пропускания через смесь He и Ar короткого импуль-

са тока. Зависимость концентрации метастабильных атомов от времени измеряется оптическим способом по поглощению этими атомами излучения с длиной волны $\lambda = 3889 \text{ \AA}$. В условиях, когда единственным механизмом разрушения метастабильных атомов гелия является процесс (1), константа скорости этого процесса, представляющая собой произведение его сечения на скорость соударения, усредненное с учетом равновесного распределения частиц по скоростям, может быть выражена че-

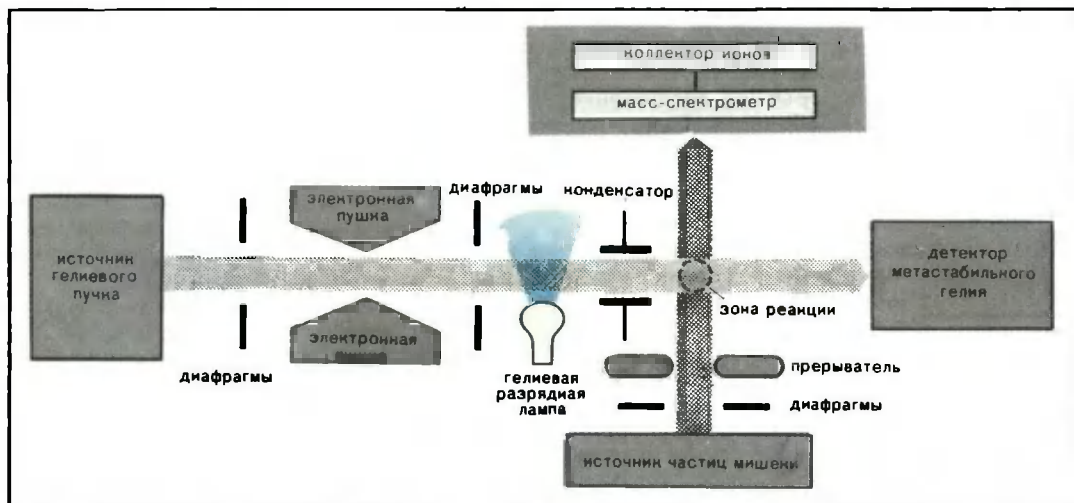


Схема эксперимента по измерению сечения процесса Пеннинга. Атомы гелия переходят в метастабильные состояния 2^3S и 2^1S в результате пропускания через пучок электрического разряда или взаимодействия этого пучка с потоком электронов, создаваемым электронной пушкой. Направленность пучка обеспечивается диафрагмами. Облучая пучок гелиевой лампой, добиваются его «очистки», т. е. уменьшения содержания в нем атомов в состоянии 2^1S , поскольку, поглощая излучение, атомы, находящиеся в этом состоянии, возбуждаются в короткоживущее состояние 2^3P . Заряженные частицы, «загрязняющие» пучок, выводятся из него, отклоняясь электрическим полем конденсатора. Число ионов, образовавшихся в зоне реакции, связанное с сечением процесса Пеннинга известными соотношениями, регистрируют по уменьшению концентрации метастабильных атомов в пучке, измеряемой специальным детектором, и независимо с помощью масс-спектрометра и коллектора ионов, позволяющих определить также тип этих ионов. Для повышения чувствительности измерений пучок частиц мишени модулируется прерывателем.

рез измеряемое экспериментально характерное время уменьшения концентрации метастабильных атомов.

Пучковая методика позволяет измерять сечение процесса Пеннинга при фиксированном значении энергии сталкивающихся частиц. По сравнению с константой скорости, сечение — более информативная характеристика, знание которой позволяет лучше понять природу явлений, протекающих на атомном уровне.

Одна из разновидностей этой методики, получившая название метода догоняющих пучков, предназначена для исследования столкновений атомных частиц при малых энергиях. Идея метода состоит в том, что если скорости частиц в обоих пучках близки, то даже при большой энергии частиц в них можно получить весьма малые энергии их относительного движения в системе центра инерции⁴.

⁴ Беляев В. А., Брежнев В. Г., Ерастов Е. М. — ЖЭТФ, 1967, т. 52, с. 1170.

Проиллюстрируем это на конкретном процессе



Атомы гелия с массой m_1 и скоростью v имеют в лабораторной системе координат энергию $E_1 = m_1 v^2 / 2$. Если молекулы водорода массой m_2 обладают той же скоростью, то их энергия в лабораторной системе координат составляет $E_2 = m_2 v^2 / 2$. Пусть, например, скорость молекул H_2 изменилась на небольшую величину Δv , что повлекло за собой изменение энергии $E = m_2 v \Delta v$. Тогда энергия относительного движения пучков в системе центра инерции будет равна

$$\epsilon = \mu (\Delta v)^2 / 2 = (m_1 E_2 / 4) \cdot E_2 (m_1 + m_2); \quad (3)$$

здесь $\mu = m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$ — приведенная масса частиц. При $E_1 = 4$ кэВ, $E_2 = 2$ кэВ и изменении энергии молекулярного пучка, скажем, на 10 эВ, энергия относительного движения частиц в системе центра инерции составит всего 0,01 эВ. Отметим, что разброс по энергиям в ионном пучке не превышает нескольких электронвольт. Поэтому методом догоняющих пучков удается изучать процессы, протекающие при тепловых и более низких энергиях столкновений.

Пучковая методика особенно удобна для заряженных частиц, поскольку в этом случае наиболее просто решаются проблемы, связанные с формированием, управлением и детектированием пучка.

Перестраиваемые лазеры. Появление перестраиваемых лазеров открыло новые возможности в исследовании ряда процессов, происходящих с участием возбужденных атомов. В настоящее время эти лазеры в комбинации с нелинейными кристаллами позволяют получать монохроматическое излучение с плавно регулируемой от 200 до 10 мкм длиной волны (что соответствует изменению энергии фотона от 6 до 0,1 эВ). Перестраиваемые лазеры заменили в экспериментальной физике традиционные монохроматоры. Они выгодно отличаются от последних существенно меньшим (в 1000 раз) значением ширины линии излучения и в 10—100 тыс. раз более высоким значением спектральной плотности мощности излучения в оптическом диапазоне. Это создает предпосылки для решения качественно новых задач, среди которых в первую очередь следует назвать исследование высоковозбужденных состоя-

ний атомов и молекул, а также запрещенных переходов.

В отличие от других методов исследований, пользуясь которыми экспериментатор имеет дело со смесью различных высоковозбужденных состояний атомов, применение перестраиваемых лазеров обеспечивает возможность избирательно переводить атомы в заданное состояние и наблюдать процессы с их участием именно в этом состоянии. В качестве примера исследований такого рода можно упомянуть измерение зависимости от главного квантового числа n сечения «тушения» (безызлучательного перехода в основное состояние) высоковозбужденных атомов $\text{Na}(n^2\text{D})$ при их столкновениях с атомами инертного газа⁵. Отметим, что в современных экспериментах максимальные значения n для высоковозбужденных состояний атомов достигают 80. Энергия связи электрона в таком состоянии не превышает $2 \cdot 10^{-3}$ эВ.

Применение перестраиваемых лазеров значительно расширило возможности исследования процессов фотоионизации и фотодиссоциации. Так, лазерные измерения порогов фотоотрыва электронов от отрицательных ионов, выполненные для нескольких десятков элементов, позволили довести точность определения энергии сродства электрона к атому до тысячных долей электронвольта⁶. Для большинства из этих элементов подобные данные ранее вообще отсутствовали.

Электронная спектроскопия. Зная энергетический спектр электронов, вылетающих при соударениях атомных частиц с тепловыми энергиями, можно, пользуясь законами сохранения, однозначно восстановить конечные состояния продуктов реакции. Точность измерения энергии электронов в настоящее время составляет величину порядка 0,01 эВ, что позволяет идентифицировать даже колебательные состояния молекулярных ионов, образующихся в исследуемом процессе.

Масс-спектроскопия. Масс-спектроскопический анализ продуктов уже много десятилетий служит источником дополнительной информации о процессе. Однако

⁵ Gallagher T. F., Edelstein A. S., Hill R. M. — Phys. Rev., 1977, v. 15A, p. 904; Olson R. E. — Ibid., p. 631.

⁶ Энергия электронного сродства равна разности энергии атома или молекулы в основном состоянии и энергии основного состояния соответствующего отрицательного иона, образованного в результате присоединения дополнительного электрона.

только после разработки малогабаритных квадрупольных масс-спектрометров без магнитного поля стало возможным широкое использование масс-спектрометрических измерений при изучении процессов, протекающих с участием заряженных частиц в газовой фазе.

Роль масс-спектрометрических исследований иллюстрирует эксперимент по измерению потенциалов ионизации ван-дер-ваальсовых молекул⁷. У таких молекул прочная химическая связь отсутствует, по-

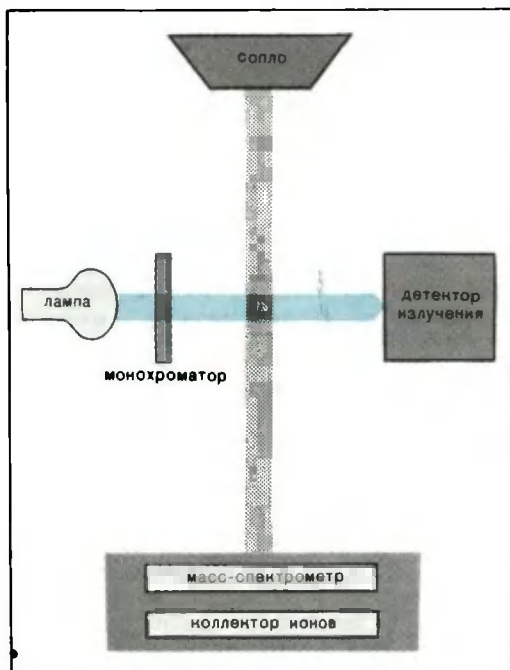


Схема измерения потенциалов ионизации ван-дер-ваальсовых молекул. Пучок молекул на выходе из сопла ионизируется монохроматическим ультрафиолетовым излучением, выделяемым монохроматором из сплошного спектра излучения лампы и регистрируемым детектором. Квадрупольный масс-спектрометр позволяет отделить ионы определенного сорта, собираемые на коллекторе.

этому они эффективно образуются при низких температурах и высоких давлениях газа. Ван-дер-ваальсовой является, например, молекула $(N_2)_2$, состоящая из двух молекул азота.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

По мере разработки и реализации новых экспериментальных методик, а также развития прикладных направлений изменяется отношение к различным объектам, изучаемым атомной физикой. При этом интерес к таким традиционным объектам, как простейшие атомы и молекулы, сменяется стремлением к исследованию атомных частиц, которые еще в недавнем прошлом считались экзотическими. Далее мы рассмотрим те из них, которые привлекают в настоящее время повышенное внимание специалистов.

Возбужденные атомы. Возбужденные состояния атомов изучались еще в период становления атомной физики. Достаточно напомнить об эксперименте Франка и Герца (1913 г.), в результате которого была доказана справедливость соотношения $E=h\nu$ для атомного перехода, что имело принципиальное значение при создании квантовой механики. И сегодня исследование возбужденных атомов занимает заметное место в атомной физике, а их свойства широко применяются в различных точных приборах. Остановимся подробнее на двух примерах такого типа.

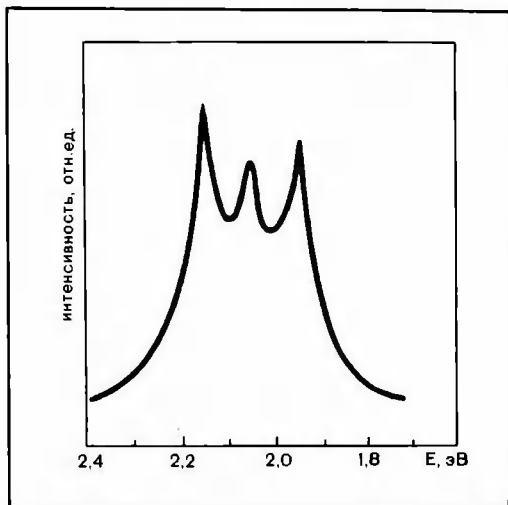
Первый относится к использованию возбужденных атомов для измерения малых магнитных полей. Подобный магнитометр, созданный в Ленинградском физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе АН СССР, содержит газоразрядную камеру, заполненную гелием. Импульс тока приводит к образованию в камере заметного количества метастабильных атомов $He(2^3S)$ (их плотность в реальных условиях около 10^{10} см^{-3} при плотности атомов в основном состоянии порядка 10^{16} см^{-3}). Эти атомы используются для оптической накачки — они возбуждаются светом в состоянии 2^3P , из которого, испуская фотон, переходят в исходное состояние. В результате такой накачки создается неравновесное распределение атомов по состояниям с разной проекцией атомного спина на направление импульса фотона.

В магнитном поле метастабильный уровень энергии атома расщепляется на три подуровня, отличающихся проекцией спина на направление поля. Величина расщепления пропорциональна напряженности этого поля. Переменное магнитное поле, частота которого соответствует расщеплению между подуровнями, вызывает переходы между ними. Зная резонансную частоту, при которой поглощение максимально (ее значения лежат в радио-

⁷ Ng C. Y. et al.— J. Chem. Phys., 1977, v. 67, p. 4235.

диапазоне), можно определить величину напряженности магнитного поля, вызывающего расщепление энергетического уровня. Квантовый магнитометр описанного типа позволяет измерять напряженности вплоть до 10^{-7} эрстед.

Другой пример связан с детектированием атомов данного сорта в газовой смеси. В этом случае газ возбуждают монохроматическим светом, после чего возбужденные атомы ионизируются пучком фотонов с энергией, недостаточной для

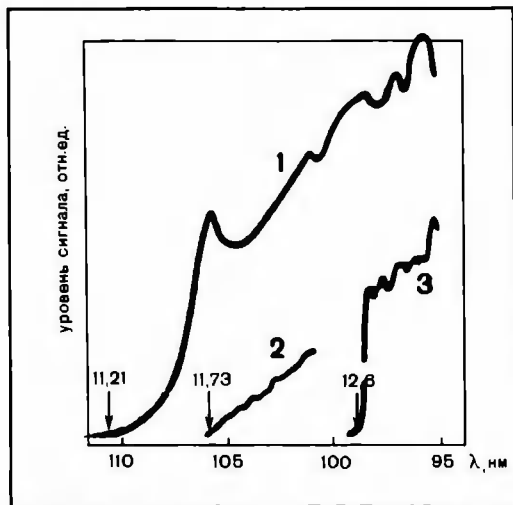


Энергетический спектр электронов реакции $U + O_2 \rightarrow UO_2^+ + e$ при тепловых энергиях столкновения. Энергии образующихся электронов малы по сравнению с энергетическим выходом реакции (4,1 эВ), откуда следует, что молекулярные ионы образуются в колебательных возбужденных состояниях. Расстояния между пиками, соответствующими различным колебательным уровням этих ионов, равны примерно 0,08 эВ, т. е. разности энергий колебательных состояний. Таким образом, удается сделать заключение о распределении энергии, выделяющейся в реакции, по различным степеням свободы продуктов.

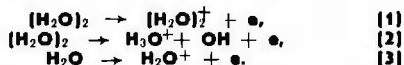
ионизации атомов в основном состоянии. Длина волны монохроматического светового излучения подбирается так, чтобы индуцировать определенный переход для данного сорта атомов, которые после ионизации извлекаются из газа электрическим полем. Этот метод, получивший название метода двухступенчатой ионизации, обладает высокой селективностью и

оказывается весьма эффективным для регистрации отдельных атомов. О его возможностях свидетельствуют результаты Окриджской национальной лаборатории (США)⁸, где с помощью метода двухступенчатой ионизации атомов цезия удалось достичь чувствительности, позволяющей обнаружить один атом цезия в 1 см^3 воздуха, содержащем примерно 10^{19} молекул.

С развитием этих исследований появляются все новые направления использования возбужденных атомов и становит-



Зависимость от длины волны λ падающего излучения тока различных ионов, образующихся при фотонионизации молекул воды в результате процессов

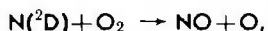


Пороговые значения энергии ионизации (в электрон-вольтах) отмечены у соответствующих кривых числами и стрелками. На кривых 2 и 3 ординаты точек изображены в уменьшенных масштабах (0,1 и 0,003 соответственно).

ся более понятной их роль в различных процессах и явлениях природы. В подтверждение этих слов приведем пример, относящийся к физике атмосферы. Как выяснилось, образование окиси азота

⁸ Figger H. et al.— Opt. Comm., 1980, v. 33, p. 37.

в верхних слоях атмосферы, где ее концентрация относительно велика, происходит по схеме



т. е. в результате химической реакции с участием метастабильного атома азота.

Высоковозбужденные состояния атомов. Интерес к исследованию высоковозбужденных состояний, зародившийся в период создания квантовой механики, сохранился до наших дней. Так, в середине 60-х годов по предложению английского ученого Дж. Хискеса были проведены интересные эксперименты по инжектированию высоковозбужденных атомов водорода в горячую плазму. Поскольку высоковозбужденные атомы, в отличие от ионов, не отклоняются магнитным полем, но в то же время легко ионизируются, их инжекция в плазму термоядерного реактора представлялась удобным способом ее нагрева. Однако, в дальнейшем этот путь оказался неконкурентоспособным по сравнению с другими методами получения термоядерной плазмы.

Качественно новый этап исследований высоковозбужденных состояний атомов связан с применением перестраиваемых лазеров, которые позволили избирательно переводить атомы в заданные состояния. Благодаря этому к настоящему времени накоплена обширная информация о высоковозбужденных атомах и процессах, в которых они участвуют. Свойства высоковозбужденных состояний атомов сегодня эффективно используются, в частности, в детекторах субмиллиметрового излучения, позволяющих регистрировать рекордно малые потоки.

Действие такого прибора основано на измерении вероятности переходов между различными высоковозбужденными состояниями атомов, происходящих в результате поглощения теплового излучения. Возбуждают атомы в заданное состояние, а также измеряют их концентрацию в этом состоянии с помощью перестраиваемых лазеров.

Под действием лазерного излучения приблизительно одна тысячная часть атомов натрия в пучке с интенсивностью порядка 10^{11} частиц/с возбуждается в состояние 22 D. В результате поглощения теплового излучения от исследуемого источника примерно такая же доля возбужденных атомов переходит в вышележащее состояние 23 P, так что при температуре источника 300 К величина потока атомов Na (23 P)

составляет 10^3 частиц/с. Времена жизни по отношению к излучению в этих состояниях равны 10^{-5} с и $3 \cdot 10^{-5}$ с соответственно. Поэтому лишь 5% атомов Na (22 D) и около 40% атомов Na (23 P) достигают конденсатора, напряжение на котором не оказывает заметного влияния на атомы в первом из этих состояний, но достаточно для ионизации атомов, находящихся в более высоком возбужденном состоянии. Эффективность такого детектора, т. е. отношение числа регистрируемых ионов к числу

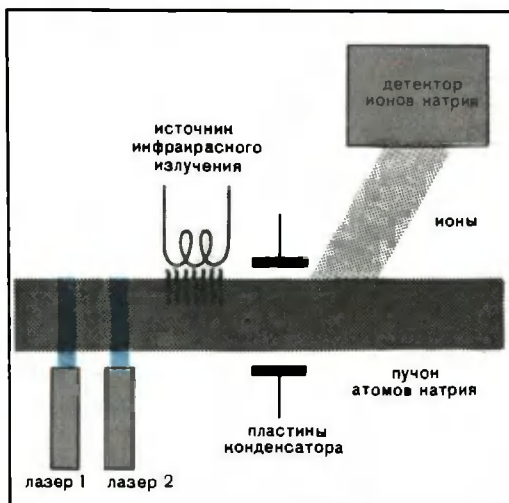


Схема детектора для регистрации слабых потоков инфракрасного излучения. Пучок атомов натрия возбуждается двумя перестраиваемыми лазерами, один из которых вызывает переходы атомов из состояния $3^2S_{1/2}$ в состояние $3^2P_{1/2}$, а другой — переводит их из состояния $3^2P_{1/2}$ в высоковозбужденное состояние 22 D. Под действием излучения атомы из состояния 22 D возбуждаются в более высокое состояние 23 P. Атомы, находящиеся в этом состоянии, ионизируются электрическим полем конденсатора, напряжение на котором подбирается с учетом их энергии ионизации. Величина ионного тока, измеряемого в эксперименте, пропорциональна интенсивности излучения от исследуемого источника. Стенки рабочей камеры детектора охлаждаются до низкой температуры (около 14 К) с тем, чтобы роль их теплового излучения была минимальной. Такой детектор позволяет измерять рекордно малые потоки излучения в субмиллиметровом диапазоне длин волн.

поглощенных фотонов, достигает $3 \cdot 10^{-3}$, иными словами, он регистрирует 300 ионов в 1 с.

Детектор этого типа обладает в пять раз лучшей чувствительностью, чем прибор, выполненный на базе лавинопролетного диода Шотки и в 30 раз более высо-

кой чувствительностью, чем детектор, основанный на использовании эффекта Джозефсона. Как показывают оценки, понижение температуры стенок детектора до 4 К позволит поднять его чувствительность еще примерно в 100 раз.

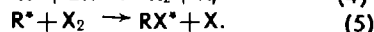
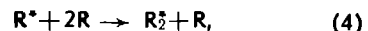
Экимерные молекулы. Так называют молекулы, которые образуют химическую связь только в возбужденном состоянии. Зависимость энергии от расстояния между ядрами для возбужденного состояния такой молекулы имеет характерный немонотонный вид. Для молекулы, составленной из тех же атомов, находящихся в основном состоянии, эта зависимость (в пренебрежении слабым дальнедействующим притяжением) представляет собой монотонно убывающую функцию, отвечающую взаимному отталкиванию атомов. Поскольку излучение экимерных молекул не поглощается остальными молекулами газа, газ с достаточно большим количеством экимерных молекул представляет собой активную среду для лазера. Создание таких лазеров, называемых экимерными, стало возможным в начале 70-х годов, после того как была разработана методика, однородного по всему объему возбуждения газа при высоком давлении за время 10^{-9} — 10^{-7} с.

Наиболее хорошо изучены двухатомные экимерные молекулы, по крайней мере один из компонентов которых — атом благородного газа. Энергия возбужденных состояний этих атомов составляет 10 эВ и выше, поэтому излучение экимерных молекул обычно отвечает ультрафиолетовой области спектра. Ширина линии излучения определяется обратным временем разлета атомов и достигает десятых долей электронвольта.

К настоящему времени подробно исследовано несколько десятков экимерных молекул различного типа. Некоторые из них, такие как димеры (Ar_2 , Kr_2 , Xe_2), моногалогениды (ArF , KrF , XeCl , XeF и т. д.) и оксиды благородных газов (ArO , KrO , XeO), послужили основой импульсных экимерных лазеров, дающих ультрафиолетовое излучение с плавно перестраиваемой частотой⁹. Практическая потребность в таких лазерах стала мощным стимулом изучения свойств экимерных молекул, механизмов их образования и разрушения, а также способов их эффективного получения в большом объеме. Впервые возмож-

ность создания ультрафиолетового лазера на переходах экимерной молекулы была продемонстрирована экспериментально Н. Г. Басовым с сотрудниками¹⁰.

Детальный анализ механизмов возникновения экимерных молекул в газе, выполненный в начале 70-х годов, показал, что при наличии резонансно-возбужденных атомов инертного газа R^* интенсивное образование экимерных молекул типа R_2^* и RX^* (X — атом галогена) может происходить в результате следующих процессов:



Были измерены скорости этих процессов и определены оптимальные условия их протекания. Большой интерес для развития представлений о механизмах протекания химических реакций имеют результаты исследований реакции (5). Они приводят к заключению о том, что с точки зрения как химической кинетики, так и спектроскопии существует глубокая аналогия между щелочно-галогидными соединениями NaF , RbF , CsBr и экимерными молекулами ArF^* , KrF^* , XeBr^* и др. Так, наиболее эффективный механизм протекания реакции (5) связан с образованием в виртуальном состоянии отрицательного иона, кулоновское взаимодействие которого с ионом инертного газа приводит к разрыву химической связи $\text{X}-\text{X}$ и образованию более прочной связи ионного типа $\text{R}^+ - \text{X}^-$



При этом энергия связи и постоянная ангармонизма экимерных молекул RX^* оказываются близкими соответствующим значениям для молекул галогенидов щелочных металлов.

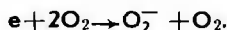
Колебательно-возбужденные молекулы. Хотя колебательно-возбужденные молекулы можно причислить к традиционным объектам атомной физики, последовательное и углубленное изучение их физико-химических свойств происходит лишь в настоящее время. В последнее десятилетие разработана физическая кинетика неравновесного молекулярного газа, в котором заселенность возбужденных колебательных состояний превышает равновесную. Такая

⁹ Подробнее об этом см., напр.: Экимерные лазеры. М., 1981; Елецкий А. В.— Усп. физ. наук, 1978, т. 125, с. 279.

¹⁰ Басов Н. Г. и др.— Письма в ЖЭТФ, 1970, т. 12, с. 473; Basov N. G. et al.— J. Luminescence, 1970, v. 1, p. 874.

ситуация имеет место в газоразрядных молекулярных системах и молекулярных газовых лазерах. Способы создания неравновесной заселенности колебательных состояний могут быть разными. Один из них, используемый в химических газовых лазерах, основан на колебательном возбуждении продуктов некоторых химических реакций. Как показывают многочисленные эксперименты, значительная часть (50—70%) энергии, выделяющейся при экзотермической химической реакции, преобразуется в энергию колебательного возбуждения двухатомных молекул, образующихся в ходе реакции. Поскольку доля энергии колебаний в состоянии термодинамического равновесия для двухатомной молекулы не превышает $2/7 \approx 28\%$, состояние газа, молекулы которого участвуют в реакции, является сильно неравновесным. Газ в таком состоянии представляет собой готовую активную среду, в частности, для лазера, работающего на колебательно-вращательных переходах двухатомных молекул. Из химических лазеров такого типа следует упомянуть в первую очередь лазеры на молекулах HF, DF, HCl, CO.

Отрицательные ионы. Отрицательные ионы играют важную роль в различных процессах, протекающих в газовом разряде, атмосфере Земли, фотосфере Солнца и т. д. Например, образующиеся при ионизации воздуха электроны превращаются в отрицательные ионы в результате реакции



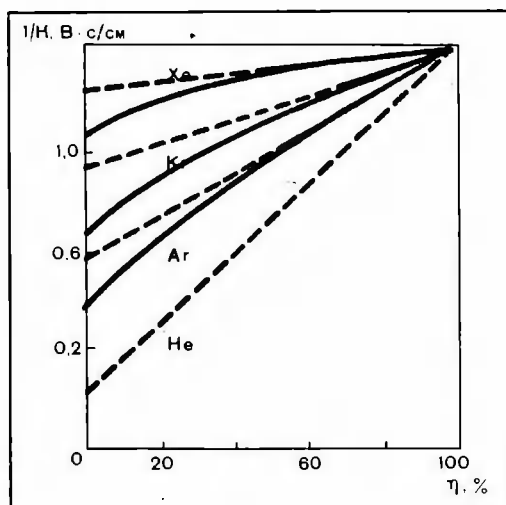
Этот процесс при нормальных условиях протекает за доли микросекунды. Так как тяжелые отрицательные ионы кислорода имеют подвижность примерно в 100 раз меньшую, чем электроны, прилипание электронов к молекулам кислорода приводит к резкому снижению проводимости воздуха.

Зародившиеся в начале века исследования отрицательных ионов и процессов, в которых они участвуют, не прекращаются и поныне. В последние годы благодаря применению перестраиваемых лазеров получены обширные и достаточно надежные сведения об энергиях связи электронов в отрицательных ионах для большей части Периодической системы элементов Менделеева.

Еще в конце 60-х годов полностью отсутствовала информация о фотодиссоциации отрицательных ионов, происходящей, в частности, в верхних слоях атмосфе-

ры Земли. Сейчас мы имеем такие данные, относящиеся к целому ряду молекулярных и кластерных отрицательных ионов. В последнее десятилетие существенно изменились наши представления о многих процессах, протекающих при участии отрицательных ионов.

Кластерные ионы. Кластерный (комплексный) ион — это сложный ион, компоненты которого сохраняют свою индивидуальность. Энергия связи этих компонентов для большинства кластерных ионов



Зависимость обратной подвижности $1/K$ ионов лития в смеси инертного газа с парами воды от концентрации η этих паров. Отклонение от пунктирных прямых вызвано образованием кластерных ионов (отсутствующим в гелии), эффективность которого пропорциональна давлению паров. Этот процесс резко снижает подвижность ионов в плазме, изменяя таким образом ее кинетические свойства.

ниже, чем энергия разрыва химической связи в молекулах, и составляет 0,1—1 эВ. Поэтому кластерные ионы образуются при низких температурах или высоком давлении газа, причем в этих условиях они остаются достаточно устойчивыми. Так, например, все отрицательные ионы в стратосфере Земли (перечисленные в таблице) являются кластерными.

Сегодня мы располагаем подробной информацией о кластерных ионах, а также о различных реакциях с их участием. Это позволяет исследовать характеристики кон-

Таблица

Кластерные ионы в атмосфере Земли на высоте 40 км

Ион	Распространенность, %
$\text{NO}_3^- \cdot (\text{HNO}_3)_2$	65
$\text{HSO}_4^- \cdot (\text{HNO}_3)_2$	14
$\text{HSO}_4^- \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$	7
$\text{HSO}_4^- \cdot \text{HNO}_3$	5
$\text{HSO}_4^- \cdot \text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{HNO}_3$	3
$\text{NO}_3^- \cdot \text{HNO}_3$	3
$\text{HSO}_4^- \cdot (\text{H}_2\text{SO}_4)_2$	3

кретной слабоионизованной плазмы с учетом цепи процессов, которые в ней протекают. В частности, создана физическая картина процессов, происходящих в Д-слое ионосферы, центральное место в которой занимают кластерные ионы.

Многозарядные ионы. Почти вся информация о многозарядных ионах появилась лишь в последние годы, благодаря резкой интенсификации исследований этих объектов атомной физики. Растущий интерес к многозарядным ионам в настоящее время вызван, с одной стороны, расширением возможностей плазменных, лазерных и ускорительных устройств, используемых для создания многозарядных ионов, а с другой — той ролью, которую многозарядные ионы играют в термоядерной плазме. Атомы, выбитые из стенок термоядерного реактора ионами горячей плазмы, могут попасть в центральную зону реактора, где из-за соударений с заряженными частицами они полностью или частично теряют свои электроны и превращаются в многозарядные ионы, которые возбуждаются при столкновениях с электронами плазмы. В возбужденных многозарядных ионах эффективно происходят переходы, сопровождаемые излучением фотонов. Это в конечном итоге приводит к интенсивной перекачке энергии плазмы в энергию излучения и к остыванию плазмы.

Еще одним важным стимулом изучения процессов, происходящих при участии многозарядных ионов, служит перспектива создания лазеров далекого ультрафиолетового и рентгеновского диапазонов. В лазерах этого типа инверсная заселенность создается в результате переходов между возбужденными состояниями многозарядных ионов, поэтому сведения об образовании и разрушении многозарядных ионов совершенно необходимы для планирования соответствующих экспериментальных работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье основное внимание уделено экспериментальным исследованиям в области атомной физики. Однако отсюда вовсе не следует, что роль теории в рассматриваемой области науки сегодня несущественна. Как и всякая теория, теория атомных явлений обобщает и закрепляет успехи эксперимента и тем самым намечает пути его дальнейшего развития. Наряду с этим теория в атомной физике наших дней имеет и самостоятельное (не связанное непосредственно с анализом экспериментальных данных) значение. Во-первых, в настоящее время достаточно хорошо разработаны методы расчета атомных структур. Благодаря этому с помощью современных ЭВМ удается надежно определять многие параметры атомных систем, в частности энергии электронного состояния атомов, молекул, молекулярных ионов и т. д. Во-вторых, теория позволяет рассчитывать характеристики отдельных процессов, опираясь на различные физические модели или используя разложения по малым параметрам. В некоторых случаях теория способна вычислить эти характеристики с точностью, более высокой, чем достигнутая экспериментально.

Даже беглое знакомство с современным состоянием атомной физики приводит к выводу о том, что она является интенсивно развивающейся областью физической науки. Совершенствование экспериментальной техники, расширение круга исследуемых объектов, а также тесная связь с другими направлениями фундаментальной и прикладной физики служат, вне всякого сомнения, залогом ее дальнейшего прогресса.

Международная программа «Год солнечного максимума» — основные результаты

В. Е. Степанов, В. В. Касинский, В. М. Томозов

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И ВСПЫШКИ

Очередной максимум активности Солнца, по прогнозам астрофизиков, должен был прийти на 1979—1980 гг. Подобные прогнозы возможны, поскольку из наблюдений известно, что примерно каждые 11 лет солнечная активность достигает своего максимального значения.

В периоды максимумов в десятки раз возрастают количество и средние размеры пятен на Солнце; в области пятен концентрируются сильные магнитные поля, чаще возникают вспышки и многократно увеличивается электромагнитное излучение Солнца в коротковолновой части спектра. На поверхности солнечного диска в видимой области спектра появляются многочисленные активные области — группы пятен, темные волокна, разделяющие магнитные поля противоположной полярности, в верхних слоях горячей короны наблюдаются облака относительно холодной плазмы — протуберансы. Максимум активности затрагивает все три яруса солнечной атмосферы: фотосферу, излучающую видимый свет; хромосферу, где главным образом наблюдаются вспышечные процессы, и, наконец, корону — наиболее разреженную и горячую (с температурой плазмы около 2 млн град.) внешнюю часть атмосферы Солнца.

Одно из самых ярких проявлений солнечной активности — солнечные вспышки. Это самые мощные нестационарные процессы в атмосфере Солнца, похожие на гигантские взрывы. За 10^2 — 10^3 с выделяется огромное количество энергии, достигающее иногда в особенно мощных событиях 10^{32} эрг. Даже во время наиболее мощных 7—8-балльных землетрясений выделяется всего 10^{24} эрг энергии. Поэтому мощная солнечная вспышка представляет собой катаклизм космического масштаба, последствия которого затрагивают не только Землю, но сказываются вплоть до орбиты Юпитера. Вспышки сопровождаются ударными волнами в короне Солнца и межпланетной среде, выбросом массивных облаков

горячей плазмы в околоземное пространство, всплесками радио- и коротковолнового излучения. Кроме того, возникают γ -, жесткое и мягкое рентгеновское излучение, кванты ультрафиолетового диапазона. Вспышки порождают космические лучи солнечного происхождения — электроны, протоны и ядра тяжелых элементов, ускоренные до энергий в десятки гига- и мегаэлектронвольт.

Еще в прошлом веке было замечено, что вспышки на Солнце сопровождаются геофизическими явлениями — магнитными бурями и полярными сияниями. В современных условиях, когда хозяйственная и техническая деятельность человека многократно возросла, увеличились уровень сложности и энерговооруженность используемых систем, геофизические эффекты от солнечных вспышек стали ощущаться гораздо заметнее. Так, мощные вспышки способны нарушить работу радио- и телефонной связи, понизить радиолокационную видимость и через геомагнитные возмущения привести к усилению электрохимической коррозии нефте- и газопроводов. Периоды повышенной вспышечной активности Солнца, по-видимому, сопровождаются изменениями динамики погодных режимов на Земле. Отмечены косвенные воздействия солнечных вспышек на деятельность живых организмов и человека. Потоки протонов высоких энергий от мощных вспышек представляют серьезную радиационную опасность для экипажей космических кораблей и орбитальных станций, что при современных длительных полетах в ближний космос требует совершенствования службы «солнечной погоды» и разработки методов оперативного и точного прогнозирования наиболее мощных вспышек.

Помимо большого прикладного значения, раскрытие физической природы вспышек представляет огромный интерес и с точки зрения фундаментальных исследований. Ведь Солнце остается пока уникальной космической плазменной лабораторией, позволяющей достаточно глубоко



Владимир Евгеньевич Степанов, член-корреспондент АН СССР, старший научный сотрудник Сибирского института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн СО АН СССР, председатель советского оргкомитета программы «Год солнечного максимума», член международного комитета по проведению этой программы. Основные научные интересы связаны с исследованием эволюции активных областей на Солнце. Разработал теорию образования спектральных линий в магнитном поле Солнца.



Валентин Викторович Касинский, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник того же института. Секретарь советской рабочей группы программы «Год солнечного максимума». Занимается изучением глобальных и локальных пространственно-временных закономерностей солнечных вспышек.



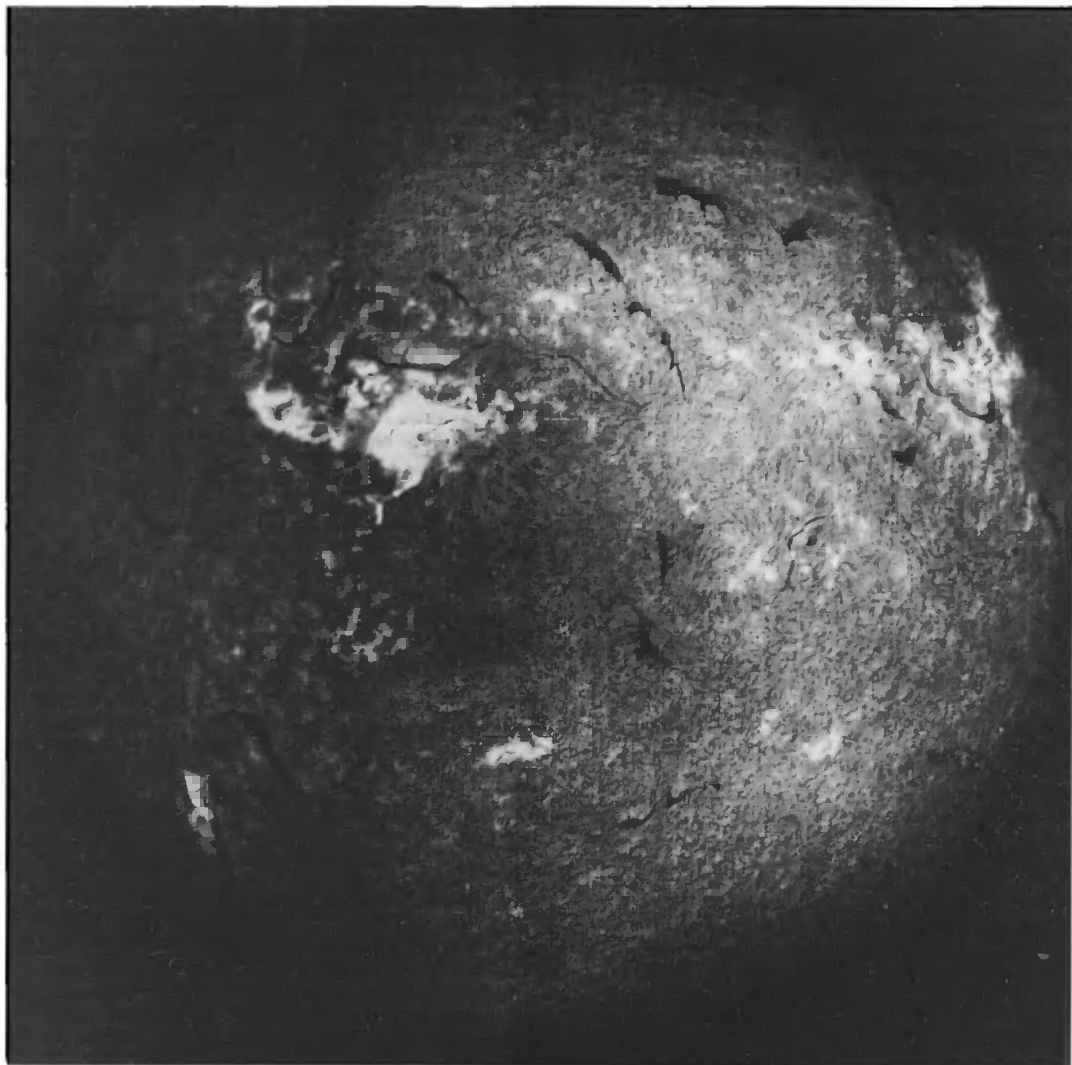
Владимир Михайлович Томозов, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник того же института. Занимается вопросами теории солнечных вспышек, плазменной астрофизикой. Автор книг: Взорывные процессы на Солнце (в соавторстве с В. Н. Цытовичем). М., 1979; Солнечные вспышки (в соавторстве с А. Т. Алтынцевым, В. Г. Баниным, Г. В. Куклиным). М., 1982. Неоднократно печатался в «Природе».

изучать проблемы, связанные с генерацией и распространением потоков частиц высоких энергий в магнитных полях напряженностью 4000 Э и протяженностью до 100 тыс. км, при температурах (10—100) млн град. Исследование вспышек на Солнце позволит понять механизм ускорения частиц в различных астрофизических объектах: пульсарах, взрывающихся сверхновых звездах и т. д.

ЗАДАЧИ ПРОГРАММЫ «ГОД СОЛНЕЧНОГО МАКСИМУМА»

К моменту максимума 1979—1980 гг. (который, по прогнозам, мог уступить по интенсивности только известному макси-

муму 1957—1958 гг., когда совпали амплитуды 11-летнего и 80-летнего циклов активности), на вооружении астрофизиков-солнечников уже была новая спектральная техника, магнитографы обычного и усовершенствованного панорамного типа, большие врезатменные коронографы с диаметром объектива до 500 мм, вакуумные телескопы. Все это позволяло получить как большое пространственное (до нескольких угловых секунд), так и временное разрешение при наблюдениях тонких деталей и процессов на Солнце, что весьма важно для понимания физических механизмов солнечных явлений. (Напомним, что земная атмосфера не позволяет наблюдать на Солнце детали размером менее 700 км.)



Фотография хромосферы Солнца, в которой 16 мая 1981 г. зарегистрирована большая вспышка балла ЗВ. Снимок получен с помощью хромосферного телескопа Байкальской астрофизической обсерватории СибИЗМИРА СО АН СССР.

Так, в Советском Союзе действует мощный радиотелескоп РАТАН-600 с диаметром антенны 600 м, с помощью которого можно различать весьма тонкие детали в атмосфере Солнца. В Крымской астрофизической обсерватории АН СССР работает башенный солнечный телескоп с диаметром зеркала 100 см, на котором проводятся систематические наблюдения глобальных пульсаций Солнца¹. Ряд инсти-

тутов и обсерваторий страны (Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР, Сибирский институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн СО АН СССР, Пулковская обсерватория и Крымская астрофизическая обсерватория АН СССР) располагают современными магнитографами, которые регистрируют магнитные поля в активных областях Солнца. В СибИЗМИРе вступил в действие автоматизированный солнечный телескоп с панорамным магнитографом, с помощью кото-

¹ Подробнее об этом см.: Северный А. Б. Солнце как звезда.— Природа, 1983, № 4, с.59.

рого каждые пять минут измеряется магнитное поле активной области; сконструированы новые монохроматические оптические фильтры, работает телескоп оперативных прогнозов для регистрации общего магнитного поля Солнца. Действует также радиотелескоп на волне 5 см; после введения в строй 256 параболических антенн этого телескопа можно будет наблюдать объекты на Солнце с разрешением всего в 20 угловых секунд, т. е. настраиваться на отдельные солнечные пятна.

Сочетание наземных установок с аппаратурой на спутниках и космических станциях позволяет синхронно наблюдать один и тот же объект на Солнце в различных диапазонах электромагнитного спектра. Организация круглосуточного изучения Солнца в масштабах всего земного шара открывает широкие возможности для исследования солнечных вспышек.

Необходимость комплексного изучения вспышечных явлений на Солнце стала очевидной не только для большинства астрофизиков, но и для геофизиков, космофизиков, биологов. Относительная кратковременность солнечных вспышек (большая вспышка продолжается 1—3 ч, а малая 10—15 мин, причем время непосредственного выделения энергии составляет минуты) требует четкой координации действий большого числа наблюдателей и постоянной готовности регистрирующей аппаратуры.

Так еще в 1973 г. возникла идея международной программы «Год солнечного максимума» (ГСМ), основная цель которой — координированное изучение солнечной активности в период максимума 1979—1980 гг. По мере разработки и детализации программы было выяснено, что оборудование, которым располагают обсерватории и станции по наблюдениям Солнца, можно использовать наиболее эффективно, если сконцентрировать все усилия на одной проблеме — расшифровке механизма возникновения солнечных вспышек. Было принято решение проводить программу в течение 19 месяцев, с августа 1979 г. по февраль 1981 г.

В результате подготовительной работы определилось три основных направления программы:

FBS (Flare Build-up Study) — исследование физических механизмов накопления энергии в топологических структурах магнитных полей на Солнце и основных типов неустойчивостей магнитных конфигураций, приводящих к появлению вспышек;

SERF (Study of Energy Release in Flares) — изучение процессов выделения энергии и непосредственного ускорения частиц высоких энергий — электронов, протонов, ядер гелия и других тяжелых элементов;

STIP (Study of Travelling Interplanetary Phenomena) — регистрация возмущений, идущих от вспышек через межпланетную среду до орбиты Земли (высокоскоростные потоки солнечного ветра, ударные волны и быстрые частицы).

FBS разрабатывался совместно специалистами в области физики Солнца и магнитосферы Земли. Было обращено внимание на глубокую аналогию между явлениями в солнечных вспышках и в магнитосферных суббурях: механизмы накопления и освобождения энергии в солнечных вспышках, связанные с перестройкой магнитных полей, осуществляются как бы в миниатюре и в хвосте магнитосферы Земли во время магнитных суббурь. Вероятно, то же самое имеет место в мощной магнитосфере Юпитера, радиовсплески в которой (дециметровый диапазон) давно известны. Теоретики предполагают, что свободная энергия магнитных полей может накопиться в солнечной атмосфере двумя путями: в результате формирования в короне токового слоя, разделяющего магнитные поля противоположного направления, и в петельных структурах с током, текущим вдоль магнитного поля (сходные процессы происходят в установках термоядерного синтеза — токамаках). В соответствии с этими предположениями вспышки должны возникать из-за быстрой перестройки магнитных полей в короне над активными областями Солнца и сопровождаться упрощением их структуры.

Однако для надежного подтверждения теоретических соображений необходимо получить прямые данные, свидетельствующие об уменьшении напряженности магнитного поля и упрощении его конфигурации после вспышки. Имеющийся до сих пор материал был недостаточен для окончательных выводов. Единственный надежный факт, более 15 лет назад установленный А. Б. Северным с сотрудниками, заключался в том, что после вспышки градиенты магнитного поля уменьшались и его конфигурация становилась менее сложной. Все это необходимо было проверить с помощью новых инструментов с большим пространственным и временным разрешением; ставилась задача отделить изменения магнитного поля, связанные собственно со вспышками, от обычных временных суточных вариаций этого поля. Необходимо



Солнечная вспышка 21 мая 1980 г. Событие развивалось по обычной схеме: темное волокно на нейтральной линии магнитного поля до вспышки, 18 ч 23 мин (вверху); всплытие нового магнитного потока под волокном, выделение магнитной энергии, запасенной в волокне, и появление двух ярких лент по обе стороны нейтральной линии, 21 ч 14 мин (в центре); восстановление волокна в процессе затухания вспышки, 22 ч 23 мин (внизу). Снимок получен в обсерватории в Боулдере (Колорадо, США).

было установить конкретный тип метастабильной предвспышечной конфигурации поля. Например, если бы удалось обнаружить нарастающие изменения винтовой структуры фотосферных магнитных полей перед вспышкой, можно было бы сделать вывод о природе триггерного механизма, «запускающего» вспышечный процесс. Требовалось также надежно подтвердить связь между выходом на поверхность Солнца новых магнитных полей в пределах активной области и возникновением вспышки. Решающую роль могли бы сыграть наблюдательные доказательства формирования устойчивых токовых слоев в атмосфере Солнца перед вспышками: в этом случае должны наблюдаться поляризация радиоизлучения и нагрев в верхней короне.

Весьма интересно, что перед многими вспышками возникает так называемый предвестник: происходит относительно медленный нагрев всей плазмы активной области, что отчетливо наблюдается в радио-, оптическом, ультрафиолетовом и рентгеновском излучении короны. Как правило, в фазе предвестника, предвещающей возникновение больших, так называемых двухленточных вспышек, активизируется темное волокно: в нем проявляются колебательные и поступательные движения. Вполне вероятно, что предвспышечная стадия возмущения темного волокна — прямое доказательство дестабилизации исходной структуры магнитного поля перед началом вспышечного процесса.

Центральной задачей второго направления программы, SERF, было исследование механизма преобразования энергии, предварительно запасенной в магнитном поле, в энергию ускоренных частиц. Известно, что частицы ускоряются в весьма кратковременную «импульсную» (или первую) фазу развития, когда интенсивность оптического и рентгеновского излучения в области вспышки резко, за 1—2 мин возрастает. Основная цель изучения вспышек во время этой фазы — определение области, в которой локализован механизм ускорения частиц. Быстрые частицы больших энергий, распространяясь от токового слоя вниз, нагревают последовательно корону, переходной слой и хромосферу, о чем можно судить по взаимному расположению очагов рентгеновского, ультрафиолетового и оптического излучения. Кроме того, нагрев солнечной плазмы ускоренными частицами и жестким излучением должен сопровождаться быстрыми гидродинамическими движениями в атмосфере Солнца с образованием ударных волн. По-

этому детальные наблюдения ядер вспышечной эмиссии (т. е. областей наиболее яркого свечения вспышки) позволят количественно проверить существующие теоретические модели нагрева области вспышки.

Одна из важных задач SERF — изучение второй фазы ускорения частиц во вспышках, во время которой электроны и протоны могут ускоряться до релятивистских энергий. И, наконец, в ходе выполнения SERF предполагалось выяснить роль петельных конфигураций магнитного поля в образовании наблюдаемой структуры вспышки.

В задачи STIP входило изучение параметров межпланетной среды в активные периоды деятельности Солнца и получение данных о распространении вспышечных возмущений в короне и солнечном ветре. Представлялось также интересным выявить процессы, ответственные за формирование в солнечной короне областей с пониженной плотностью плазмы — корональных дыр, которые, возможно, представляют собой источник высокоскоростных потоков в солнечном ветре. Ударные волны и разрывы в плазме солнечного ветра образуются вследствие гигантских выбросов корональной плазмы, вызванных вспышками. Выбросы больших (до 10 млрд т) масс горячей плазмы, получившие название транзиентов, составляют, согласно оценкам, около 10% вещества, поступающего в солнечный ветер. Известно, что на ведущем крае транзиента возникает ударная волна, и, следовательно, именно здесь возможно ускорение частиц до высоких энергий. В ходе выполнения STIP необходимо было провести наблюдения источников выброса вещества, выявить характер ускорения частиц в короне, определить их состав и плотность, измерить величину магнитного поля в транзиентах вплоть до расстояния 1 а. е. от Солнца, т. е. на орбите Земли.

ОРГАНИЗАЦИЯ НАБЛЮДЕНИЙ

В выполнении программы «Год солнечного максимума» участвовало около 1500 исследователей, свыше 50 крупных обсерваторий, в том числе 6 обсерваторий социалистических стран, 17 обсерваторий СССР и, кроме того, 3 научно-исследовательских института нашей страны — Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР, Институт космических исследований АН СССР, Научно-исследовательский радиофизический институт в Горьком. Наиболее активными иностранными участни-

ками проекта являлись США, Франция, Нидерланды, Япония.

Для сбора данных о γ -, рентгеновском и ультрафиолетовом излучении солнечных вспышек, которые невозможно получить наземными средствами, а также для измерения магнитных полей в солнечном ветре и регистрации частиц высоких энергий была использована аппаратура уже функционирующих на орбите Земли космических аппаратов: «GEOS» (Европейское космическое агентство), «Хинотори» (Япония) и «Венера-11,12», «Прогноз-7,8» (СССР). Кроме того, специально по программе ГСМ был запущен специализированный американский спутник «SMM» (Solar Maximum Mission), оснащенный приборами для получения изображения Солнца в рентгеновских лучах, спектрометрами рентгеновского и ультрафиолетового излучений, детекторами для регистрации γ -излучения и частиц различных энергий, а также аппаратурой для измерений полного потока солнечного излучения. Спутник «SMM» мог по командам с Земли ориентироваться на те же активные области Солнца, за которыми вела наблюдения наземная мировая сеть обсерваторий; точность наведения приборов спутника на интересующий солнечный объект составляла $\pm 1'$.

Для организации синхронных наблюдений в рамках международной программы было создано два координационных центра: в Медонской обсерватории во Франции (направление FBS) и в обсерватории в Боулдере, США (SERF и STIP). Эти центры оперативно оповещали участников международной программы по специальным кодам об «алертных» периодах наблюдений, т. е. об интервалах действия, и о выборе объекта наблюдений на Солнце. Выбор объекта осуществлялся по рекомендациям пяти базовых научно-исследовательских центров, в том числе СиБИЗМИРА СО АН СССР, который прогнозировал ситуацию на Солнце по данным измерений магнитных полей, полученным с помощью панорамного магнитографа, и по информации от других советских обсерваторий.

Согласованность наблюдений большого числа обсерваторий и космических аппаратов за возникновением и развитием солнечных вспышек потребовала создания собственной системы оперативной связи (телексной и телетайпной) между координационными центрами и базовыми обсерваториями. Помимо этого был предусмотрен оперативный диалог в случае возникновения в активной области Солнца особо мощной вспышки.



Активная область на Солнце, снятая в линии дважды ионизованного магния (ближний ультрафиолет). Видно вращение Солнца в последующие моменты времени 3, 5 и 6 апреля 1980 г. Снимок получен со спутника «СММ».

В мае 1979 г. руководящий комитет программы провел два учебных алерта. Их результаты показали высокую активность участников программы наблюдений и хорошее состояние системы оповещения обсерваторий.

В ходе выполнения программы «Год солнечного максимума» выяснилось, что солнечная активность в 1979—1980 гг. несколько ниже, чем ожидали прогнозисты, но тем не менее как советские, так и зарубежные обсерватории смогли получить богатый наблюдательный материал, изучение и обработка которого продолжается. Наблюдательные данные охватили обширный диапазон электромагнитного излучения Солнца: радио-, оптическую, рентгеновскую и ультрафиолетовую области солнечного спектра.

По данным Иркутского консультативного центра ГСМ (СибиЗМИР), за указанный период общее количество вспышек и субвспышек (т. е. событий меньшей мощности) на Солнце, наблюдавшихся на различных советских обсерваториях в периоды алертов, составило около 300, причем 23 из них относятся к разряду мощных явлений. Целый ряд вспышек был перекрыт наблюдениями как с наземных обсерваторий, так и со спутника «СММ».

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Из наиболее интересных событий на Солнце следует отметить всплеск вспышечной активности 4—16 апреля 1980 г., когда велись наблюдения в рамках SERF. В этот период произошло значительное увеличение как количества, так и энергии вспышек. Активная область на Солнце, за которой велось наблюдение, отличалась

чрезвычайно быстрыми временными изменениями структуры магнитных полей. 6 апреля в 12 ч 16 мин по местному времени на Саянской обсерватории СибиЗМИРа отметили появление в этой области Солнца вспышки мощностью 2В балла, которая была классифицирована наблюдателем В. С. Башкирцевым как «вспышка в белом свете»².

7 апреля в этой же активной области произошла серия вспышек умеренной мощности, а 8 апреля в 11 ч 8 мин наблюдалась вспышка мощностью 2 балла, зарегистрированная также аппаратурой спутника «СММ». Для вспышек, относящихся к апрелю 1980 г., характерна ярко выраженная гомологичность свойств. Нужно заметить, что апрельский период наблюдений был наилучшим интервалом по взаимному перекрытию данных о вспышках, полученных в СССР и США, что дало хорошую основу для последующего совместного анализа.

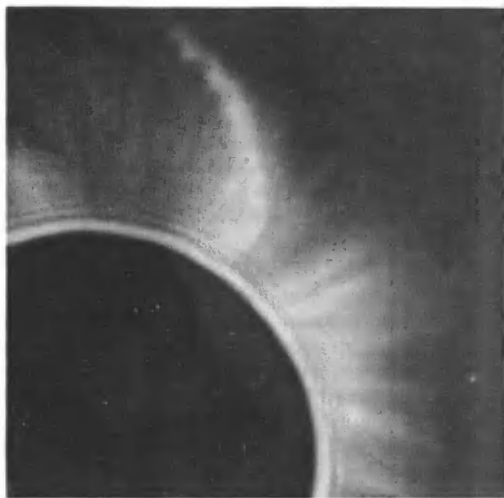
Естественно, для успешного выполнения научных задач программы ГСМ была очень важна комплексная обработка наблюдательного материала, полученного наземными обсерваториями и спутниками. С этой целью руководящий комитет ГСМ запланировал ряд рабочих совещаний по всем трем направлениям программы. В июне 1980 г. состоялось рабочее совещание по STIP в Смоленце (ЧССР), а в августе 1980 г. было проведено совещание по SERF в Станфорде (США).

² По классификации вспышек в баллах цифра 2 обозначает площадь области свечения вспышки в миллионных долях площади солнечного диска, а латинская буква В — яркость. Обычно так обозначаются очень редкие вспышечные события, всего 2—3 в течение 11-летнего цикла активности Солнца. При этом ускоренные в солнечной атмосфере быстрые частицы проникают вниз, в фотосферные слои, нагревают их и создают электромагнитное излучение в видимой области спектра. Такие вспышки относятся к числу наиболее мощных явлений.

В Станфорде обсуждались первые результаты исследований рентгеновского излучения солнечных вспышек, полученные с борта спутника «SMM». Было обнаружено, что жесткое рентгеновское излучение возникает в основаниях петельных структур вспышечной области. Это означает, что во время вспышки образуются пучки электронов высоких энергий, проникающие в хромосферные слои Солнца и создающие кванты рентгеновского излучения при торможении в плотной плазме. Одновременно с помощью американского радиотелескопа VLA (Very Large Array) было зарегистрировано, что из вершин петельных структур вспышки исходит микроволновое радиоизлучение. По данным спутника «SMM», во время жестких рентгеновских всплесков при вспышках расширяются спектральные линии с высоким потенциалом возбуждения; подобные линии образуются в переходной области от хромосферы к короне и в самой солнечной короне. Этот факт также свидетельствует о наличии пучков ускоренных электронов. Кроме того, был сделан вывод, что область начального выделения энергии в зоне вспышки, по-видимому, почти всегда связана с неустойчивостью темного волокна, расположенного вдоль линии раздела полярностей магнитного поля в активной области.

В марте 1981 г. состоялось объединенное международное рабочее совещание по всем трем разделам программы, проходившее в Крымской астрофизической обсерватории АН СССР. Советские участники рабочей группы SERF представили серию докладов, в которых была дана полная картина выделения энергии в токовых слоях, основанная на процессах пересоединения магнитных полей. Так, был предложен ряд новых представлений, объясняющих гомологическую структуру и характер появления множественных вспышек в протяженных (до 20° по широте) областях активности. Наблюдателями обнаружен асимметричный вынос магнитного потока новых пятен на фоне сокращения (до 20%) потока старых, что сопровождалось всплеском вспышечной активности.

Американские исследователи сообщили о чрезвычайно интересном явлении, наблюдавшемся 14 мая 1980 г. с помощью радиотелескопа VLA в сантиметровом диапазоне длин волн. Структура магнитных полей в активной области на уровне короны Солнца обладала квадрупольной конфигурацией, которая очень быстро, за несколько минут, превратилась в дипольную. Перестройка магнитной



Солнечные корональные лучи и арка [вверху]. Такие магнитные арки, выбрасываемые на высоту 1—6 радиусов Солнца после вспышки, — результат каскадного механизма пересоединения магнитных полей, что сопровождается выталкиванием до 10^{15} г вещества в межпланетное пространство. Явление называется магнитным транзитом. Снимок получен со спутника «SMM».

структуры сопровождалась импульсным всплеском радиоизлучения. В этой же активной области при изменениях магнитных полей возрастала интенсивность излучения в линии H_α и в рентгеновском диапазоне. По мнению наблюдателей, явление может служить прямым доказательством эффекта пересоединения магнитных полей в солнечной короне.

Большой интерес вызвало сообщение об открытии «магнитных транзитов» — внезапного проникновения в область одной полярности на уровне фотосферы магнитных полей противоположной полярности с напряженностью в несколько сотен гаусс, с последующим их быстрым исчезновением; характерное время отдельного события около 1 мин. Магнитные транзиты наблюдались в активных областях только во время мощных вспышек. Они возникали вблизи максимума яркости свечения вспышки. Всего пока насчитывается 2—3 наблюдения такого рода. Но они могут кардинально изменить наши прежние представления о природе вспышек. Физика этих явлений еще далеко не выяснена, но уже предпринята попытка их теоретического объяснения. Мы имеем в виду гипотезу Э. И. Могилевского о возбуждении МГД-солитонов (т. е. уединен-

ных волновых возмущений) в активных областях Солнца.

Участники рабочей группы FBS, изучающие процессы накопления энергии во вспышках, пришли к единодушному заключению о сильном разнообразии «индивидуальных» проявлений вспышек, существенно отличающихся друг от друга. Поэтому пока не представляется возможным установить «стандартную картину» вспышки, которая бы позволила предложить однозначное теоретическое объяснение возникновения вспышки в определенной активной области.

В связи с относительно низким уровнем активности Солнца в 1980 г. было решено продлить программу ГСМ до конца июня 1981 г., чтобы обратить основное внимание на изучение гомологических вспышек.

В октябре 1981 г. в г. Аннеси (Франция) состоялся очередной международный симпозиум по итогам программы ГСМ. На нем подводились итоги наблюдений за период с апреля 1980 г. по июнь 1981 г. Значительное внимание было уделено дальнейшему анализу материалов, полученных с помощью рентгеновского спектрометра «SMM» в области 15—20 нм (включая линии высокоионизованного железа Fe XXV и Fe XXVI). В импульсной фазе вспышки 21 мая 1980 г. наблюдалась «голубая» компонента линии Fe XXV, что свидетельствует о движении хромосферной плазмы в области вспышки вверх со скоростью около 400 км/с. Электронная температура верхних слоев хромосферы для этой вспышки оказалась весьма высокой — $2 \cdot 10^7$ К. В ряде других вспышек, зарегистрированных на «SMM», также наблюдались движения вещества в верхние слои солнечной атмосферы. Согласно теоретическим представлениям, это явление может быть связано с непосредственным нагревом верхних слоев хромосферы потоками ускоренных частиц, выходящими из области выделения энергии; в результате плазма, расширяясь, начинает двигаться вверх с большой скоростью. Таким образом, впервые наблюдалось интересное явление «испарения» хромосферы, предсказанное С. И. Сыроватским.

Наиболее интересным для STIP оказался период с 10 апреля по 21 июня 1981 г., в который наблюдалось 6 мощных вспышек балла 2B—3B и в межпланетной среде была зарегистрирована серия очень сильных ударных волн. После двух таких волн скорость солнечного ветра превысила 1000 км/с; подобная скорость ранее наб-

людалась только в период необычной вспывшечной активности в августе 1972 г.— самой сильной за последние 20 лет. После двух вспышек 10 апреля 1981 г. была зарегистрирована ударная волна, которая по потоку частиц, ускоренных на ее фронте, оказалась второй по мощности за 5-летний период наблюдений.

Обработка результатов, полученных по программе ГСМ, еще далеко не завершена и будет продолжаться вплоть до 1986 г. Из предварительных результатов можно выделить следующие наблюдательные факты, имеющие принципиальное значение для выяснения природы вспышек:

обнаружены быстрые изменения структуры и напряженности магнитных полей в области вспышек, происходящие как в фотосфере, так и в короне Солнца; эти факты подтверждают основные представления об электромагнитной природе вспывшечных процессов;

в мягких рентгеновских лучах и в микроволновом радиоизлучении светящиеся структуры области вспышки имеют вид аркады петель различных размеров;

доказано, что спустя несколько минут после начала взрывной фазы вспышек плотность корональной плазмы в этих областях быстро увеличивается — происходит «испарение» хромосферы;

получены доказательства существования пучков ускоренных электронов.

Наблюдения неплохо согласуются с существующими теоретическими представлениями о природе солнечных вспышек. Вместе с тем уже предварительный анализ накопленного материала поставил перед исследователями ряд новых вопросов. В частности, остается неясной природа магнитных транзиев; существуют даже сомнения в самой реальности этих явлений. Кроме того, богатство наблюдательных данных показало чрезвычайное разнообразие в развитии отдельных вспывшечных событий, что не позволило пока выделить причинно-обусловленный набор признаков накопления энергии во вспышках и, следовательно, уточнить существующие модели, а также методы их прогнозирования.

Несомненно, дальнейшая обработка богатейшего материала наблюдений, полученного по программе «Год солнечного максимума», даст астрофизикам много интересных результатов, выделит новые закономерности, которые позволят в конечном итоге понять, как и почему происходят вспышки на Солнце.

ПРИРОДА—ИСКУССТВО—КУЛЬТУРА

Искусство представляет собой, по словам К. Маркса, способ «практически-духовного освоения» действительности, отличающийся и от чисто духовного ее освоения, характерного для теоретического знания, и от чисто материальной практики, поскольку оно не только изображает, но и несет оценку изображаемого, утверждая тем самым определенную систему ценностей. Благодаря этому искусство выступает и как средство обогащения знаний, и как способ воспитания на основе той или иной системы ценностей, являясь в то же время источником высоких эстетических чувств.

Природа находит свое отражение в искусстве всех эпох. Однако является ли она только объектом художественного освоения? Не навязывает ли она также и законы, и формы такого освоения? И какой вклад может внести искусство в гармонизацию отношений человека и природы? Этим вопросам и посвящены предлагаемые читателям статьи В. И. Тасалова, Н. И. Киященко и Н. Л. Лейзерова.

Природа как внутренний фактор культуры

В. И. Тасалов

Обсуждение различных сторон взаимодействия природы и культуры, связанные с этим народнохозяйственные и экологические задачи, несомненно, зависят от общего уровня культурного самосознания общества.

Подобное взаимодействие предполагает гигантскую «творческую мобилизацию» общества и каждого человека. Но при этом возникает целый ряд непростых вопросов: что понимается под творческими акциями людей? насколько они «природны»? И наоборот: есть ли «творческие» потенции у самой природы? Или же культура непременно «антиприродна», а к природе неприменимо понятие творчества? Как в таком случае осуществляется синтез культуры и природы? Где гарантии того, что, оставшись непрясланными или извращенными, «стихийные» ответы на эти вопросы не усугубят крайности технократического перерождения культуры?

«ВНЕПРИРОДНЫ» ЛИ КУЛЬТУРА И ЧЕЛОВЕЧЕСКОЕ ТВОРЧЕСТВО?

Говоря о культуре как «второй природе» людей и подразумевая под этим результаты их целеполагающей деятельности

(техника, наука, политика, искусство, выработка семиотических систем и т. п.), ее нередко отождествляют со всем «искусственно созданным» и несвойственным миру живой природы, тем более что XX в. дает этому, казалось бы, неоспоримые доказательства.

Но так ли это на самом деле?

В этой статье мы попробуем показать, как решаются эти проблемы современным искусствоведением и эстетикой.

История мирового искусства и эстетических идей, по нашему мнению, свидетельствует в пользу законов, объединяющих искусство и природу. Способность человека-художника к созиданию сложных «органических целостностей» искусства испокон веков считалась одним из ярчайших (если не самых вершинных) проявлений «тайны творчества». Со времен античности известны два центральных художественных принципа: «природа — первый художник» и «художник творит, как природа». «Там, где центральный орган всеобщей временно-пространственной подвижности, — как это выразил уже в наше время известный живописец П. Клее, — пусть он называется мозгом или сердцем творения — побуждает к деятельности все функции, кто из



Владимир Ильич Тасалов, доктор искусствоведения, старший научный сотрудник Всесоюзного научно-исследовательского института искусствознания Министерства культуры СССР. Занимается проблемами эстетики, истории и теорией искусства. Книги: Эстетика техницизма. М., 1960; Прометей или Орфей. Искусство технического века. М., 1967; Очерк эстетических идей архитектуры капиталистического общества. М., 1979.

художников не мечтал бы там обитать? В недрах природы, в первооснове творения, там, где хранится тайный ключ ко всему?»¹

Как нам кажется, в эстетике, в теории художественного творчества изначально содержится интуитивная аксиоматика в определении сущности творческого акта. Выявлять надо не основной постулат этой аксиоматики, а саму систему закономерностей и выводов, которые из этого необходимо вытекают и которые ныне должны войти в научную разработку проблемы «природа и культура».

Творческая деятельность — это прежде всего самоорганизационный процесс, в котором заключена его «жизнеспособно-порождающая» энергия. Подлинно художником (и художником как прототипом «целостного» человека) является тот, чья психо-физическая структура находится под доминантным воздействием этого процесса.

Общая теория систем, особенно в ее организационном варианте, предложенном Л. Берталанфи, гласит, что спонтанная активность жизнеспособных процессов и форм, неутилитарность развивающего их стимула, наличие внутренней цели как самоцели, прогрессирующий рост дифференциации строения с увеличением числа степеней свободы, незамкнутость, органическая целостность и эквифинальность вместе выражают то главное, наиболее специфическое, что свойственно как природной, так и человеческой жизнедеятельности и не укладывается в утилитарную схему «внешний стимул — реакция»².

Но ведь это — те же самые закономерности, которые и история мировой эстетики веками полагает центральными

для объяснения красоты в природе и художественного творчества человека. Разница лишь в том, что в отличие от большинства социальных и естественных наук эстетика направлена на формообразовательный контекст всех таких свойств.

«Творчество природы определяет творчество человека», — писал М. М. Пришвин. И прибавлял, что «сила творчества сохраняется теми же запасами», что и вечное воспроизводство жизни на Земле³. Необходимость вновь и вновь подчеркивать этот постулат о единстве природы и творческой деятельности вызвана следующими обстоятельствами.

Вульгарный социологизм в наше время давно развенчан. Но пережитки его все же дают о себе знать в утверждении якобы принципиальной чуждости друг другу законов природы и культуры. Когда мы в который раз читаем, будто Маркс употребляет понятие естественноисторического характера общественных процессов лишь в качестве «уподобляющей абстракции», будто на деле, по его мнению, природу и культуру разделяет стена «сущностной инородности» и богатство творческих сил человека принципиально «внеприродно», — все это отдает старым догматизмом⁴. Однако нетрудно убедиться в несостоятельности подобных заявлений.

Еще в «Экономическо-философских рукописях 1844 года» Маркс воздал должное «действительному, телесному человеку ... вбирающему в себя и излучающему из себя все природные силы»⁵. Но и позднее, в классических определениях сущности труда в «Капитале», он также исхо-

¹ Мастера искусства об искусстве. М., 1969, т. 5 (2), с. 146.

² Берталанфи Л. Общая теория систем — критический обзор. — В кн.: Исследования по общей теории систем. М., 1969, с. 65.

³ Пришвин М. Записи о творчестве. — В кн.: Контекст — 1974. М., 1975, с. 348, 338.

⁴ Батищев Г. С. Культура, природа и псевдоприродные формы в историческом процессе. — В кн.: Проблемы теории культуры. М., 1977, с. 86—88.

⁵ Маркс К., Энгельс Ф. Из ранних произведений. М., 1956, с. 630.

дил из того, что «веществу природы» человек «противостоит как сила природы». Мало того — в этом противостоянии он и действовать может лишь так, как действует сама природа, т. е. изменять лишь формы веществ. Следовательно, естественноисторическая сущность человека конкретизируется Марксом как формообразующая сила, проистекающая из собственной природной основы. Действуя «как природа», т. е. осуществляя трансляцию сущностей и функций в «разделяемые и сцепляемые» элементы реальности, человек в своем творчестве выявил все содержательно-конструктивные возможности этого «непотребительского» слоя всего сущего, пробуждая в мастере «игру физических и интеллектуальных сил», которая приносит наибольшее «наслаждение» прежде всего бескорыстием и внутренним «содержанием и способом исполнения труда»⁶.

Не будет преувеличением сказать, что именно диалектическое совпадение природных характеристик творчества, формообразовательной активности психики человека и внешних форм создаваемых им («искусственных») произведений, часто бывает камнем преткновения для ученых, разрабатывающих проблему соотношения природы и культуры.

СОЦИОПРИРОДНАЯ «ОРГАНИКА» ХУДОЖЕСТВЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ И «ЭСТЕТИЧЕСКИЙ МЕТАБОЛИЗМ» КУЛЬТУРЫ

Своеобразие художественных произведений часто усматривается в синтезе духовного и материального, идеальных образов сознания и максимальной органичности их физического воплощения. Соответственно определяется и уникальность внутренних стимулов порождения художественных образов — через взаимопроникновение и гармоническое уравнивание в них «непроизвольного естественного» и «преднамеренного», «самоцельного» и «полезного».

Кант называл это «целесообразностью без цели», и одна из его замечательных эстетических формул гласит: «При виде произведения изящного искусства надо сознавать, что это искусство, а не природа; но тем не менее целесообразность в форме этого произведения должна казаться столь свободной от всякой принудительности произвольных пра-

вил, как если бы оно было продуктом одной природы». С диалектико-материалистических позиций можно вполне обойтись без кантовских «казаться» и «как если бы». Именно такое осмысление органичности искусства было развито С. М. Эйзенштейном в его блестящем исследовании «Неравнодушная природа», где законы органической природы связываются с сущностью художественного пафоса, со свойствами «патетической конструкции» произведений искусства.

Таким образом, можно сказать, что единая социоприродная «органика» является сутью особой — художественной — реальности и представлена всеми формами искусства. Необходимо признать существование этой специфической реальности культуры точно так же, как существование «физической реальности», «психической реальности», «экономической реальности», «информативной реальности» и любой другой в аналогичном смысле.

Обычно мы говорим, почти не задумываясь, как само собой разумеющееся, что «жизнь существует в поражении человека разнообразии форм»⁷. «Бесформенность» или «однообразие форм» враждебны самому жизненному основанию. Сравним это со словами Льва Толстого: «Я думаю, что каждый большой художник должен создавать и свои формы. Если содержание художественных произведений может быть бесконечно разнообразно, то также — и их формы». Это — закон искусства, сущность которого также сформулировал Толстой. «Цель художника, — писал он, — не в том, чтобы неоспоримо разрешить вопрос, а в том, чтобы заставить любить жизнь в бесчисленных, никогда не истощимых, всех ее проявлениях»⁸. Кажется, нетрудно видеть, что во всех подобных суждениях «цели» природного и художественного творчества признаются в большой мере совпадающими друг с другом, — совпадающими в качестве растущего многообразия индивидуализированных «содержательно-целостных» форм.

В свое время идею «органичности» искусства выдвинул Ф. Шеллинг, утверждавший, что «природа и искусство суть одно» и что «в идеальном мире искусство занимает такое же место, какое в реаль-

⁷ Кант И. Критика способности суждения. Соч. М., 1966, т. 5, с. 321.

⁸ Хаксли Дж. Удивительный мир эволюции. М., 1971, с. 11.

⁹ Русские писатели о литературном труде. Л., 1955, т. 3, с. 539—540, 441.

⁶ Маркс К. Капитал. Соч., т. 23, с. 188, 45, 189, 191, 192.

ном мире — организм». Мир художественных форм — апофеоз воссозданного из «разделения» единства материального и идеального, сущности и формы, что свойственно всем организмам природы. Но это воссоздание произошло в соответствии с принципом бесконечности всего универсума природы как высшего «произведения искусства». В нем совпадают не просто материальное и идеальное, а «бесконечная идеальность, включающая в себя всю реальность», и «бесконечная реальность, включающая в себя всю идеальность»¹⁰.

Историчность этих аргументов стала обнаруживаться уже в начале XIX в., когда общественное производство стало приобретать универсальный характер. И не случайно, что именно с этого времени общественное сознание все более пристально начинает всматриваться в жизнестроительные возможности принципов «органической» эстетики. Используя достижения естественных наук, философии и социальных дисциплин, эстетика в этих новых условиях «от своего лица» подчеркивает все возрастающую роль художественно-творческих способностей человека повсюду, где только встает задача «целостного синтеза» материальных и духовных элементов общественной практики. Широко обсуждается и идеологически используется принципиальное различие «механизма» и «организма» как двух эвристически полярных моделей для сознания и способа действия человека. Энгельс, как известно, уделил этому внимание в «Диалектике природы», а Маркс в «Капитале». Способность человека-художника действовать «как природа», т. е. переводить свойства любого внешнего «вещества» природы во внутренние стимулы для свободного формирования действительности, утверждается как важнейший источник бескорыстной интенсификации и самоорганизационной эффективности общественного преобразования. На практике это стало выражаться во все более активном и широком перемещении критериев «художественности» в самые разные области общественного производства.

Понимаемый таким образом процесс стихийной «художественной» переработки людьми внешнего материала жизни во внутренние средства открытия выразительно-целостных форм социальной действительности есть вполне конкретный, но осо-

бый по своему характеру процесс эстетического метаболизма — продуктивного и энергетического «обмена веществ» между природой и культурой. Процесс этот пронизывает все поры повседневной социальной жизнедеятельности людей, питает своим веществом и энергией все ее «клетки». Но, в отличие от материально-утилитарных целей этой жизнедеятельности, упор здесь делается на качестве формообразования, на его выразительных возможностях. Высшим выражением этого процесса является художественное творчество. Из сказанного, как мне кажется, ясно, почему для материалистической эстетики не может быть никаких застывших границ между природой, окружающей нас жизнью и искусством. Неистребимая потребность мерить всю реальную жизнь «искусством», а художественные произведения — всей мерой «реальной жизни» выражает самое главное и культурно-бесценное, что заключено в этом процессе.

Практически такой процесс охватывает всю сферу быта или досуга людей и не только 6—7 «изящных» искусств, но и гончарное искусство, металлодельское, камнерезное, столярное, строительное, искусство ткачества, орнаментальное, мимическое, сказительное, садоводческое и десятки других. Когда-то к искусству относили геометрию, медицину, ораторство, военное дело (о подлинных «художниках» своего дела мы, естественно, говорим и сейчас), а нынче стали самостоятельными жанрами искусства кинематограф, радио, фотография, телевидение, голография, выставочный дизайн, цветомузыка.

Принципиально важно, что и в «элементарных», и в высокоразвитых видах искусства запечатлено единство многообразных признаков живой и неживой природы, естественного и искусственного. Так, статуи, здания, ткани, картины, мосты и дороги не являются живыми. Зато вполне живые танец, пение, художественная гимнастика и т. п. Между ними располагаются инструментальная музыка, театр, кино, телевидение. Но во всех случаях органическими являются наши художественные переживания и мысли.

В. И. Вернадский отмечал три основных типа естественных тел биосферы, от которых идут линии ее закономерного преобразования в ноосферу: «естественные тела живые», «естественные тела косные» и «естественные тела биокосные», состоящие одновременно из живого и неживого вещества природы. В биосфере, отмечал он, существует огромное множество таких

¹⁰ Шеллинг Ф. В. Философия искусства. М., 1966, с. 214, 83, 73.

тел, более того, и «всякий организм» представляет собой «в сущности... биокосное тело», ибо в нем не все живое. Вернадский подчеркивал, что исследование именно таких — биокосных — тел «играет в науке огромную роль», поскольку на них можно плодотворно изучать «самый процесс влияния жизни на косную природу — динамическое, устойчивое равновесие, организованность биосферы»¹¹. В широком спектре взаимопереходов живого и неживого, от явного преобладания первого до столь же явного преобладания второго обеспечиваются как организационные процессы и превращения природы, так и материально-структурный субстрат рождающихся на этой основе жизнеспособных форм, без чего была бы невозможна эволюция природы.

Ту же самую закономерность мы повсюду наблюдаем и в культуре человека, и трудно представить себе какую-либо иную объективную основу ее существования и развития, хотя надо отметить, что закономерности социальных форм взаимодействия живого и неживого, естественного и искусственного еще весьма слабо освещены наукой.

Формы художественной реальности являются, если их рассмотреть с этой точки зрения, как бы специальными «модельными анализами» того, каким образом целостные образования культуры устанавливаются посредством «влияния жизни на косную природу». Есть серьезные основания полагать, что интуитивное порождение людьми искусственных, но «как живых», целостностей представляет собой незаменимый творческий аккумулятор способностей, направленных на построение культуры человека «по образу и подобию» природы.

ПРИНЦИП ФОРМЫ И «КОНСТРУКТИВНОСТЬ» ТВОРЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ

Представление об искусстве как о важнейшем посреднике между природой и культурой, как нам кажется, невозможно без уяснения роли, которую играет в творческом сознании человека социоприродный принцип формы.

Формы науки, искусства, техники (в их внешнем отличии от естественных тел природы) характерны прежде всего

резкой выраженностью в них различных «композиционных правильностей» или «идеальных конструктов». Искусство (на скальные рисунки, статуэтки, танцы) сопровождало человека с тех далеких времен, когда наш древнейший предок, сотни тысяч лет изготовлявший рубила, скребки и наконечники стрел и копий, стал осознавать первые природные законы, некую естественную «правильность». Такая же «правильность» мышления, но композиционная, запечатлена и в искусстве. При этом, однако, искусство не порывает с жизнеподобной «фигуративностью» своих образов. В творчестве человека это неразрывное взаимодействие жезнеподобия и конструктивности имеет первостепенное, можно даже сказать, решающее значение. Но забудем о нем на мгновение и поставим вопрос так.

Почему мышление человека стало складываться в форме регулятивных — прежде всего геометрических (точка, прямая, угол, спираль, круг), а затем и числовых — правильностей? И почему их внешним аналогом стал мир искусственно-правильных («неживых») форм цивилизации? Ведь и то и другое принадлежит сущности человека как «силы природы» и его живой психике, творящей «как природа» — путем «изменения формы» веществ. Отчего же тогда он стал творить «искусственно», а не иначе, не копируя живую природу, частью которой является сам?

Надо думать, это произошло потому, что именно геометрически-правильные «конструкции» явились наиболее сильным аргументом в пользу такой степени чистоты формообразовательной функции сознания, которая превращалась в концентрированный акт «самосознания природы» в форме идеальности человеческого мышления. Или — что то же — возникающее через человека (как живой «части природы») самосознание закономерностей природы запечатлевалось ранее всего именно отношениями дифференциально-композиционной формообразуемости. Идеальность конструктивно-правильного мышления одновременно и отделяется таким путем от неразличимого совпадения с бытием природы и вместе с тем сохраняет и развивает в своем качественном основании фундаментальное тождество бытия и мышления.

История философского самосознания науки содержит множество тому подтверждений, начиная с великих открытий пифагорейзма, где сущность числа была понята как рациональная редукция стихий-

¹¹ Вернадский В. И. Научная мысль как планетное явление. Размышления натуралиста. Книга вторая. М., 1977, с. 116, 127.

но-созидательной мощи природы, как совпадение «беспредельного — предела» и универсальный принцип «оформления вещи в целях овладения ею в человеческом сознании»¹². Галилей говорил, что Вселенную нельзя понять, «не научившись сперва понимать язык и различать знаки, которыми она написана. Написана же она языком математическим, и знаки ее суть треугольники, круги и другие математические фигуры»¹³. В. И. Вернадский, вводя понятие «формальная действительность», полагал, что это та сфера эмпирической реальности, которая на данный момент развития науки поддается исследованию «научными приемами, в связи с критической работой логики и теории познания», и лишь в таком (рационализируемом) качестве «является исходным пунктом всех наших обобщений в области религиозных, научных и философских концепций». При этом именно эффект мощного воздействия человека на окружающую природу наглядно доказывает, что научная мысль является «природным явлением», «неразрывной частью того целого, которое... все подлечит числу и мере» и сводится к «правилам» науки, подтверждая этим, что преобладающая часть духовной работы человечества лишь отвечает неизбежным законам природы¹⁴.

В более чем двухтысячелетней истории западноевропейской мысли (включая христианскую теологию, которая большей частью была совсем не против представления о божестве как об «абсолютной форме», пронизанной достоинствами «числа» и «конструктивного порядка») превознесение рационально-конструктивной доминанты творческого сознания неотделимо от общей линии философского идеализма. Всеобщее, единое и абсолютно упорядоченное неизменно преобладало здесь над единичным и хаотически-случайным, что и означает перевес идеального духа над веществом материи, над собственными природными силами ее самодвижения. Это широко представлено и в истории эстетики, во всей длительной традиции связывания сущности красоты и художественной формы главным образом с идеальной конструктивностью целого.

Материалистическая традиция придерживалась противоположного взгляда на

истоки социоприродной органичности творческих форм искусства и культуры. Здесь на первый план всегда выступало признание того, что «первичные формы материи суть живые, индивидуализирующие, внутренне присущие ей, создающие специфические различия сущностные силы»¹⁵. Множество элементов предметного вещества жизни прежде всего само должно организовываться в целостность, реализуя «непредустановленное» никем богатство собственных жизненно-смысловых потенций. И логика всякого настоящего искусства именно такую органичность порождения своих индивидуализированных и жезнеподобных «целых» демонстрирует. Так было всегда, и, например, в XIX—XX вв. большинство художественных направлений — такие как натурализм, критический реализм, импрессионизм, футуризм, веризм, «литература факта», концепция «киноглаза», конкретная музыка, документальные театр, публицистика и другие вплоть до поп-арта — оформились или даже исчерпали себя в плоскости прежде всего максимально достоверного овладения новыми физическими реалиями «природы» современного мира.

В творческом процессе такого типа воображение и все существо художника (уже пропитанные бесчисленными впечатлениями от окружающего мира) проникаются глубоко скрытой ассоциативной логикой самосцепления линий, цветов, звуков, жестов, телесных фактур, движений и т. п. и превращают произвольность исходного множества элементов данного творческого акта в произвольную внутреннюю причинность порождаемого им целостного результата. В искусстве это представлено в сложном и вместе с тем наглядном виде. Но совершенно такой же логике подчиняются в принципе и любые другие творческие акции человека в каких угодно областях.

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Существенные аспекты взаимодействия природы, искусства и культуры в общей для них плоскости «проблемы творчества» еще ждут своего комплексного научного освещения. Ведь речь идет о том, в чем мы все кровно заинтересованы, — о закономерностях великой силы искусства, о том, как это связано с основополагающими свойствами природного и социального в человеке.

¹² Лосев А. Ф. История античной эстетики. Ранняя классика. М., 1963, с. 265—270.

¹³ Галилей Г. Соч. М.—Л., 1934, т. 1, с. 25.

¹⁴ Вернадский В. И. Избр. тр. по истории науки. М., 1981, с. 38, 231, 232.

¹⁵ Маркс К., Энгельс Ф. Об искусстве. М., 1957, т. 1, с. 361.

В искусстве всех эпох отражаются важнейшие компоненты целостной картины мира. Непосредственное переживание этой картины дано лишь развитому художественному чувству и нашему эстетическому мирозерцанию. Другого «инструмента» для этого у культуры нет.

Гигантский мир технических и научных явлений, человеческих сообществ и социальных форм производства, тысячи больших городов, породивших обостренное чувство естественной природы, миллионы ликов живого и искусственного, прорыв в космос — все это рушит старые эталоны «единства», требуя качественно новых принципов «собираения» этого множества в подлинно жизнеспособные, соизмеримые с творческой свободой личности, самоорганизационно-управляемые целостности. Не случайно явления и принципы «саморегуляции», «самоуправления», «целостной самоорганизации», «эвристического эффекта» и т. п., анализировавшиеся сначала только кибернетикой и общей теорией систем, стремительно захватывают большинство естественных и общественных наук. Усиление не просто социальной функции искусства, а функции рационально познаваемых и практически осваиваемых закономерностей его «творческой продуктивности» находится с этим в теснейшей связи.

Эстетика и искусствознание в союзе с реальной художественной практикой раскрывают глубокий смысл того, что природа не только насущна, но и при-суща нам, т. е. принадлежит нашей сущности как ее коренное внутреннее свойство. Здесь, кстати, сталкиваются понятия существования и сущности. Ибо два этих основных определения бытия далеко не совпадают в жизни большинства людей. Маркс писал, что именно коммунизм предпола-

ет «подлинное разрешение противоречия между человеком и природой... между существованием и сущностью» и в этой роли он только как «завершенный натурализм» становится равным гуманизму в полном смысле слова, а как «завершенный гуманизм» — истинному натурализму¹⁶. Этот процесс все явственнее проступает в современной жизни. И огромную, все возрастающую роль в развитии гуманистического содержания этого процесса играет и будет играть сфера художественного творчества, все его разнообразнейшие современные формы.

Не подлежит сомнению, что именно благодаря искусству выявляется такая бездна («бесконечность») реальных грани разрешаемого противоречия между природой и человеком, между естественными задатками личности и целями их общественной реализации, что богатство творческого потенциала культуры может (и должно!) измеряться прежде всего их фактическим самоорганизационным эффектом. В определенном смысле это — идеал, но такой, в котором эстетический прогноз будущего нисколько не противоречит сверхзадаче социалистической культуры. В научном коммунизме этому соответствует программа «абсолютного выявления творческих дарований человека», как сказано у Маркса, «безотносительно к какому-либо заранее установленному масштабу» или «ограничению», — кроме одного великого масштаба «предшествующего исторического развития» природы и общества, т. е. всего данного нам на сегодня социоприродного арсенала человеческой жизни¹⁷.

¹⁶ Маркс К., Энгельс Ф. Из ранних произв., с. 588.

¹⁷ Маркс К., Энгельс Ф. Об искусстве, т. 1, с. 180.

Природа, эстетика, человек

Н. И. Киященко, Н. Л. Лейзеров

К. Маркс в письме к Ф. Энгельсу от 25 марта 1868 г. сообщает об очень интересной работе Фрааса «Климат и растительный мир во времени, их история», чтение которой привело его к выводу о том, «что культура, если она развивается стихийно, а не направляется

сознательно... оставляет после себя пустыню: Персия, Месопотамия и т. д., Греция»¹. Имелась в виду глубокая древность. И в самом деле: там, где неког-

¹ Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 32, с. 45.



Николай Иванович Киященко, доктор философских наук, старший научный сотрудник Института философии АН СССР. Занимается теорией эстетического воспитания, категориями марксистско-ленинской эстетики и проблемами идеологической борьбы в эстетике и искусстве. Книги: Вопросы формирования системы эстетического воспитания в СССР. М., 1971; Сущность прекрасного. М., 1977; Искусство в борьбе за человека (в соавторстве с Н. Л. Лейзеровым). М., 1979 и др.



Николай Леонидович Лейзеров, доктор философских наук, старший научный сотрудник Института философии АН СССР. Занимается проблемами теории отражения и художественного творчества, категориями марксистско-ленинской эстетики, критикой буржуазной эстетики. Книги: В поисках и борьбе. М., 1971; Образность в искусстве. М., 1974; Борьба идей в культуре и искусстве (в соавторстве с Н. И. Киященко), М., 1972; Искусство в борьбе за человека (в соавторстве с Н. И. Киященко). М., 1979 и др.

да был зеленый рай, окружавший сказочный Карфаген, ветер пустыни передвигает сыпучие пески. Таких примеров можно привести великое множество, ссылаясь на разнообразие отечественные и зарубежные публикации. Но что древность? В наше время, в эпоху НТР, когда ускорены все жизненные ритмы, человечество оказалось в сложнейшей ситуации, грозящей разразиться экологическим кризисом. Необходимость снятия экологической напряженности — лишний аргумент в пользу совместных усилий всех ныне живущих народов создать среду обитания людей на началах гармонических отношений с природой.

Ибо ничто так не противоположно прекрасному, как смерть и разрушение, следствия войн и возможного экологического кризиса.

ОТ ХАОТИЧЕСКОЙ УТИЛИТАРНОСТИ К УПОРЯДОЧЕННОЙ ГУМАННОСТИ И ГАРМОНИИ ОТНОШЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА С ПРИРОДОЙ

Взаимоотношения человека с природой многогранны и неисчерпаемы. Обратим внимание на следующие взаимодействия: утилитарно-прагматическое, собственно гуманистическое и гармоническое.

Фактически эстетика в той ее части, где речь идет о чувственно восприни-

маемом прекрасном, с одной стороны, опирается на объективные законы гармонии, ритма и упорядоченности, которые даны человеку уже в самой природе, а с другой — это всегда и приложение к природе собственно человеческих «законов красоты» и преобразование природы в соответствии с названными законами. Диалектика «природного» и «общественного» исторически конкретна и всегда связана с определенными идеалами прекрасного, которые различны в разных классах общества. Но за этой подвижностью скрывается нечто общечеловеческое: преодоление хаоса, победа упорядоченности, гармонии, организованности не только вовне, но и в самом сознании людей. Есть здесь и один, чисто психологический, аспект, который необходимо «внедрить» в человека и закрепить в познавательной и трудовой деятельности людей.

Речь идет о том невольном эстетическом удовлетворении, которое зарождается в человеке, когда он «внутренним зрением» постигает целесообразное и закономерное в природе ли, обществе или в самом знании. Эту упорядоченность человек может внести и в свой быт. Потому и важно закрепить заложенное в нас природой чувствование, сделать его, как говорил Кант, «целесообразным без цели», в основе своей утилитарно «незаинтере-

сованным», но развивающимся «по направлению к гуманности». Это значит: превратить невольно возникающее от взаимодействия с природой чувство в эстетическое чувство природы.

Когда мы ведем речь об эстетической «незаинтересованности», то имеем в виду отсутствие всякой корыстной утилитарности в чувственном общении с природой и искусством, к сожалению, все еще присущей многим людям. Нечто подобное ныне свойственно и научно-познавательному, и трудовому процессам, каждый из которых направлен на постижение объективной гармонии мира. Недаром все крупные современные естествоиспытатели при осмыслении своей деятельности так или иначе приходят к заключению эстетического характера. Если Н. Бору обращение к искусству необходимо было для постижения гармонии, не поддающейся систематическому анализу, то для математика А. Пуанкаре гармония и упорядоченность — естественные элементы внешнего мира — являются органичными свойствами научного мышления. А для современных математиков изучение с помощью точных наук закономерностей искусства — средство постижения глубинной сущности самой математики. Потому книги известного механика Б. В. Раушенбаха «Пространственные построения в древнерусской живописи» и «Пространственные построения в живописи» и книга физика-теоретика Е. Л. Фейнберга «Кибернетика, логика, искусство» — выражение естественной потребности постичь красоту и гармонию самой интеллектуальной познавательной деятельности человека. Думается, Л. Фолди имел все основания написать: «Стремление упорядочить эстетические приемлемым образом бесконечное разнообразие и сложность окружающего мира всегда было частью интеллектуальной жизни людей, начиная с античности. Наиболее естественным направлением и в античной философии, и в современной науке является стремление понять это разнообразие и сложность как следствия огромного числа возможностей при существовании небольшого количества фундаментальных первичных объектов, которые подчиняются определенным законам»².

Все, о чем говорилось выше, безусловно, проявлялось и проявляется спонтанно в деятельности, чувствованиях и мышлении людей. Но ведь такое в общем-

то не требующее особых доказательств неизменно проявляющееся свойство человека лишний раз показывает природную непреднамеренность упомянутого процесса. А если мы настаиваем на том, что как раз здесь и должна быть заложена одна из отправных точек воспитательного процесса, то, очевидно, настаиваем на разумном развитии и использовании заложенных природой возможностей на благо человеку и человечеству в гуманных целях.

ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ДОСТИЖЕНИЯ ГАРМОНИИ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЧЕЛОВЕКА С ПРИРОДОЙ

Проблема взаимодействия человека с природой может быть успешно разрешена, на наш взгляд, в органическом взаимодействии трех важнейших социальных факторов и явлений: науки, искусства, системы воспитания. Именно на этот «тройственный союз» были настроены мысли многих выдающихся людей. «Меня радовало, что поэтическое искусство и сравнительное естествознание находятся в столь близком родстве, подчиненные одной и той же способности суждения»³. Это слова поэта-и естествоиспытателя И. В. Гете. А вот что писал в начале XX в. математик А. Пуанкаре: «Красота интеллектуальная дает удовлетворение сама по себе, и, быть может, больше ради нее, чем ради будущего блага человечества, ученый обрекает себя на долгие и тяжкие труды. Именно эта особая красота, чувство гармонии мира руководит нами в выборе фактов, которые наиболее способны усилить эту гармонию»⁴. В связи со сказанным хочется подчеркнуть, что предметом познания и оценки часто служит не только наше собственное эстетическое переживание, но и познание меры в предметном мире. Нельзя забывать и того, что за видением, переживанием и пониманием художника, ученого и вообще любого человека, за конкретным эстетическим отношением или явлением всегда стоит жизненный опыт, техническая выучка, старые и новые идеалы. Создание системы эстетического воспитания средствами природы пока еще дело будущего. Но что-то можно сделать уже сейчас.

Раннее детство — это та пора, когда сильные впечатления или переживания удерживаются в памяти чуть ли не на всю жизнь. Они сохраняются в виде как бы

² Фолди Л. Структура нуклонов. — Усп. физ. наук, 1966, т. 88, вып. 3, с. 567.

³ Гёте И. В. Избр. филос. произв. М., 1964, с. 214.

⁴ Цит. по: Голубовский М. — Знание — сила, 1982, № 7, с. 43.

разрозненных стереоскопических кадров. К зрительным образам присоединяются слуховые, обонятельные и чувственно-моторные (осозательные) ощущения. Но все эти впечатления или ощущения опытный «режиссер» может превратить в зрелые и осознанные эстетические переживания природного.

Очень важно поэтому подключать детские впечатления к разножанровым произведениям искусства — художественной литературе, музыке, живописи, скульптуре, кинематографу. Подключение, о котором мы ведем речь, по природе своей диалектично. Одно вызывает и дополняет другое: природа способствует пониманию искусства, искусство учит любить и понимать природу. Но все это действительно лишь при систематическом повторении, упражнении. Лишь в таком случае обращение к природе становится потребностью, способной оказать воздействие на выявление и развитие любых природных задатков и способностей человека. Немалое значение при этом имеет и так называемый эффект «остранения», или «отчуждения», сформулированный в нашем веке В. Б. Шкловским и Б. Брехтом. Суть его заключается в том, чтобы научиться находить новую точку зрения на примелькавшиеся предметы или явления, заново открыть их для себя.

Та взаимосвязь искусства и природы, о которой мы говорим, должна быть учтена и использована при воспитании и обучении подрастающего поколения, поскольку это способствует формированию личности и системы ее ценностных ориентаций. Много здесь зависит не только от научных разработок, но и от процесса, как говорил Маркс, «воспитания воспитателей»: ведь именно им предстоит развивать сознание молодых поколений относительно эстетических связей человека с природой.

ЗНАНИЕ, МИРОСОЗЕРЦАНИЕ И МИРОВОЗЗРЕНИЕ

Взаимодействие эстетики и естествознания связано с общим мирозерцанием и мироощущением людей. Эта связь через чувства ведет к ее постижению разумом. (Хотя можно представить себе и обратное движение — от разума к чувству.) Мы имеем в виду не просто представление о «картинах природы», а разумное постижение гармонии, цельности, упорядоченности, колористических и пластических соответствий, которые раскрывает строгий и вполне бесстрастный мир отвлеченных

чисел, строения атомов и частиц, порядка и организации химических элементов, красоты кристаллов. Такая взаимообратная связь приводит к глубинному пониманию тех же «картин природы» или искусства как такового: гармония роднит науку и искусство, потому многие выдающиеся ученые при всей их одержимости не могли жить без искусства. Не случайно Д. И. Менделеев не испытывал без «поэтической струи жизни» ни полноты счастья, ни удовлетворенности результатами своей громадной научной деятельности. П. Дираку уродливые части теоретических построений сигнализировали о неправильности заключений, а музыкальная гармония «наводила» порядок в химических экспериментах и размышлениях А. Н. Бородина. А. Пуанкаре заявлял, что, если бы природа не была прекрасна, она не стоила бы труда, да и жизнь была бы ничемна и не стоила труда, чтобы ее прожить. Примеров тому множество.

В каждом предмете и явлении, а тем более в научной дисциплине, можно выделить то, что составляет объективную сущность мира, и то, что очеловечивает эту сущность. Мы имеем в виду ценностные аспекты проявления законов общественного развития и чувства, которые связывают нас с миром. Не последнюю роль здесь играют и эстетические чувства. Они включают в себя оценку, но к оценкам все же вряд ли сводятся, так как субъективные пристрастия (мы отбрасываем сейчас стадные инстинкты, слепое следование моде и т. п.) отнюдь не перечеркивают объективных критериев выразительности и красоты, так или иначе проступающих через наши личные впечатления.

Постараемся объяснить этот парадокс. Бесконечное неисчерпаемое эстетическое богатство природы в конечном счете объективно в том смысле, что оно служит постоянным источником соответствий, которые человек обнаруживает между собой и природой. Но обнаружить это соответствие можно лишь через субъективное осознание. Об этом хорошо сказал Ш. Бодлер в сонете «Соответствия»:

Как дальних отгулов прерывистая хрия
Нам предстает порой в единстве звуковом,
Так в соответствии находятся прямом
Все краски, голоса и запахи земные⁵.

⁵ Ли в ш и ц Б. Французская лирика XIX—XX веков (переводы). Л., 1937, с. 75.

С полной уверенностью можно сказать, что не будет уничтожать и обезображивать природу человек, умеющий найти и постичь отмеченные поэтом соответствия. Маркс утверждал, что в будущем неизбежно в одно целое сольются науки о природе и о человеке. «Естествознание,— писал он,— включит в себя науку о человеке в такой же мере, в какой наука о человеке включит в себя естествознание: это будет одна наука»⁶.

АРХИТЕКТУРА КАК ФАКТОР ГАРМОНИЗАЦИИ ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА В ПРИРОДЕ

В вопросе о необходимости единства человека и природы мы должны коснуться еще одного аспекта, относящегося к среде обитания современных людей. Начнем хотя бы с вполне объяснимых, но беспорядочных миграций населения из деревни в город и из города в деревню. Для нашей страны, как хорошо известно из статистики, первое преобладает над вторым, так как культурное обслуживание и бытовые условия жизни села в целом пока еще значительно отстают от городских. При этом надо учесть колоссальные территориальные масштабы нашей страны, вследствие которых большое количество деревень далеко отстоит от городских центров и не связано с ними прямыми транспортными магистралями. Вместе с тем жители крупных, а тем более гигантских промышленных центров с каждым годом все больше и больше ощущают тягу к природе. Такая тяга вполне объяснима даже чисто санитарными требованиями, потому ее не в силах ликвидировать ни время отпусков, ни воскресные выезды горожан на природу. Каким же образом можно снять подобные противоречия?

Обратимся к современным проблемам градостроительства и строительства современных поселков в сельской местности. 7 октября 1982 г. жители деревни Вельяминово в Домодедовском районе Московской области, покинув старые дома, переехали в прекрасный новый поселок, культурно-бытовым условиям которого могут позавидовать многие города. Если к этому добавить еще и целостный эстетически завершенный «облик» поселка, гармоничную вписанность его в природу, прекрасные хозяйственные постройки и службы, то можно сделать вывод о принципиально ином подходе к решению проблем среды

обитания сельского населения. Таких примеров сейчас немало во всех республиках и областях нашей страны, а Эстонская ССР в этом смысле может рассматриваться как эталон.

Уже не раз в литературе был описан опыт застройки новых районов Вильнюса или Алма-Аты. А сейчас уже можно говорить и о Навои и будущем Зарафшане. Навои существует уже более 20 лет. В этой бывшей пустыне город с прекрасной планировкой, фонтанами, обилием цветов, кустарников, огромным искусственным озером и большим лесным массивом, интересным архитектурным решением как жилых массивов, так и отдельных домов кажется настоящим чудом. Гармония здесь (и в Зарафшане) обеспечивается тем, что все лучшие достижения архитектуры, строительства, технологии и качества изготовления современных стройматериалов архитектурный надзор подчиняет проекту, в существе своем направленному на наиболее полное воплощение в жизнь комфортабельности и эстетических требований, необходимых для нормальной жизнедеятельности людей.

Опыт этих, пока еще показательных, застроек подтверждает возможность оживления Крайнего Севера с его неповторимой природой (г. Норильск), органически вписать новые жилые кварталы в парковые зоны, снабдить всеми городскими удобствами сельские дома-коттеджи, подчинив и их строительство единому плану, строго учитывающему не только практические нужды населения, но и рельеф, характерные особенности, водный и растительный баланс местности. Вписывая жилье человека, а тем более промышленные и сельскохозяйственные объекты в природную среду, органически сближая город и деревню с природой, можно добиться обратного — положительного — воздействия природы и среды обитания на человека и весь его образ жизни.

Пока еще подобного рода работа не стоит у нас на должной высоте. Практика же показывает, что без высокой культуры общения с природой опасно развивать массовый туризм, что экономика, не опирающаяся на эстетику, может создать кризисную ситуацию.

Все эти факты лишний раз подчеркивают, что проблему гармонизации человека с природой нельзя пускать на самотек, она должна стать объектом систематической воспитательной работы. Это — общее дело, и решить его можно только коллективными усилиями, осуществляемыми научно обоснованными методами.

⁶ Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 42, с. 124.

Космические исследования

Запуски космических аппаратов в СССР (июль — август 1983 г.)

В июле — августе 1983 г. в Советском Союзе было запущено 29 космических аппаратов, в том числе 23 спутника серии «Космос» с научной аппаратурой, предназначенной для продолжения исследований космического пространства. На борту «Космоса-1472», «Космоса-1482 — 1484» и «Космоса-1487» установлена научная аппаратура для продолжения исследований природных ресурсов Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства СССР и международного сотрудничества. «Космос-1484» продолжил обработку новых видов информационно-измерительной аппаратуры и методов дистанционных исследований поверхности и атмосферы Земли. Информация со спутников поступает в Государственный научно-исследовательский и производственный центр «Природа» и в Государственный научно-исследовательский центр изучения природных ресурсов для обработки, использования и распространения.

Спутники «Космос-1490 — 1492» предназначены для обработки элементов и аппаратуры космической навигационной системы, с помощью которой предполагается определять местонахождение самолетов гражданской авиации и судов морского и рыболовного флота СССР.

Запущенный 17 августа 1983 г. автоматический грузовой корабль «Прогресс-17» 19 августа состыковался с орбитальным пилотируемым комплексом «Салют-7» — «Союз Т-9» и доставил на орбиту топливо, а также необходимое оборудование,

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей, км	апогей, км	наклонение, град	период обращения, мин
«Горизонт»	1.VII	36 600	36 600	1,3	1479
«Прогноз-9»	1.VII	380	720 000	65,5	26,7 сут
«Космос-1472»	5.VII	197	264	82,4	88,8
«Космос-1473—1480»*	6.VII	1 448	1 511	74	115,1
«Космос-1481»	8.VII	615	40 165	62,8	718
«Космос-1482»	13.VII	217	376	70	90,2
«Молния-1»	19.VII	480	39 025	62,9	700
«Космос-1483»	20.VII	227	305	82,3	89,5
«Космос-1484»	24.VII	595	673	98	97,3
«Космос-1485»	26.VII	209	395	72,9	90,2
«Космос-1486»	3.VIII	786	820	74,1	100,8
«Космос-1487»	5.VIII	226	305	82,3	89,5
«Космос-1488»	9.VIII	208	397	72,8	90,2
«Космос-1489»	10.VIII	182	323	64,7	89,3
«Космос-1490—1492»**	10.VIII	19 154	19 154	64,7	676
«Прогресс-17»	17.VIII	196	257	51,6	88,7
«Космос-1493»	23.VIII	207	396	72,9	90,2
«Радуга»	26.VIII	36 617	36 617	1,3	1478
«Молния-3»	31.VIII	497	40 815	62,8	736
«Космос-1494»	31.VIII	341	561	50,7	93,5

* Восемь спутников «Космос-1473 — 1480» запущены одной ракетой-носителем.

** Три спутника «Космос-1490 — 1492» запущены одной ракетой-носителем.

научную аппаратуру и материалы.

Автоматическая станция «Прогноз-9» запущена для исследования реликтового радиозлучения, рентгеновских и γ-вспышек в далеком космосе, а также корпускулярного и электромагнитного излучений Солнца¹.

Очередные спутники связи «Молния-1» и «Молния-3» предназначены для обеспечения дальнейшей эксплуатации системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи и передачи программ Центрального телевидения СССР на пункты сети «Орбита», а также в рамках международного сотрудничества.

Спутник «Горизонт» запущен на близкую к стационарной круговую орбиту в соответствии с программой дальнейшего развития систем связи и телевизионного вещания. На его борту имеется усовершенствованная многостольная бортовая ретрансляционная аппаратура для обеспечения телефонно-телеграфной радиосвязи и передачи телевизионных программ, а также необходимые служебные системы.

Очередной спутник связи «Радуга» оборудован бортовой ретрансляционной аппаратурой, обеспечивающей в сантиметровом диапазоне длин волн непрерывную круглосуточную телефонно-телеграфную радиосвязь и одновременную передачу цветных и черно-белых программ Центрального телевидения СССР.

¹ Подробнее о «Прогнозе-9» см.: Природа, 1983, № 11, с. 100.

Космические исследования

Орбитальная станция «Салют-7» с июля по август

В июле — августе 1983 г. космонавты В. А. Ляхов и А. П. Александров продолжили работу на орбитальной научной станции «Салют-7», начатую 28 июня 1983 г. К середине августа экипаж завершил все работы с кораблем-спутником «Космос-1443»: около тонны различных материалов было помещено в грузовой отсек, тем самым помещение станции было расчищено и подготовлено для дальнейших экспериментов. 14 августа 1983 г. в 18 ч 04 мин (здесь и далее время московское) «Космос-1443» был отделен от орбитального комплекса и переведен в режим самостоятельного полета.

23 августа 1983 г. в 15 ч 02 мин возвращаемый аппарат корабля-спутника «Космос-1443» совершил мягкую посадку в заданном районе территории Советского Союза в 100 км юго-восточнее г. Аркалыка. На Землю доставлено около 350 кг различных грузов: фотопленка, отснятая по программе геофизических исследований, материалы астрофизических, технологических и биологических экспериментов, отдельные агрегаты, приборы и элементы бортовых систем станции «Салют-7», выработавшие свой ресурс, для последующего детального анализа их состояния в научных и проектно-конструкторских организациях. После посадки возвращаемого аппарата автономный полет «Космоса-1443» продолжался.

16 августа экипаж выполнил перестыковку «Союза Т-9», чтобы освободить стыковочный узел на агрегатном отсеке и тем самым обеспечить возможность в дальнейшем проводить транспортные операции по снабжению комплекса топливом и необходимыми грузами. А уже 17 августа 1983 г. в 16 ч 08 мин на орбиту был запущен автоматический грузовой корабль «Прогресс-17», который 19 августа в 17 ч 47 мин состыковался с орбитальным пилотируемым комплексом.

Помимо разгрузочно-по-

грузочных работ и технических экспериментов, космонавты проводили разнообразные научные исследования. Значительное место отводилось геофизическим экспериментам, включавшим визуальные наблюдения, фотографирование и спектрометрирование отдельных районов земной суши и акватории Мирового океана. Исследования в этом направлении носили, как правило, циклический характер (цикл продолжался 2 недели); изучались природные ресурсы Земли по заданию специалистов различных отраслей народного хозяйства страны, при этом использовались фотоаппараты МКФ-6М и КАТЭ-140, а также приборы, работающие в различных диапазонах спектра электромагнитных волн. Так, был продолжен сбор оперативной информации о состоянии сельскохозяйственных угодий в районах Поволжья, Северного Прикаспия, Центрального Черноземья, Кавказа, Средней Азии. Проведена фотосъемка мелиорированных земель в бассейнах Амударьи, Сырдарьи, Каракумского канала, Цимлянского водохранилища, Грузинской и Азербайджанской ССР, а также лесных массивов Кавказа. По просьбе НРБ, ВНР, ГДР, Республики Куба, ПНР, ЧССР и СРР отсняты отдельные районы этих стран.

29 августа 1983 г. был начат комплексный эксперимент «Черное море», проводимый в рамках программы «Интеркосмос». Он является составной частью обширной программы изучения Черного моря; в нем принимают участие ученые СССР, НРБ, ГДР, МНР, ПНР и СРР. Эксперимент проводился одновременно на трех уровнях: с орбитального пилотируемого комплекса «Салют-7» — «Союз Т-9», с самолета-лаборатории «АН-30» Института космических исследований АН СССР и с морской платформы — морского судна «Профессор Колесников». Измерения велись по согласованной программе с помощью идентичной аппаратуры, в состав которой входили фотоаппараты МКФ-6М, КАТЭ-140, болгарские спектрометры «Спектр-15», спектрометры МКС-М, изготовленные в ГДР. Результаты это-

го «эталонного» эксперимента, который длился 20 дней, лягут в основу программы исследований различных районов Мирового океана.

В июле космонавты начали биологические эксперименты по дальнейшему изучению возможностей культивирования высших растений в условиях космоса. В установке «Оазис» были посеяны семена пшеницы и поддерживались необходимые условия для их развития. Проводились также биологические эксперименты на установке «Светоблок».

В рамках программы космического материаловедения с помощью аппаратуры «Электрофотограф» была проведена серия экспериментов по исследованию воздействия факторов открытого космического пространства на тонкопленочные покрытия. Исследуемые образцы экспонировались в шлюзовой камере. Метод электрофотографии, впервые примененный в практике пилотируемых полетов, позволил оценивать непосредственно на борту станции состояние различных конструкционных материалов и проводить периодический контроль поверхностей космических аппаратов, длительное время находящихся на орбитальных орбитах.

В электронагревательной печи установки «Кристалл» были проведены две плавки для получения полупроводникового материала селенид кадмия.

С помощью малогабаритного γ-телескопа «Елена» велись измерения γ-излучения и заряженных частиц в околоземном пространстве, в частности во время полета над районами Бразильской магнитной аномалии. Параметры атмосферы, непосредственно окружающей станцию, исследовались с помощью масс-спектрометрической аппаратуры «Астра-1». Был выполнен также эксперимент «Резонанс», в котором определялись динамические характеристики орбитального комплекса, величины действующих на него нагрузок и оценивалось действие отдельных элементов конструкции.

По-прежнему периодически проводились медицинские

обследование космонавтов, а также систематические занятия на велоэргометре и бегущей дорожке.

С. А. Никитин

Москва

Астрофизика

Исследуется остаток Сверхновой 1006 года

Основываясь на кривых блеска и химическом составе разлетающейся оболочки сверхновой звезды, можно понять, как происходит ее взрыв и что собой представляла эта звезда на стадии предсверхновой.

В настоящее время для сверхновых I типа (к которым относят и галактическую Сверхновую 1006 года) наиболее популярна модель, объясняющая наблюдаемую кривую блеска и отсутствие компактного остатка на месте взрыва сверхновой следующим образом. В вырожденном углеродно-кислородном ядре звезды происходит взрывное горение углерода, которое приводит к полному разлету сверхновой с выбросом радиоактивного никеля массой около $1 M_{\odot}$. При последующих распадах никеля ($Ni^{56} \rightarrow Co^{56} \rightarrow Fe^{56}$) может выделяться достаточно энергии для объяснения наблюдаемых особенностей кривых блеска сверхновых I типа.

Однако наблюдения в рентгеновском диапазоне, проведенные с помощью американской обсерватории высоких энергий «Эйнштейн», показали, что в остатках молодых сверхновых I типа нет такого количества горячего железа, как это следует из принятой модели. Отсюда был сделан вывод, что либо имеющаяся модель для сверхновых I типа неправильна, либо «Эйнштейн» наблюдал фазу, во время которой ударная волна еще не достигла области, богатой железом, т. е. температура железа была слишком низка, чтобы оно могло излучать в рентгеновской области. Если верно второе предположение, то, как считают американские астрофизики, в ультрафиолетовой части спектра

должны наблюдаться сильные линии поглощения Fe II.

Поиск линий поглощения железа в ультрафиолетовом диапазоне был проведен со спутника «IUE». Действительно, в спектрах, относящихся к области, где расположен остаток Сверхновой 1006 года, были найдены интенсивные линии поглощения FeII, по которым была определена скорость газа в остатке этой сверхновой: $v = (\pm 5-6) \cdot 10^3$ км/с. По мнению авторов работы (С. We, M. Leventhal, C. Sarazin), интенсивность и ширина спектральных линий железа свидетельствует о том, что основная масса выброшенного при взрыве сверхновой вещества действительно может содержать железо, причем величина этой массы может составлять примерно $1 M_{\odot}$. Отсутствие линий железа в рентгеновском диапазоне можно объяснить тем, что вещество остатка Сверхновой 1006 года находится в ранней динамической стадии и пока слабо взаимодействует с окружающей средой.

Таким образом, получено достаточно веское доказательство в пользу модели сверхновой, для которой характерно взрывное горение углерода и полный разлет всей звезды.

Astrophysical Journal Letters, 1983, v. 269, L. 5 (США).

Физика

Самые короткие световые импульсы с перестраиваемой длиной волны

Два года назад с помощью лазера на красителе были получены короткие световые импульсы длительностью 30 фс ($3 \cdot 10^{-14}$ с). В обычных режимах этот лазер допускает перестройку длины волны излучения. Однако в случае генерации рекордно коротких импульсов перестройка приводила к удлинению импульсов, и от нее пришлось отказаться.

Сотрудники исследовательского центра Ай-Би-Эм (Нью-Йорк, США) получили световые импульсы с длитель-

ностью, близкой к рекордной, и перестраиваемые по длине волны. Сделано это с помощью стандартного лазера на красителе. Вначале с помощью этого лазера создавали импульсы длительностью 5,9 пс ($5,9 \cdot 10^{-12}$ с). Для столь «длительных» импульсов легко осуществить перестройку длины волны излучения. Затем при двукратном прохождении через устройство сжатия импульсов, изготовленного на основе стеклянного волоконного световода¹, импульсы сокращались. Поскольку устройство было усовершенствовано и, кроме того, его использовали повторно, длительность импульсов удалось сократить до 90 фс, т. е. в 65 раз. На сегодня это самые короткие световые импульсы с перестраиваемой длиной волны.

Applied Physics Letters, 1983, v. 43, p. 228—230 (США).

¹ О разработке такого устройства, позволившего сократить световой импульс с 5,6 пс до 0,45 пс, т. е. в 12 раз, подробнее см.: Природа, 1983, № 9, с. 107.

Физика

Каналирование частиц в изогнутых монокристаллах

Группа сотрудников Ленинградского института ядерной физики им. Б. П. Константинова экспериментально установила, что угол захвата частиц в режиме каналирования¹ можно существенно увеличить с помощью изогнутых кристаллов. Суть эффекта заключается в том, что область захвата, налетающих частиц в режим каналирования не сосредоточена только вблизи входного торца изогнутого кристалла, а смещается внутрь, в объем кристалла.

Эксперимент основывался на гипотезе одного из авторов работы о возможности захвата частиц падающего пучка внутри всего угла между двумя касательными к изогнутым кристал-

¹ Калашников Н. П. Каналирование и электромагнитное излучение каналированных частиц. — Природа, 1981, № 3, с. 91.

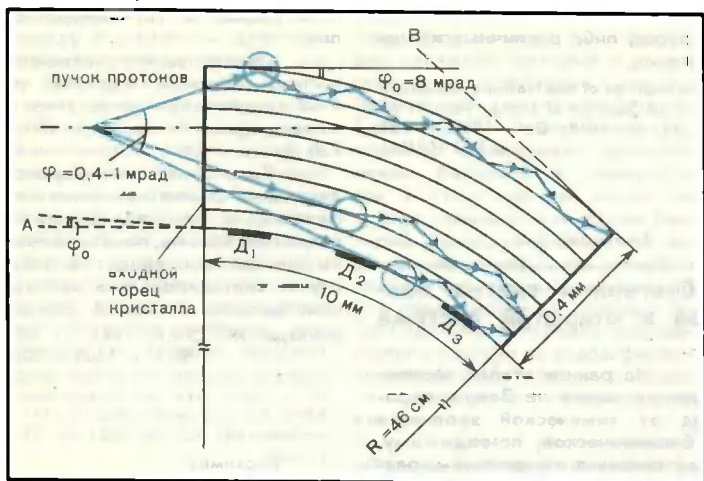


Схема эксперимента по каналированию частиц в изогнутом кристалле. А и В — касательные к изогнутому кристаллографическим плоскостям, φ — угол расходимости падающего протонного пучка, φ_0 — угол поворота кристалла относительно пучка протонов, D_1, D_2, D_3 — детекторы; кружками показаны области захвата частиц в режиме каналирования.

лографическим плоскостям (в пределах объема кристалла). После захвата частицы двигаются вдоль изогнутых кристаллографических плоскостей и могут образовывать пучок с узким угловым распределением.

Эксперимент выполнялся на синхротроне ЛИЯФ. Пучок протонов с энергией 1 ГэВ имел специально сформированную большую угловую расходимость от 0,4 до 1 мрад, в то время как величина угла Линдхарда (определяющего захват частиц в режиме каналирования) для протонов с энергией 1 ГэВ и кристаллографической плоскости (111) кремния составляет около 0,12 мрад. На изогнутый монокристалл из полупроводникового кремния были помещены три детектирующие структуры, которые позволили проследить за движением частиц в кристалле на всех стадиях: при захвате, каналировании и деканалировании. Толщина образца составляла 0,4 мм, длина по пучку 10 мм. Кристалл поворачивался относительно исходного протонного пучка на угол около 8 мрад.

Каналированными считались частицы, имеющие anomalно малые удельные ионизационные потери в детекторах. Дополнительным критерием, по которому судили о каналировании частиц, служил поворот пучка при выходе из кристалла и сужение его угловой ширины.

В эксперименте наблюдалось существенное, в два-три раза, уменьшение угловой расходимости каналированных пучков по сравнению с исходным падающим, соответствующим нормальным ионизационным потерям. Это означало, что многие частицы, не захваченные на малых глубинах, перешли в режим каналирования только на больших глубинах кристалла. Таким образом, изогнутый монокристалл способен захватывать частицы в режим каналирования в интервале углов много больших, чем угол Линдхарда.

Обнаруженное явление позволяет существенно увеличивать интенсивность пучков каналируемых частиц и использовать пучки с большой угловой расходимостью.

Письма в ЖЭТФ, 1982, т. 36, вып. 9, с. 340—343.

Физическая химия

Синтез в каналах кристаллической решетки тиомочевины

Соединения включения, или клатраты, относятся к химическим соединениям необыч-

ного типа, в которых посторонние молекулы включены в каналы или пустоты кристаллической решетки молекул растворителя. Посторонние молекулы внедряются не в уже готовую кристаллическую решетку другого вещества, а попадают в него в процессе кристаллизации этого вещества. Клатратные соединения перспективны для разработки новых подходов к стереоспецифическому химическому синтезу. Пока в каналах кристаллической решетки молекул растворителя проводится только реакция полимеризации, осуществление других реакций, например диенового синтеза, расширило бы круг процессов, протекающих в условиях структурной упорядоченности.

Г. Б. Сергеев, В. С. Комаров и А. В. Звонов (Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова) исследовали взаимодействие между циклопентадиеном и малеиновым ангидридом в твердой фазе, введя их в каналы кристаллической решетки тиомочевины. До сих пор взаимодействия между этими веществами в твердом двухкомпонентном образце не удавалось осуществить без клатратообразователя. Клатраты в твердой фазе получали при низких температурах: пары тиомочевины, циклопентадиена и малеинового ангидрида конденсировали на охлажденную до 77 К поверхность; затем стеклообразную смесь нагревали до температуры 175 К; в процессе кристаллизации смеси и происходило образование трехкомпонентного клатрата. При дальнейшем нагреве клатрата циклопентадиен взаимодействовал с малеиновым ангидридом в каналах кристаллической решетки тиомочевины по типу диенового синтеза с образованием аддукта (т. е. продукта присоединения одной молекулы диена к двойной связи молекулы малеинового ангидрида).

Образование трехкомпонентного клатрата и продукта реакции подтверждено методом низкотемпературной ИК-спектроскопии.

Доклады АН СССР, 1983, т. 270, № 1, с. 139—142.

Молекулярная биология

Хромосомные перестройки и возникновение опухолей

Исследования последних лет показали, что онкогены, вызывающие злокачественное перерождение клеток, присутствуют во всех организмах — от вирусов до человека. Столь широкое их распространение свидетельствует, что онкогены играют определенную роль в нормальном функционировании и росте клеток.

По-видимому, онкогены нормальных клеток становятся опасными для организма, когда они выходят из-под контроля. Подобные изменения могут возникнуть, например, при хромосомных перестройках, когда участки ДНК клетки меняют свое расположение в пределах одной или нескольких хромосом.

К. Крос (С. Croce; Вистаровский институт, г. Филадельфия, США), а также Р. Тауб и Ф. Лидер (R. Taub, Ph. Leder; Гарвардский университет, США) изучали один из видов злокачественного перерождения клеток иммунной системы людей — лимфому Бэркитта. Им удалось установить, что ген *тус* (с которым связано возникновение заболеваний), локализованный в 8-й хромосоме нормальной клетки, перемещается в злокачественных клетках в 14-ю или, что реже, во 2-ю или 22-ю хромосомы. Причем этот ген попадает в тот участок 14-й хромосомы, который ответствен за выработку антител. Подобный ген имеется и у мышей. Оказалось, что при развитии некоторых злокачественных новообразований, свойственных этим животным, мышинный ген *тус* также перемещается в другие хромосомы, причем именно в те их участки, которые ответственны за синтез антител.

Причины, вызывающие изменение расположения генов в хромосомах, точно не известны, но на основании проведенных исследований можно предположить, что они связаны с действием на генетический ап-

парат клетки либо онкогенных вирусов, либо различных канцерогенов.

Proceedings of the National Academy of Science of USA, 1982, v. 79, № 13, p. 4078; Cell, 1982, v. 28, p. 873 (США).

Биохимия

Абиогенный синтез белков в открытой системе

На ранних этапах возникновения жизни на Земле переход от химической эволюции к биологической, по-видимому, был связан с появлением разнообразных систем частиц, отделенных друг от друга и от внешней среды поверхностью раздела и способных взаимодействовать с окружающей средой¹. Поэтому экспериментальное изучение той стадии эволюции, на которой могли возникнуть подобные предбиологические системы, функционирующие по типу открытых систем, имеет первостепенное значение для решения многих задач проблемы происхождения жизни.

Р. Ф. Сырку, Л. Н. Моисеева и Т. Е. Павловская (Институт биохимии им. А. Н. Баха АН СССР) исследовали абиогенный синтез белков в условиях моделирования открытой системы. Прибор, в котором проводился синтез, состоял из двух камер, разделенных полимерной мембраной, через которую из одной камеры в другую диффундировала смесь трех аминокислот — глицина, аланина и серина. В реакционную камеру через равные промежутки времени добавляли аминокислоты, которые используются в качестве затравки для синтеза. Реакцию проводили в течение 24 часов при pH 8,2, комнатной температуре, в атмосфере азота и при постоянном перемешивании смеси. Продукты реакции разделяли, очищали и идентифицировали, применяя различные виды хро-

матографии и ИК-спектроскопии.

Оказалось, что синтезированные пептиды состоят из 4—9 аминокислотных остатков с молекулярной массой 400—720 Д.

Сравнение опытов, проводившихся ранее в закрытой системе, с экспериментами в открытой системе, показало преимущество последней: в этом случае синтезировались пептидные цепочки большей длины.

Доклады АН СССР, 1983, т. 268, № 6, с. 1504—1508.

Биохимия

Фактор, ускоряющий заживление ран

Исследователи во главе с З. Вербом (Z. Werb; Лаборатория радиологии и защиты окружающей среды Калифорнийского университета, США) обнаружили фактор, способствующий заживлению ран. Этот стимулирующий развитие сосудов препарат, названный фактором ангиогенеза, был выделен и частично очищен из жидкости, образующейся в ранах кролика.

Фактор обладает высокой биологической активностью: очень небольших его количеств — около 0,1 мкг — достаточно, чтобы ускорить образование капилляров и сосудов в участке поврежденной кожи животного, а также в роговой оболочке глаза. Образование кровеносных сосудов в поврежденной ткани ускоряет включение защитных сил организма и предотвращает развитие инфекции. Исследователи полагают, что обнаруженный ими фактор является белком, вырабатываемым клетками иммунной системы — макрофагами. Механизм его действия, видимо, включает связывание с рецепторами, расположенными на поверхности клеток капилляров; в результате изменяется структура мембран этих клеток. Фактор с подобными свойствами обнаружен и в жидкости из ран человека.

В настоящее время предпринимаются попытки очистить

¹ Подробнее об этом см., напр.: Опарин А. И. Проблема происхождения жизни. — Природа, 1979, № 1, с. 8.

этот фактор и установить его природу и механизм действия. Особенно перспективным может быть использование фактора при заживлении поверхностных повреждений кожи, массивных ожогов, повреждений сухожилий, которые медленно восстанавливаются из-за недостаточного притока к ним крови. Кроме того, он может оказаться полезным в тех случаях, когда естественный процесс заживления ран замедлен, как, например, у больных диабетом, престарелых и тяжело больных.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 1982, v. 79, p. 7773 (США); New Scientist, 1983, v. 97, № 1341, p. 156 (Великобритания).

Биохимия

Пути борьбы с инфекциями

При любом инфекционном процессе микроорганизмы должны не только войти в соприкосновение с клетками и тканями организма, но и закрепиться на их поверхности, иначе они будут вынесены во внешнюю среду.

Исследования, проведенные в последние годы, показали, что прикрепление бактерий к клеточной поверхности — специфический процесс, протекающий на молекулярном уровне по принципу взаимодействия «ключа и замка» (аналогично взаимодействию фермента и субстрата или антигена и антитела). Ключевую роль в нем играют различные сахара, расположенные на поверхности клеток и служащие рецепторами для бактерий. Причем каждый вид патогенных бактерий прикрепляется лишь к определенным рецепторам, к которым не способны прикрепиться другие бактерии.

И.Офек (I. Ofek) и Е. Би-чи (E. Beachey) (госпиталь Ветеринарного управления г. Мемфиса, штат Теннесси, США) показали, что стрептококки, обитающие в ротовой полости и вызывающие заболевания у людей, прикрепляются к клеткам эпителиальной поверхности с помощью особых волосков. В сос-

тав этих волосков входит полимер, образованный липотейхоевой кислотой, который и ответствен за прикрепление микроба. Полученный в чистом виде и добавленный к стрептококкам, полимер блокировал прикрепление бактерий к поверхности клеток (но не влиял на прикрепление к ним других бактерий, таких, например, как кишечная палочка). Было показано также, что рецепторы клеточной поверхности, на которых закрепляется стрептококк, принадлежат к одному из видов фибронектинов — белков, находящихся на поверхности большинства клеток.

В другой серии опытов штаммы бактерий кишечной палочки, выделенные из мочевыводящих путей людей, больных пиелонефритом, вводили в мочевой пузырь мышам. В результате 70% животных заболело. Другой группе вводили те же бактерии, но в смеси с 10%-ным раствором метилманнозида (метильного производного маннозы) — рецептора кишечной палочки на клетках эпителия мочевого пузыря. В этой группе заболело лишь 25% животных. Изучая под микроскопом стенки мочевого пузыря мышей, исследователи обнаружили там значительно меньше бактерий, чем у животных контрольной группы.

Аналогичные данные получены в опытах на крысах и на морских свинках. Так, патогенные штаммы бактерий *Shigella flexneri* вводили морским свинкам на поверхность слизистой глаз, причем в правый глаз — в смеси с маннозой, а в левый — в смеси с глюкозой. Развившиеся у животных кератоконъюнктивиты были в правом глазу значительно менее выражены, чем в левом. Объясняется это тем, что глюкоза, в отличие от маннозы, не входит в состав клеточных рецепторов для этих бактерий.

Таким образом, возможно, будут найдены новые методы борьбы с инфекционными заболеваниями путем блокады клеточных рецепторов, на которых закрепляются микроорганизмы.

Biochemical and Biophysical Research Communications, 1982, v. 105, p. 1426 (США); Infection and Immunity, 1982, v. 10, p. 107 (США).

Биохимия

Новая гипотеза возникновения пародонтоза

Известно, что при пародонтозе, которым, по данным ВОЗ, болеют 75—80% населения земного шара, поражается комплекс околозубных тканей (десна, надкостница и кость альвеолярных отростков зуба). При этом нарушается и обмен белка соединительной ткани — коллагена, в биосинтезе которого важную роль играет фермент N-ацетилтрансфераза. Группа сотрудников Научно-исследовательского института по биологическим испытаниям химических соединений АН СССР и Министерства медицинской промышленности СССР изучала активность этого фермента у 107 женщин (в возрасте от 18 до 45 лет), больных пародонтозом, а также у группы здоровых.

Оказалось, что по этому признаку больные пародонтозом делятся на две группы. У одной группы пациентов (так называемых «медленных ацетиляторов») активность фермента невелика, а у другой («быстрых ацетиляторов»), наоборот, фермент высокоактивен. Различаются эти группы и формой заболевания: у «медленных ацетиляторов» пародонтоз ярко выражен и прогрессирует, а у «быстрых» обнаруживаются только его начальные стадии, причем без склонности к обострению болезни. Следовательно, считают ученые, развитие и характер течения пародонтоза связаны с той или иной формой N-ацетилтрансферазы, обусловленной генотипом человека. Определяя активность этого фермента у больных, впервые обратившихся к врачу, можно заранее установить форму течения болезни и выбрать рациональную тактику лечения каждого больного индивидуально.

Рассмотрев молекулярные механизмы повреждения соединительной ткани при пародонтозе, исследователи выделили три важных звена в биосинтезе коллагена: два из них осуществляются ферментами, действие которых зависит от наличия ионов металлов (Fe^{2+} , Cu^{+}), а третий, заключительный этап, определяется активностью N-ацетилтрансферазы.

На основе экспериментальных и литературных данных, а также клинических наблюдений, был сделан вывод, что пародонтоз является частным случаем лигандной патологии¹. По-видимому, пародонтоз возникает как результат взаимодействия факторов внешней среды с организмом определенного генотипа. К таким факторам исследователи относят: токсины и метаболиты (из ана- и аэробной микрофлоры полости рта), способные связывать ионы металлов; дефицит микроэлементов; наличие пломб и протезов, а также воздействие принимаемых лекарственных препаратов. Генетическим фактором они считают активность ферментов, участвующих в биосинтезе коллагена.

Известия АН СССР, сер. биол.,
1983, № 2, с. 251.

Физиология

Гормональная асимметрия мозга

Длительное время считалось, что асимметрия мозга, ведущая роль его левого полушария, характерна только для человека. Однако в течение последнего десятилетия было доказано, что разделение функций между левыми и правыми структурами мозга свойственно не только человеку, но и животным. Так, обнаружено известное сходство между функциональной асимметрией человека и животных. Более того, в последние годы было установлено, что для мозга человека и животных характерна не только функциональная, но и биохимическая асимметрия: некоторые ферменты и нейромедиаторы в левом и правом полушарии содержатся в разных количествах.

Эксперименты, проведенные недавно Г. Я. Бакалкиным и др. (Центральная научно-исследовательская лаборатория, Москва), показали, что существует асимметрия в распределе-

нии гормона люлиберина в гипоталамусе крыс. В опыте использовали крыс линии Вистар и беспородных. Содержание люлиберина в левой и правой половине гипоталамуса определяли радиоиммунологическим методом; «меткой» служил изотоп иода¹²⁵I. Это позволило определять микроколичества (до 1 пикограмма) люлиберина.

Оказалось, что сама асимметрия, т. е. неравномерность распределения гормона между левой и правой половинами гипоталамуса, не постоянна; она меняется в зависимости от времени суток, от породы животных, от внешних условий.

У крыс «Вистар» в утренние часы в правой половине гипоталамуса люлиберина было в среднем в 1,7 раза больше, чем в левой. К вечеру эта асимметрия исчезала — в обеих половинах содержание гормона становилось одинаковым. Наоборот, у беспородных крыс люлиберина в левой половине гипоталамуса содержалось в полтора раза больше, чем в правой.

Гипоталамус — это симметричная структура мозга, в которой расположены высшие адаптивные центры. Например, гипоталамус «следит» за тем, чтобы в организме поддерживалась постоянная температура. Поэтому логично было предположить, что гормональная асимметрия гипоталамуса чувствительна к необычным внешним условиям, например к холоду. Действительно, у беспородных крыс после пребывания в холодной комнате при температуре 4°C содержание люлиберина в правой половине гипоталамуса повышалось в два раза, а в левой половине практически не изменялось.

Исследователи предполагают, что содержание люлиберина в гипоталамусе регулируется опиоидными пептидами. Известно, что эти вещества синтезируются в организме и, как недавно установлено, опиоидные пептиды способны вызывать в мозгу асимметрично протекающие процессы¹.

Доклады АН СССР, 1983, т. 269,
№ 3, с. 763—766.

Медицина

Особенности психики и предрасположенность к коронарным болезням

В исследованиях зависимости ишемической болезни сердца от психических факторов специалисты выделяют два противоположных типа поведения: один (тип А) характеризуется выраженным стремлением к успеху, активностью, напористостью, торопливостью; у таких лиц коронарные заболевания возникают значительно чаще, чем у людей с противоположными психическими особенностями (тип В). Однако тип А весьма распространен (его частота в различных популяциях колеблется от 45 до 76%), тогда как частота коронарных заболеваний существенно меньше. Очевидна необходимость искать более конкретные психические факторы развития таких болезней. Один из возможных механизмов исследован в работе американского психолога Д. Гласса (D. Glass; Нью-Йоркский университет).

Каждому испытуемому предлагали сыграть 9 партий в настольный теннис с другим «испытуемым», который в действительности был ассистентом экспериментатора и являлся теннисистом высокого класса. В опыте участвовали молодые люди типов А и В, лишённые таких «факторов риска» коронарных болезней, как гипертония, атеросклероз, диабет, ожирение и курение. В течение всей игры с помощью зондов постоянно измерялись артериальное давление, частота пульса, содержание гормонов адреналина и норадреналина в крови. Во время некоторых партий «соперник», выигрывая, высказывал пренебрежительное отношение к испытуемому, тем самым превращая спортивное соперничество в конфликт.

Ни до начала эксперимента, ни во время обычных игр испытуемые типа А, даже проигрывая, не отличались по физиологическим показателям от лиц типа В. И только в конфликтных играх у лиц типа А более значительно, по сравнению с типом

¹ Подымов В. К. Новые представления о природе красной волчанки. — Природа, 1982, № 5, с. 92.

¹ Chazov E. Y., Bakal'kin G. Ya. et al. — *Experientia*, 1981, v. 37, p. 887.

В, повышалось давление, учащался пульс и увеличивалось содержание гормонов в крови. Таким образом, именно конфликт, а не просто соперничество вызывает у индивидов со специфическими психическими особенностями (тип А) такие нарушения физиологической регуляции, которые способствуют возникновению коронарной патологии.

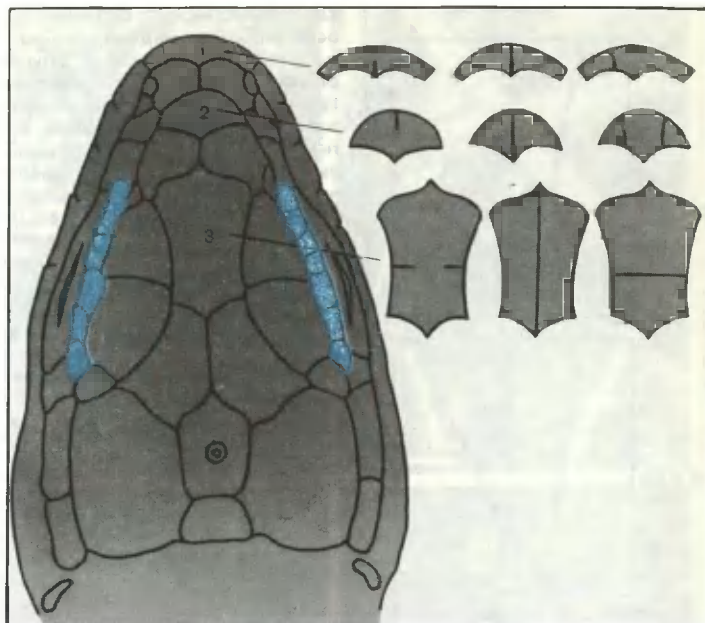
Acta Medica Scandinavica, Supplementum, 1982, v. 660, p. 193—202 (Швеция).

Биология

Определение оптимальных условий развития

При определении оптимальных (т. е. наилучших) условий индивидуального развития животных возникает вопрос: по каким параметрам эти условия должны быть наилучшими? Можно определить оптимумы для самых разных показателей: продолжительность развития, размеры тела, выживаемость¹, но получаемые при этом данные характеризуют оптимальные условия лишь в отношении этого единственного показателя. Для достижения наибольших размеров тела оптимальные условия оказываются иными, чем, скажем, для наименьшей продолжительности развития, и т. п. Видимо, определять оптимальные условия для индивидуального развития в целом необходимо по наиболее общим характеристикам развития. Такой характеристикой можно считать стабильность развития, иначе говоря, способность индивидумов к сходному, единообразному, развитию в данных условиях.

Анализ стабильности развития проводился в Институте биологии развития им. Н. К. Кольцова АН СССР, в лаборатории постнатального онтогенеза, на прыткой ящерице (*La-*



Расположение щитков на голове у прыткой ящерицы (вид сверху). Для примера показаны некоторые варианты строения межчелюстного (1), лобноносового (2) и лобного (3) щитков, а также асимметрия одного из учитываемых количественных признаков — числа верхнересничных щитков (слева — 5, справа — 7, выделены цветом).

certa agilis). В качестве анализируемого фактора была выбрана температура окружающей среды, которая в индивидуальном развитии этого вида играет определяющую роль (в сравнении с влажностью и прочими параметрами). Яйца ящериц инкубировались при разных температурах: 20, 25, 30 и 35°C. У всех новорожденных ящериц учитывались различные особенности щитков на голове, формирование которых завершается к моменту вылупления. Изменчивость оценивалась по трем показателям: величине асимметрии, общему фенотипическому разнообразию ряда выбранных нами количественных признаков, среднему на особь числу качественных отклонений от нормального щиткования (из обнаруженных нами 150 типов отклонений). Как было отмечено

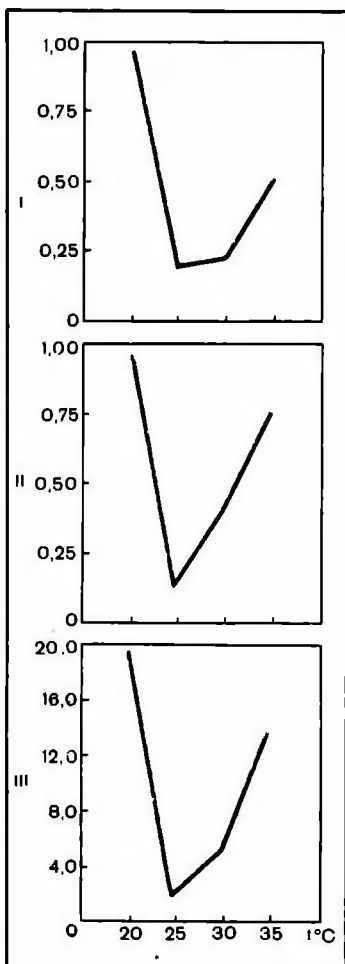
ранее², именно эти показатели отражают уровень нарушений развития и могут быть использованы для оценки стабильности развития.

В эксперименте наиболее единообразное потомство развивалось при температуре 25°. Все три анализируемых показателя изменчивости обнаруживали похожую V-образную зависимость от температуры (см. график): самая низкая точка кривой во всех случаях соответствовала 25°; как с увеличением, так и с уменьшением температуры изменчивость показателей резко возрастает. При этом необходимо иметь в виду, что такую форму зависимости, позволяющую четко выделить зону оптимума, обнаруживают лишь данные показатели изменчивости, в то время как средняя величина количественных признаков или частота встречаемости отдельных качественных признаков нередко оказывается в прямой или обратной зависимости от температуры, что не позволяет определить зону оптимума.

Итак, уровень стабильности развития, оцененный по

¹ Эмме А. М.—Бюлл. МОИП, отд. биол., 1953, т. 58, с. 89; Мина М. В., Клевезаль Г. А. Рост животных. М., 1978; Детлаф Т. А.—Онтогенез, 1981, т. 12, № 3, с. 227.

² Захаров В. М. Фенетика и гомеостаз развития.— Природа, 1981, № 4, с. 111.



Зависимость от температуры инкубации у протой ящерицы трех показателей изменчивости: I — среднего уровня общего фенотипического разнообразия количественных признаков (в отн. ед.), II — среднего уровня асимметрии (в отн. ед.), III — среднего числа нарушений на особь.

разным показателям, оказался наибольшим при 25°, что и дает основания считать температурные условия около этого значения оптимальными.

Описанный подход к определению оптимальных условий индивидуального развития представляется весьма перспективным, ибо стабильность развития, с одной стороны, относится к числу наиболее общих

характеристик, отражающих особенности индивидуального развития в целом, а с другой стороны, является очень чувствительной, позволяющей выделять достаточно узкие зоны оптимума даже для пойкилотермных (холоднокровных) животных, развитие которых в природе происходит при весьма широком диапазоне условий. Этот подход, продемонстрированный на примере температуры, может применяться для определения оптимальных диапазонов и по другим факторам среды, и в отношении других видов животных.

В. М. Захаров,
кандидат биологических наук
Москва

Этология

Певчий дрозд и телефон

Орнитолог П. Слейтер (P. Slater; Сассекский университет, Великобритания) заметил, что некоторые черные и певчие дрозды Англии издают звуки, необычные для своего вида. Наблюдения показали, что чаще всего это встречалось поблизости от домов, где по просьбе владельцев телефон вместо нормального резкого звонка был снабжен сигналом, напоминающим механическое чирикание. Сопоставив записи песни таких дроздов с телефонным сигналом, Слейтер установил очень близкое их сходство по частотной характеристике, модуляции и времени звучания «музыкальных фраз».

Известно, что большинство птиц из отряда воробьиных, чтобы научиться петь именно так, как свойственно их виду, должны слышать соответствующее песни или, по крайней мере, нечто близкое к ним. «Репертуар» певчего дрозда отличается большой широтой, и звуки вошедшей в моду разновидности телефона, очевидно, отвечают какой-то из его песен.

В Англии сейчас около 6% всех телефонных аппаратов издают не звонок, а «чирикание». Интересно установить, будет ли среди птиц распространяться но-

вая «мелодия» только путем «подслушивания» таких аппаратов или же они смогут учиться ей друг от друга.

Animal Behaviour, 1983, v. 31, № 3, p. 308; New Scientist, 1983, v. 98, № 1353, p. 74 (Великобритания).

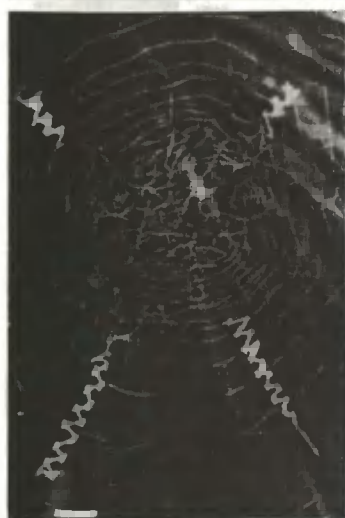
Зоология

Как пауки защищают свои сети

Вопрос о назначении белых шелковых узоров (так называемых стабилизаторов), которыми пауки семейства Araneidae и Uloboridae украшают свои сети, давно ставил в тупик биологов. Обращали на себя внимание два факта: стабилизаторы встречаются лишь у тех видов пауков, которые активны в светлое время суток; форма стабилизаторов у разных видов широко варьирует. Это позволило предположить, что стабилизаторы выполняют роль зрительных маркеров, предупреждающих о наличии паутины. Экспериментальную проверку этого предположения осуществляли сотрудники Корнеллского университета (США) Т. Айснер и С. Новицкий (Th. Eisner, S. Nowicki).

Авторы экспериментировали с лишенной стабилизатора сетью паука (предположительно Eriophora ravilla), ведущего ночной образ жизни и демонтирующего свою постройку на рассвете. После того как паук кончал строить свою сеть, его удаляли и сеть оставалась на день. Одни из таких сетей снабжали искусственными (вырезанными из белой бумаги) стабилизаторами, другие служили контролем. Подсчитано, что к 12 часам дня оставались не-

Сети со стабилизаторами трех видов пауков (1-й ряд) и их увеличенные фрагменты (2-й ряд). В 3-м ряду показана сеть ночного паука, в норме лишенная стабилизатора, а в эксперименте снабженная его аналогами. Масштаб: 1-й ряд — 3 см, 2-й ряд — 1 см, 3-й ряд — 5 см.



поврежденными лишь 8% контрольных сетей, тогда как сети, снабженные аналогами стабилизаторов, сохранялись более чем на 60%.

Авторы считают, а в одном случае это подтверждено прямыми наблюдениями, что стабилизатор служит защитой сетей в первую очередь от птиц.

Как и любое специализированное приспособление, в некоторых ситуациях стабилизаторы неадаптивны. Так, иногда на них реагируют крупные насекомые, которые могли бы служить пауку добычей; в других случаях стабилизаторы привлекают хищников.

Science, 1983, v. 219, № 4581, p. 185—187 (США).

Зоология

Урбанизация ворон

С начала 60-х годов интенсивно растет численность синантропных популяций врановых птиц (серая ворона, галка, грач) на урбанизированных территориях¹. В. М. Константинов, В. Г. Бабенко, И. К. Барышева (Московский государственный педагогический институт им. В. И. Ленина и Зоологический музей МГУ) изучали на протяжении 1963—1980 гг. численность и экологию врановых в условиях слабо, сильно и полностью измененных человеком ландшафтов Центрального района Европейской части СССР.

Большинство наблюдений и учетов проведено авторами в Москве, где плотность населения 14,4 тыс. чел/км², вся городская территория преобразована человеческой деятельностью и испытывает мощную рекреационную нагрузку. В районах дачных поселков в 30 км к юго-востоку и юго-западу от Москвы были выбраны участки сильно измененных ландшафтов, где плотность 1,5—2 тыс. чел/км²; доля антропогенно измененных территорий — 80%,

рекреационная нагрузка высокая. Участки широколиственно-хвойных и хвойно-широколиственных лесов в 40 км к северу и в 50 км к юго-западу от Москвы выбраны как слабо измененные: они редко посещаются людьми, а площадь антропогенно измененных территорий — около 40%.

Серая ворона встречается во всех типах антропогенного ландшафта, однако ее численность в гнездовое время весьма различна: 2—3 пары в слабо измененных, 15—16 пар в сильно измененных, 32—36 пар на 1 км² в урбанизированных ландшафтах. Отмечено, что в лесопарковой зоне Москвы в случаях беспокойства, отстрела, разорения гнезд вороны выбирают для гнездования труднодоступные места, в городе же, где люди их непосредственно не преследуют, они перестали воспринимать человека как потенциальный источник опасности. Об этом свидетельствует изменение дистанции испугивания: в жилых кварталах старого города вороны взлетают теперь от прямо идущего на них человека с расстояния 2—2,5 м, в лесопарках — 18—20 м, в лесах Подмосквы человека без ружья вороны не подпускают ближе чем на 30—40 м.

Увеличение плотности городской популяции ворон ведет к сокращению расстояния между соседними гнездами (до 60—100 м, наименьшее — 20 м). Таким образом, гнездование ворон в городе становится полукOLONIALНЫМ.

Врановые, длительное время обитающие в городе, привыкают к его планировке, суточному ритму жизни населения (максимум утренних и вечерних миграций птиц зимой совпадает по времени с включением и выключением электрического освещения улиц). Специфические условия города — более мягкий климат, ранние сроки вегетации и цветения растений, обеспеченность кормами — обусловили более ранние сроки размножения. Ритуальное брачное поведение, образование пар, строительство гнезд у ворон в городе начинается на 4—5 недель раньше, чем в слабо измененных ландшафтах. В урбанизированных тер-

риториях наблюдается тенденция к росту плодовитости за счет увеличения числа яиц в кладке.

Авторы отмечают еще один специфический аспект существования синантропных популяций врановых в городе: с одной стороны, идет процесс устойчивого наращивания их численности, с другой — предпринимаются усилия по целенаправленному ограничению роста их популяций. В результате темп обновления популяций ускоряется. По мнению авторов, в целом это ведет и к ускоренной выработке все более тонких адаптаций птиц к урбанизированному ландшафтам.

Зоологический журнал, 1982, т. LXI, вып. 12, с. 1837—1845.

Геология

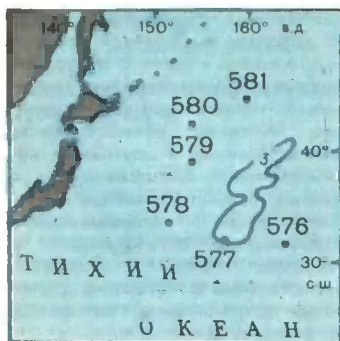
86-й рейс «Гломара Челленджера»

Перед участниками этого рейса стояла задача выяснить, как изменялись на протяжении мезозоя и кайнозоя океанологические условия в северо-западной части Тихого океана¹. Научное руководство осуществляли Л. Беркл (Геологическая обсерватория им. Ламонта и Дозерти) и Дж. Росс Хит (Университет штата Орегон в Корваллисе). Рейс начался 5 мая 1982 г. из порта Гонолулу (Гавайские о-ва) и завершился заходом в порт Иокогама (Япония) 19 июня 1982 г.

Скважины бурились по двум разрезам: в широтном (576—578) и меридиональном (578—581) направлениях. За исключением скважины 577, которая находится на своде крупной возвышенности, носящей имя известного советского геолога Н. С. Шатского, все остальные скважины располагаются на глубоководном ложе океана. В этой части Тихого океана бурение проводилось уже неоднократно, но без применения гидравлического проботорборника, и потому для палеоокеанологиче-

¹ См.: Благодослов К. Н. Птицы в городе. — Природа, 1980, № 5, с. 43.

¹ JOIDES Journal, 1982, v. VIII, № 3, p. 21.



Расположение скважины 86-го рейса «Гломара Челленджера» в Северо-Западной котловине Тихого океана. Изобата 3 км ооконтуривает возв. Шатского.

ских исследований керн оказывался недостаточно полным.

Самая крайняя восточная скважина (576) прошла в верхней части (0—28 м) по исключительно тонким осадкам плиоцена и плейстоцена, имеющим преимущественное золотое происхождение. Под ними (28—55 м) залегают миоценовые типично глубоководные глины, очень однородные и обогащенные марганцем; глубже (55—75 м), с большим временным перерывом, — темно-коричневые глины и более светлые нанопланктонные илы, относящиеся к концу мелового периода (около 70 млн лет).

Установлено, что за последние 70 млн лет скорость седиментации резко возростала: от 0,2 м/млн. лет — в конце мела до 2 м/млн лет — к концу неогена и до 10 м/млн лет — в конце плейстоцена.

Исключительно высокая степень сортировки осадков, их однородность служат причиной того, что на сейсмических разрезах они выглядят «прозрачными», не дают заметных отражений. Под осадками же залегает горизонт кремней, который создал резкую отражающую сейсмическую границу. Буровой инструмент не смог его преодолеть, и бурение было остановлено.

В отличие от скважины 576, бурение на возвышенности Шатского дало довольно полный разрез кайнозойских и верхне-меловых осадков: здесь отлагались известковые нанопланктон-

Характеристика скважины 86-го рейса

№ скважины	Координаты		Глубина океана, м	Глубина скважины, м	Выход керна, %
	с. ш.	в. д.			
576	32°21,3	161°16,5	6217	74,8	99
577	32°26,5	157°43,4	2675	123,4	93
578	33°55,6	151°37,7	6010	176,8	98
579	38°37,6	153°50,3	5737	149,5	86
580	41°37,5	153°58,6	5357	155,3	91
581	43°55,6	159°47,8	5476	352,5	45

ные илы. Когда буровой инструмент дошел до горизонта кремней, бурение также было остановлено. В разрезе отсутствуют осадки позднего эоцена — раннего миоцена (20—40 млн лет); вероятно, они были размыты. Выше этого перерыва скорость накопления осадков достигала 12—13 м/млн лет (особенно высокой она была в конце кайнозоя), а ниже перерыва она резко упала — до 0,4—1,9 м/млн лет.

Последняя скважина широтного разреза (578) вскрыла толщу кремнистых глин миоцено-плистоценового возраста, имеющих биогенное происхождение. Для верхней части (0—76 м) характерны восстановительные условия, для нижней (76—125) — окислительные. Литологи экспедиции насчитали в разрезе 72 пепловых горизонта — свидетельство разыгравшихся на островных дугах мощных вулканических процессов. Толщина наиболее крупного из горизонтов — 27 см. Ниже, до самого забоя скважины (176 м), залегают исключительно однородные пелагические глины позднего мела. Горизонт кремней (их возраст около 70 млн лет) и здесь помешал дальнейшему бурению. Закончив широтный разрез, эта скважина одновременно начала меридиональный.

Вдоль всего меридионального разреза получены сходные результаты. Скважины 579 и 580, как и предыдущая, вскрыли кремнистые глины биогенного происхождения с горизонтами пеплов по всей толще и многочисленными в верхней части разреза слоями, которые обогащены пиритом (присутствие этого минерала — FeS_2 — указывает на восстановительные ус-

ловия среды). Скважина 581 прошла всю эту толщу, однако в целях быстроты прохождения керн не отбирался. На глубине 245 м зафиксирована граница между вышеописанными глинами позднего миоцена и залегающими ниже исключительно тонкими и плотными пелагическими глинами среднего миоцена. В интервале 276—344 м эти глины оказались сильно окремнелыми, так что получить керн не удалось. На глубине 344 м скважина вошла в базальты. По магнитным аномалиям, фундамент должен иметь возраст около 115 млн лет.

Таким образом, исследование показали, что возвышенность Шатского служит как бы рубежом, разделяющим области с различным режимом седиментации. Полученные данные имеют предварительный характер. Участники экспедиции полагают, что тщательные лабораторные исследования материала, отобранного на меридиональном разрезе, помогут установить, как изменялся режим течения Куросио, т. е. будут ключом к расшифровке динамики палеоокеанических условий в северо-западной части Тихого океана.

А. Е. Сузюмов,
кандидат геолого-минералогических наук
Москва

Вулканология

Вулканический направленный взрыв

Извержения типа направленного взрыва, т. е. сопровождающиеся мощными гори-

зонтально направленными выбросами, достаточно редки (Безымянный и Шивелуч на Камчатке — 1956 и 1964 гг., Бандай в Японии — 1888 г.), и до сих пор исследовать их детально не удавалось. Отсюда понятен повышенный интерес специалистов к взрывному извержению вулкана Сент-Хеленс (США) 18 мая 1980 г., которое оказалось хорошо документировано благодаря ясной погоде многочисленными очевидцами, находившимися в окрестностях вулкана.

Анализ описаний картины извержения, сейсмограмм, серий фотографий, выполненных случайными наблюдателями, демонстрирует сложную последовательность событий начала извержения. Подземный толчок силой 5 баллов вызвал катастрофический обвал северного фланга конуса вулкана объемом в 2,3 км³. Внезапное снятие нагрузки привело к мгновенному (взрывному) вскипанию магмы и горизонтально направленному выбросу обломков пород на расстоянии 25 км. Последовавший затем вертикальный выброс газа, пепла и бомб достиг высоты 20 км. Рассчитана скорость процессов, сопровождавших извержение¹: вершинно-кратерные выделения пепло-газовых струй — до 90 м/с; обвал горных пород — 50—70 м/с; движение горизонтально летящих обломков выброса — 50—100 м/с. Температура этих обломков², оцененная по результатам экстраполяции непосредственного измерения в продуктах взрыва и дополненная данными о тепловом воздействии на деревья, пластмассовые предметы и т. п., колеблется от 750—850°C вблизи кратера до 730—300° — на удалении от него. Сравнение еловых игло-лок, собранных с неповаленных опаленных деревьев и экспериментально кратковременно нагретых в печи, позволило определить, что температура воздуха на участке, расположенном в 8 км от кратера, но не на пути

движения ударно-взрывного потока, составляла 50°, а на участке, отстоявшем на 21 км, но находившемся на пути потока, — 250°. Тепловая энергия взрыва оценивается в 24 мегатонны, из которых 7 высвободились в момент распространения волны, остальная часть — при конденсации пара и охлаждении обломков.

Эквивалентность объема продуктов извержения и «вздутия» конуса до его взрыва, а также существенная пористость этих продуктов и длительное их пузырение служат доказательством, что причиной взрыва было вскипание магмы. Численное и аналитическое решение гидродинамических уравнений движения³ показало, что при наблюдавшихся скоростях ударно-взрывного потока в первичной магме должно присутствовать 0,2—0,7 вес. % водяного пара, а слой разгрузки иметь мощность 200—900 м. Общее содержание воды должно при этом составлять 0,7—1,7 вес. %; столь малая величина говорит о том, что вулканический направленный взрыв — это нормальное следствие внедрения магмы в подверженное обвалу нестабильное жерло вулкана.

Н. В. Виноградов

Москва

Океанология

Как разрушаются айсберги

М. Кристенсен, В. А. Сквайр и С. Мур (M. Kristensen, V. A. Squire, S. Moor; Институт полярных исследований им. Р. Скотта, Кембридж, Великобритания) изучали процесс разрушения антарктических айсбергов. Проанализировав сложные комплексные воздействия, которым подвергаются плавающие ледяные горы под влиянием океанических волн, авторы выделяют целый ряд раз-

нообразных движений, каждое из которых вызывается особым видом волны и зависит от формы айсберга. Они различают вертикально направленное покачивание, болтанку, волнообразное приподнимание и опускание, горизонтальное смещение взад и вперед, подобие килевой качки с окунанием и выныриванием, поочередное погружение и всплытие «носа» и «кормы», раскачивание из стороны в сторону, потряхивание, вращение, колебание, рыбки и т. д.

Установлено, что айсберги не реагируют на морские волны с периодом меньше 0,2 с. Волны с большим периодом оказывают уже заметное влияние на движение айсбергов. Среди различных видов движений, осуществляющихся одновременно, обычно некоторое время преобладает какое-либо одно; так, волна с периодом 6 с вызывает воздымание и опускание ледяного тела в течение примерно 40 с, после чего доминирующей окажется волна с периодом 100 с, которая заставит айсберг испытывать «бортовую качку» на протяжении нескольких часов. При этом колебания айсберга резонируют с волнами определенных периодов. Установлено и обратное воздействие: колеблющееся ледяное тело влияет на проходящую под ним волну, создавая собственное волновое поле.

Испытывающий всестороннее воздействие айсберг оказывается значительно менее прочным, чем полагают до сих пор. Особенно пагубно на его целостность действует тот факт, что волновое поле влияет на различные части тела айсберга неравномерно. Вследствие периодических изгибов возникают мелкие и крупные трещины, в конце концов приводящие к его разрушению.

Результаты этого исследования очень заинтересовали соответствующие организации Австралии и Саудовской Аравии, которые изучают проблемы транспортировки антарктических айсбергов к берегам своих стран в целях снабжения пресной водой.

¹ U. S. Geological Survey Professional Paper, 1981, v. 1250, p. 69—92.

² Ibid., p. 295—322; 379—400.

³ J. Geophysical Res., 1982, № 89, p. 7723—7738.

Nature, 1982, v. 297, № 5868, p. 669—671 (Великобритания).

Геотектоника

Новый способ оценки поднятия Памира

До сих пор при оценке поднятия горных стран в новейшее время используются две группы признаков — геологические и геоморфологические. При этом определяется разница первоначального и современного высотного положения слоев или ярусов рельефа соответствующего возраста. Палинолог М. М. Пахомов (Ботанический институт АН ТаджССР) и геолог А. А. Никонов (Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР) предлагают новый, не зависящий от существующих способ количественной оценки новейшего орогенеза, основанный на использовании спорово-пыльцевых спектров в неледниковых отложениях последовательного возрастного ряда.

По ископаемым спорам и пыльце в четвертичных отложениях разного возраста определяется набор произрастающих в то время растений. Затем находятся высотные интервалы, на которых растут современные ближайшие аналоги ископаемых лесных группировок. Сопоставляя высоту нынешнего положения слоев, содержащих остатки типовых лесных компонентов, со средней высотой произрастания их современных аналогов в близлежащих горах, принимаемой в качестве палеовысоты (высоты первичного накопления осадков), получают высотные изменения горной страны за соответствующий отрезок времени. При наличии определенного спорово-пыльцевого набора для последовательного ряда однородных климатических эпох (например, межледниковых) можно количественно реконструировать последовательность и темп воздымания горной страны.

Авторы реализовали эту возможность для Восточного Памира, где сохранились отложения нескольких межледниковых. Изученные разрезы ныне расположены на абсолютной высоте 3—4 тыс. м и охватывают интервал времени от 3,3 до 0,3 млн лет назад.

На месте Памира уже свыше 3 млн лет назад существо-

вали горы высотой 2—3 тыс. м с перепадами высот 1—2 км (ныне 2,7—3 км). Процессы поднятия происходили неравномерно: в фазы активизации скорость воздымания Памира достигала 2—4 мм/год (против 0,2—0,25 мм/год в промежуточные периоды). Выделение новым способом фаз тектонической активности согласуется с имевшимися ранее геолого-геоморфологическими данными по Памиру.

Доклады АН СССР, 1983, т. 269, № 2, с. 435—439.



Охрана природы

Меры для спасения кондора

Согласно последним подсчетам, в мире осталось не более 20 калифорнийских кондоров (*Gymnogyps californicus*) — одного из крупнейших хищников (размах крыльев у отдельных особей может превышать 2,5 м). В попытке сохранить редкую птицу¹ группа орнитологов во главе с Б. Туном (В. Топе; Парк диких животных в Сан-Диего, штат Калифорния, США) изъехала из гнезда кондора два яйца и поместила их в инкубатор. 8 марта — апреле 1983 г. из них вылупились птенцы — Сискуок весом 202 г и Текуя весом 166 г (имена им даны по индейским названиям местностей в Калифорнии, где этот вид был ранее широко распространен). Это первый случай выведения калифорнийского кондора в неволе. Учитывая необычайную хрупкость птенцов, способных, как показал печальный опыт, погибнуть от стресса при одном лишь соприкосновении с человеком, экспериментаторы проявляют на сей раз крайнюю осторожность.

Первые недели жизни кондоры провели в инкубато-



Выведенный в инкубаторе птенец кондора и кукла-марионетка в качестве его «родителя».

ре для новорожденных. Их диету составляет сечка из мышей двухдневного возраста и отрыжка взрослых птиц. Чтобы получить хранящуюся в зобе непереваренную пищу, экспериментаторы сознательно перекармливали близкородственных кондорам и сравнительно многочисленных в Парке индюшачьих и американских черных грифов, а затем, вспугивая и перегоняя их с места на место, заставляли их «отдать» этот необходимый для птенцов корм.

Кормят птенцов, используя в качестве подсадного родителя куклу-марионетку, изготовленную из кожи, фиброгласа и других искусственных материалов. С помощью «клюва» этой куклы, надетой на руку, экспериментатор не только кормит, но и чистит птенца, ухаживает за ним, тщательно подражая поведению взрослой птицы. Через две с половиной недели после рождения Сискуок более чем удвоил свой вес; развитие Текуя шло несколько медленнее.

Все три особи калифорнийского кондора, содержащиеся ныне в различных зоопарках мира, — самцы. Если среди выведенных в инкубаторе птенцов окажется хотя бы одна самка (пол птенцов определить пока не удалось), можно будет попытаться организовать их размножение в неволе с последующим выпуском в естественную среду.

New Scientist, 1983, v. 98, № 1353, p. 63 (Великобритания).

¹ См. также: Кондор у последней черты. — Природа, 1979, № 7, с. 112; Изучается калифорнийский кондор. — Природа, 1981, № 3, с. 117.

Кибернетика

Н. Винер. КИБЕРНЕТИКА ИЛИ УПРАВЛЕНИЕ И СВЯЗЬ В ЖИВОТНОМ И МАШИНЕ. Пер. с англ. И. В. Соловьева и Г. Н. Поварова. Изд. 2-е. М.: Наука, Главн. ред. изданий для зарубежных стран, 1983, 345 с., ц. 1 р. 20 к.

«Кибернетика» — главный труд Норберта Винера, прославивший его имя. Ее появление в 1948 г. провозгласило рождение новой науки. Тем не менее книга Н. Винера не является последовательным курсом кибернетики. По словам самого автора, это лишь введение в науку. Н. Винер видел обширное поле для приложения законов кибернетики к решению задач техники, физики, биологии, физиологии, медицины. Он был глубоко убежден, что кибернетика вооружит представителей различных специальностей общим языком, общей методикой. Книга полна раздумий о роли кибернетики в современном обществе, при этом автор часто обращается к вопросам философии и морали, размышляет о путях науки и человечества.

Живое изложение мыслей, неожиданность отступлений, чередование четких определений и математических формул с метафорой и притчей делают «Кибернетику» Н. Винера похожей на произведения ученых-универсалистов прошедших времен.

Настоящее издание книги снабжено приложением, где приведены статьи Н. Винера, интервью, опубликованные в различных журналах, в том числе и в журнале «Природа» (1960, № 8).

Геохимия

В. Л. Зверев. ПРОПАВШИЕ АТОМЫ. М.: Знание, 1983, 140 с.

Для понимания глубины и сложности проблем экологии

необходима широкая популяризация знаний о ходе природных процессов в пределах верхней оболочки Земли, охватываемых сферой развития живого вещества, о естественных потоках химических элементов и о возможных нарушениях их баланса в результате хозяйственной деятельности человека. Нужна массовая геохимическая литература такого рода. Пока еще она довольно бедна. Тем более отраден выход в свет большимтиражом книжки В. Л. Зверева «Пропавшие атомы».

Она начинается с очерков об уране и его изотопах. В свое время В. Л. Зверев внес определенный вклад в геохимию радиоэлементов, занимаясь с известным советским радиохимиком В. В. Чердынцевым поисками трансураниевых элементов в природных объектах, балансом урана в водах Мирового океана и другими проблемами геохимии природных радиоактивных элементов.

Проблема охраны природных вод, защита гидросферы — предмет следующей серии очерков. На примерах Байкала и Плещеева озера показано, какую роль могут играть изотопные методы, главным образом тритиевые, для выяснения особенностей водного баланса.

Третья важная проблема, которой посвящен сборник очерков, — это свойства и химический состав атмосферы Земли. Особое беспокойство вызывает понижение содержания кислорода в атмосфере. Если увеличение углекислого газа в атмосфере грозит изменением теплового баланса планеты (за счет уменьшения переизлучения в космическое пространство) со всеми вытекающими отсюда последствиями, то понижение содержания кислорода представляет непосредственную угрозу нормальному функционированию теплокровных животных, в том числе человека. Серьезные опасения вызывают изменения радиационно-

го баланса Земли в связи с разрушением озонового экрана атмосферы. Увеличение плотности жесткого излучения солнечной природы несомненно приведет к различного рода лучевым поражениям, а также изменениям наследственных свойств живых организмов.

Заключает книгу очерк «Наука о доме», в котором коротко рассматриваются вопросы возникновения атмосферы и гидросферы, а на этом фоне — проблемы возникновения жизни и усложнения живого вещества на Земле.

Очерки отличает оригинальная литературная форма, что также в немалой степени способствует достижению основной цели книжки — повышению экологической культуры человека.

Г. И. Войтов,
доктор геолого-
минералогических наук
Москва

Биология

FROM BIOLOGY TO BIOTECHNOLOGY. Ed. by C. M. Kinnon with A. N. Kholodilin and V. Ortel. UNESCO and the Mendelianum of the Moravian Museum. Brno, Czechoslovakia, 1981, 153 p.

Эта книга — первый опыт ЮНЕСКО в издании сборников научно-популярных статей видных ученых, писателей и журналистов, популяризаторов естествознания. Она посвящена новейшим достижениям биологии, истории биологии и ее перспективам. Особое внимание уделено генетике. Сборник состоит из трех разделов, написанных в разных жанрах. Первый — «Существо молекулярной биологии», написанный целиком советским молекулярным биологом, членом-корреспондентом АМН СССР Е. Ф. Романцевым, — дает общую картину современных достижений в мо-

лекулярной биологии. Второй раздел — «Первооткрыватели» — состоит из статей исторического характера и посвящен новым взглядам на научную роль Дарвина, Менделя, Мишера, Пастера, Уотсона и Крика, Хораны и Астаурова. Авторы статей: английский общественный деятель и популяризатор науки М. Пайк; руководитель «Менделианума», историк науки из Чехословакии В. Орел, директор Института медицинской генетики Женевского университета Э. Энгель, редактор известного английского журнала "New Scientist" Б. Диксон, государственный и общественный деятель в области высшего образования Индии Д. Шанкар Нарайан, директор Института цитологии и генетики АН СССР Д. К. Беляев. Третий раздел — «Образы будущего» — посвящен конкретным достижениям современной науки и написан учеными разных стран, активно работающими в области генетики и геномной инженерии, иммунологии, паразитологии, биотехнологии.

Биохимия

В. И. Розенгарт. ФЕРМЕНТЫ — ДВИГАТЕЛИ ЖИЗНИ. Отв. ред. Е. М. Крепс. Рец.: Н. Н. Яковлев, С. А. Нейфак. Л.: Наука, сер. «От молекул до организма», 1983, 160 с., ц. 55 к.

«Все химические процессы направляются в теле именно этими веществами», — писал И. П. Павлов о ферментах. Функции ферментов невозможно понять, не познаковавшись со всеми веществами, из которых состоит живой организм. Этому посвящено начало популярной книги В. И. Розенгарта. Автор кратко излагает историю развития энзимологии — науки о ферментах — и современные представления об их строении. Большое внимание уделено механизму действия ферментов, а также влиянию разных факторов на их активность. Ингибиторам — веществам, избирательно подавляющим ферментативную активность, — также отведено большое место. Значе-

ние ингибиторов не только в том, что их исследование помогает иногда выявить строение активного центра ферментов; ингибиторы — это и лекарственные вещества, и средства химической защиты растений, и технологические добавки, и многое другое. В книге говорится также и о процессе биосинтеза ферментов, и о некоторых основных функциях, которые ферменты выполняют в живом организме.

Логическим заключением служит рассказ о применении ферментов в трех основных областях: в медицине (для диагностики и лечения), в пищевой промышленности и сельском хозяйстве. Обрисованы возможные пути использования ферментов в научных исследованиях.

ОХРАНА ПРИРОДЫ

Wolfdietrich Eichler. GIFT IN UNSERER NÄHRUNG. DIE BRISANZ DER UMWELTGIFTE IN NÄHRUNGSKETTEN. BRD: KILDA-VERLAG, 1982.

В издательстве «Кильда» (ФРГ) вышла книга биолога из ГДР В. Эйхлера «Яд в нашей пище», написанная живым языком и рассчитанная на самый широкий круг читателей. Книга в значительной степени представляет собой критический обзор работ, опубликованных за последние 10—20 лет. Сам автор уже более 40 лет изучает химические средства защиты растений от вредителей и воздействие этих средств на живые организмы. Поэтому материал книги базируется и на богатейшем опыте автора. Уместно отметить здесь большой личный вклад В. Эйхлера в дело запрета ДДТ рядом стран и его самоотверженную просветительскую работу как профессора Университета им. Гумбольдта в Берлине и лектора, выступающего перед самой различной аудиторией.

Книгу отличает высокая степень концентрации фактов отрицательного характера. Автор подчеркивает необходимость и важность распространения знаний об опасностях, кото-

рые несут в себе яды, распространяющиеся через многообразие пищевых связей, для всего живого, в том числе и для человека, а также несомненную возможность решения многих из этих проблем на основе наших современных знаний.

Говоря об ответственности человека перед природой, автор прежде всего имеет в виду биологов, располагающих богатым арсеналом знаний о живых организмах и способных как никто другой оценить всю опасность и последствия химических загрязнений воды, воздуха, почвы.

Перечисление тематики кратких разделов книги может дать представление о широте охвата материала: борьба с насекомыми-вредителями, печальные итоги бесконтрольного применения ДДТ, биологическое действие тяжелых металлов, хлорорганических соединений, удобрений, лекарственных средств, пути накопления ядов в организме через пищевые цепи, печальные факты исчезновения некоторых видов животных и даже человеческие жертвы. Многие приведенные в тексте факты — свидетельство, увы, уже необратимых явлений.

Книга заставляет читателя еще острее почувствовать свою причастность к происходящему, всю необходимость и безотлагательность энергичных действий.

В. Эйхлер владеет русским языком, знаком с советскими публикациями, цитирует советские работы и приводит убедительные примеры, отражающие состояние проблемы в нашей стране. Вместе с тем в книге весьма сурово критикуется капиталистическая система, когда речь идет о резком расхождении интересов предпринимателей с требованиями охраны окружающей среды.

Заканчивается книга эпизодом, в котором прекрасно звучат слова А. Швейцера: «Покорность судьбе, пессимизм недостойны человека».

В. А. Турчанинова,
ученый секретарь
Национального комитета
биологов СССР
Москва

Океанография

ИССЛЕДОВАНИЯ ОКЕАНОВ И МОРЕЙ. Итоги, проблемы, перспективы. Сб. статей ГОИНа под ред. Ф. С. Терзиева. М.: Гидрометеоиздат, 1983, 319 с., ц. 1 р. 50 к.

В июне 1941 г. было принято решение о создании Государственного океанографического института Главного управления Гидрометслужбы при Совете Народных Комиссаров СССР, но начало Великой Отечественной войны отодвинуло его организацию. Институт был образован 14 июня 1943 г. Сегодня ГОИН — это головное учреждение в системе Госкомгидромета СССР в области морской гидрологии и морской гидрохимии. Основные этапы развития института за прошедшие 40 лет его существования отражены в сборнике статей, вышедшем к этому юбилею. Здесь представлены наиболее важные результаты по исследованию взаимодействия атмосферы и океана, химического загрязнения морских вод, динамических процессов в морях и океанах, космической и аэроокеанографии.

История науки

ПАНТЕЛЕЙМОН ЛЕОНИДОВИЧ БЕЗРУКОВ. Отз. ред. А. Л. Яншин. М.: Наука, Науч.-биогр. сер., 1983, 192 с. ц. 1 р. 10 к.

Можно сказать, что жизнь Пантелеймона Леонидовича Безрукова (1909—1981) прошла с блеском. Она была своеобразна, содержательна, значительна по достигнутым результатам, и имя этого крупного геолога, конечно, займет достойное место в истории советской науки. Ученая степень доктора геолого-минералогических наук была присуждена П. Л. Безрукову при защите кандидатской диссертации (хотя он и не имел систематического высшего образования). Трижды он удостоивался звания Лауреата Государственной премии СССР. Ему было присвоено звание «Почетного гражданина города Каратау». При всем этом П. Л. Безруков был человеком исключительной скромности, сдержанный на словах, лиш-

ний каких-либо наклонностей к внешнему эффекту, любивший красоты природы и стихи.

Творческая жизнь член-корреспондента АН СССР П. Л. Безрукова делится на три периода: довоенный (30-е годы) — исключительно яркий, затем период Великой Отечественной войны — относительно менее выразительный, хотя и деловой, и послевоенный, продолжавшийся вплоть до последнего дня жизни (умер он 13 января 1981 г.), — также необычайно яркий.

Первый период принес ему радость открытия в горах Каратау крупнейшего фосфоритового бассейна. Вся страна благодарна ему за это открытие. Послевоенный период принес ему доброе имя выдающегося морского геолога, судьба которого неразрывно была связана с легендарным «Витязем». Много раз выходил П. Л. Безруков в Тихий и Индийский океаны, любил морскую романтику, а еще больше любил раскрывать тайны геологического строения царства Нептуна.

Обо всем этом ярко рассказано в научной биографии П. Л. Безрукова, написанной тремя авторами: Е. М. Безруковой, А. П. Лисицыным, И. О. Мурдмаа.

После прочтения книги остается достаточно яркое впечатление о личности П. Л. Безрукова как ученого, но все же для полноты картины можно было бы дополнить текст некоторыми штрихами житейского свойства. У читателя могут возникнуть вопросы, как отдыхал герой книги, был ли он женат и т. п. Следовало бы избежать и некоторых повторений. Однако в целом книга представляет несомненно удачную.

Член-корреспондент
АН СССР
Ю. М. Пуцарский
Москва



Библиография

ОХРАНА ПРИРОДЫ. Библиографический указатель отечественной литературы. 1977—1981. Сост. Т. Л.

Парнас, В. С. Сысоева, Е. А. Потемкина. М.: Изд-во МГУ, 1982, 149 с., ц. 30 к.

Указатель составлен сотрудниками Научной библиотеки им. А. М. Горького Московского государственного университета — одной из крупнейших библиотек страны, получающей обязательный экземпляр всех изданий, выходящих в СССР. В него включено 1178 наименований работ: преимущественно названия книг (более 1000), но также и некоторых журналов, журнальных статей и государственных актов, опубликованных в СССР на русском языке в 1977—1981 гг. (перед каждым названием стоит расстановочный шифр библиотеки). Достоинство указателя в том, что он разработан библиографами совместно с сотрудниками МГУ — специалистами в различных аспектах охраны природы. Он подготовлен и издан в порядке участия СССР в международной программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера».

Известно около 20 библиографических указателей отечественных работ по охране окружающей среды. Публикация их началась в 1975 г. с включением изданий, вышедших не ранее 1960 г. Почти все указатели отражают отдельные аспекты охраны природы. За период с 1977 по 1982 г. ни одного указателя, подобного здесь представленному, не было. Солидный объем указателя свидетельствует о большой теоретической и практической природоохранной работе, которая ведется в СССР в последние годы.

Е. Е. Божукова,
кандидат биологических наук
Москва

Тематический указатель журнала «Природа» 1983 года

ФИЛОСОФИЯ И ИСТОРИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ НАУКИ

Александр Евгеньевич Ферсман. К 100-летию со дня рождения. Яншин А. Л.	10	76
Анатолий Петрович Александров. К 80-летию со дня рождения	2	102
Воспоминания о А. Е. Ферсмане. История одного доклада. Кедров Б. М.	11	58
Воспоминания об учителе. Бродянский Д. И.	8	89
Высокий долг советских ученых	1	2
Гениальный мыслитель, пламенный революционер. (К 165-летию со дня рождения и 100-летию со дня смерти К. Маркса.)	5	2
Д. А. Рожанский и становление радиопизики. Кебзев Ю. Б., Полякова Н. Л.	3	72
Д. А. Сабинин и развитие физиологии растений. Жолкевич В. Н.	9	96
Давняя дискуссия и современность. Скворцов А. К.	6	74
Динамичные системы и системный подход. Пахомов Б. Я., Большаков В. И.	5	79
Душа, открытая природе. Разгон Л. Э.	5	56
Е. Р. Дашкова — директор Петербургской академии наук. Павлова Г. Е.	4	88
Жизнь — поиски. Деревянко А. П.	8	82
Золотые медали им. М. В. Ломоносова*	6	98
Из переписки Б. С. Кузина и А. А. Любичева (1943—1950)	6	77
Категория «места» в физике Аристотеля. Гайденоко П. П.	2	78
Компьютеры в теоретических исследованиях. Вильсон К.	11	88
Концепция науки Бернардо Больцано. Огурцов А. П.	6	90
Леонардо да Винчи о бесконечном. Баткин Л. М.	7	76
Математик Дж. фон Нейман и его «Математик». Данилов Ю. А.	2	86
Мои встречи с А. Е. Ферсманом. Грицаенко Г. С.	10	93
На службе обороны (Об А. Е. Ферсмане). Яншин А. Л.	10	98
Новый «Корпус Мечникова» в Институте Пастера в Париже. Гайсинович А. Е.	8	32
О феномене псевдонауки. Волькенштейн М. В.	11	96
Первый опыт комплексного исследования памятников первобытной культуры в России. Фермозов А. А.	1	82
Письма В. А. Обручева Г. Н. Потанину	12	63
Природа как внутренний фактор культуры. Тасалов В. И.	12	91
Природа, эстетика, человек. Кнященко Н. И., Лейзеров Н. Л.	12	97

Проблемы исследовательской лаборатории. Абелев И. И.	6	51
Прогноз Карла Маркса о единой науке будущего. Кедров Б. М.	5	4
Прокофий Дамидов — натуралист XVIII века. Караваев М. Н., Ефимов А. И.	2	96
Пушинский социальный эксперимент. Иванецкий Г. Р.	7	56
Редкий портрет А. М. Бутлерова. Гречкин Н. П.	1	81
Роль науки в решении Продовольственной программы. Жамин В. А.	4	2
Серебряные колокола. Шашкина Т. Б.	6	69
«Случай помогает подготовленному уму». Марчук Г. И.	8	80
Становление марксизма и современные противники учения Карла Маркса. Ойзерман Т. И.	5	9
100 лет фагоцитарной теории И. И. Мечникова. Гайсинович А. Е.	8	12
Философские предпосылки естествознания Нового времени. Ойзерман Т. И.	10	11

АСТРОНОМИЯ. АСТРОФИЗИКА. КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Автоматическая станция «Астрон». Никитин С. А.	7	100
Взаимодействие солнечного ветра с Венерой. Вайсберг О. Л., Зеленый Л. М.	6	26
Вихри в атмосфере Сатурна*	1	103
Водяной пар в атмосфере Венеры*	3	107
Второй «кандидат» в черные дыры*	5	101
Галактический «полюс жизни». Марочник Л. С., Мухин Л. М.	11	52
Геологические процессы на Венере*	7	103
«Главное — мы видим сигнал от солнечных нейтрино». (Интервью с Р. Дэвисом).	8	70
Два лика Япета*	2	106
Два японских спутника*	9	105
Есть ли кольца у Нептуна?*	2	107
Завершена 211-суточная экспедиция на «Салют-7»*. Никитин С. А.	3	105
Загадка солнечных нейтрино	8	59
Запуск «Венеры-15» и «Венеры-16»*. Никитин С. А.	9	103
Запуски космических аппаратов в СССР (август—октябрь 1982 г.)*	1	100
Запуски космических аппаратов в СССР (ноябрь—декабрь 1982 г.)*	3	104
Запуски космических аппаратов в СССР (январь—февраль 1983 г.)*	6	104
Запуски космических аппаратов в СССР (март—апрель 1983 г.)*	8	100
Запуски космических аппаратов в СССР (май—июнь 1983 г.)*	10	100
Запуски космических аппаратов в СССР (июль—август 1983 г.)*	12	102
Измерения электрического поля в хвосте магнетосферы	6	104

* Опубликовано в разделе «Новости науки».

Изучение молнии из космоса*	9	105	ФИЗИКА		
Исследование полярных сияний*	10	102	Автоматическое управление плазмой в магнитных ловушках. Самойленко Ю. И., Чуянов В. А.	9	46
Исследуется остаток Сверхновой 1006 года*	12		Акустическое изображение микросхем*	4	107
Кольцевые структуры в галактиках и возраст Вселенной.* Сурдин В. Г.	11	104	Аномальное уменьшение скорости звука в сверхрешетках*	1	105
Комета Галлея обнаружена.* Симоненко А. Н.	3	107	Атомы ставят диагноз плазме. Афросимов В. В., Петров М. П.	2	2
Кометы межзвездного происхождения*	2	107	Баропластический эффект при сверхпластичности*	6	107
Кометы падают на Солнце*	4	106	Бесщелевые полупроводники — новый класс веществ. Иванов-Омский В. И., Цидильковский И. М.	2	67
Компоненты около квазаров*	7	103	Витают в воздухе. Розенберг Г. В.	4	68
Космический γ-источник Геминга*. Митрофанов И. Г.	11	103	Влияние слабых магнитных полей на структуру твердых тел*	9	108
Куда направлено магнитное поле Галактики*	9	105	Водородные кластеры для управляемого ядерного синтеза*	1	105
Ледяные «морщины» Энцелада*	1	102	Волоконные световоды и ультракороткие световые импульсы*	9	107
«Малые составляющие» в атмосфере Венеры*	8	101	Выращивание больших кристаллов для лазеров*	10	107
Международная программа «Год солнечного максимума» — основные результаты. Степанов В. Е., Касинский В. В., Томозов В. М.	12	82	Генерация ультрафиолета в сверхзвуковой струе газа*	8	104
Метеорит с Луны?	10	104	Голографические методы измерений. Гинзбург В. М., Степанов Б. М.	12	3
Микросейсмы на Венере*	4	106	Двухфотонное возбуждение позитрония*	5	103
Мощные аннигиляционные вспышки на поверхности нейтронных звезд*	10	103	Детство и юность нейтринной физики: некоторые воспоминания. Понтекоров Б. М.	1	43
Нейтринная спектроскопия солнечных недр. Копысов Ю. С.	8	59	Дифракция при поглощении электронов монокристаллами*	3	108
Необычное пятно на Солнце*	2	108	Еще раз о лазерной дрели*	10	105
Новые соображения о тунгусском явлении*	5	102	Импульсный литиевый лазер*	2	108
Обнаружен ионосферный полярный ветер*	7	101	Импульсное радиоизлучение при кристаллизации воды*	7	106
Обнаружено вращение Вселенной?*	2	106	Исследование изолированной молекулы*	8	103
Оледенение Марса. Кузьмин Р. О.	4	79	Исследование γ-мезонов продолжается*	11	105
Орбитальная станция «Салют-7» с июля по август.* Никитин С. А.	12	103	Каналирование частиц в изогнутых монокристаллах*	12	104
Осадочные породы на Венере*	9	104	Криокристаллы. Манжелей В. Г.	7	64
Открыт сверхбыстрый пульсар*	5	102	Лазерное возбуждение когерентного высокочастотного звука*	6	106
Повторные вспышки источника γ-всплесков в Золотой Рыбе*	3	107	Лазер новой конструкции*	6	107
Поиски десятой планеты*	4	106	Лазеры в фотолиграфии*	1	106
Получили имена 8 марсианских кратеров*. Бурба Г. А.	10	102	«Лазерный дракон»*	4	108
«Прогноз-9»*. Никитин С. А.	11	103	Лазерная дрель*	3	110
Релятивистский эффект в движении двойной звезды*	6	103	Лазерное разделение трития и дейтерия*	4	108
Рентгеновский источник на месте γ-всплеска*	6	103	Лазерный термоядерный синтез. Басов Н. Г.	1	4
Рифтовые зоны на Венере*	10	102	Лауреаты Нобелевской премии 1982 года по физике — К. Вильсон, Мигдал А. А.	1	90
Рожденный кометой Галлея рой метеорных тел. Симоненко А. Н.	2	28	Магнитное поле лазерного факела*	1	105
«Салют-7» с августа по октябрь*.			Междоузельная пластичность кристаллов*	1	104
Никитин С. А.	1	101	МГД-генераторы в исследованиях земной коры. Волков Ю. М.	7	2
Свечение неба при землетрясениях*	3	115	Метастабильные сверхпроводящие фазы*	10	106
Современная космология. Зельдович Я. Б.	9	11	Микроконтактная спектроскопия металлов и сплавов. Веркин Б. И.	10	18
Солнце как звезда. Северный А. Б.	4	59	Микроскоп, использующий комбинационное рассеяние света*	2	110
Состав древней коры Венеры*	1	103	Моделирование на ЭВМ радиационных дефектов и процессов в кристаллах. Орлов А. Н., Трушин Ю. В.	10	34
Состав инертных газов метеорита Царев*	5	113	Наблюдение распадов «прелестных» мезонов*	10	105
«Союз Т-9»* Никитин С. А.	10	100			
Спутник «Лэндсат-4»*	3	106			
Спутник «IRAS»*	7	100			
Спутник «ЭКЗОСАТ»*	10	101			
Строение Местного сверхскопления галактик*	7	101			
Существуют ли спиральные ветви Галактики?*	8	101			
Химический состав атмосферы Венеры*	5	101			
Эволюция квазаров*. Сурдин В. Г.	4	104			
«Я не абсолютно уверен, что «загадка солнечных нейтрино» реально существует» (интервью с Б. М. Понтекорво).	8	74			

Наблюдение эффекта Агаронова-Бомы*	7	106
Нейтринная лаборатория на Ровенской АЭС. Микаэлян А. А.	9	43
Новое связанное состояние «прелестных» кварков*	9	109
Новый активный элемент спектроскопии*	1	104
Обнаружена протонная радиоактивность*	7	104
Остановлена бегущая световая волна*	5	104
Оптическое топографирование магнитных полей*	3	109
Первое наблюдение изовекторного мезонного резонанса*	7	104
Первое наблюдение Z-бозона*	8	102
Поверхностные явления и синтез алмаза. Федосеев Д. В., Дерягин Б. В.	3	80
Полупроводниковые сверхрешетки*	6	105
Пористые катализаторы*	10	106
Промежуточные векторные бозоны. Смондырев М. А.	12	21
Просветление мутных физических и биологических сред при их сжатии. Аскерьян Г. А.	5	72
Пьезокристалл — акустический аналог лазера*	9	108
Рентгеновское черенковское излучение*	3	108
Самые короткие световые импульсы с перестраиваемой длиной волны*	12	104
Свечение жидкости под действием низкочастотных звуковых колебаний*	11	106
Сверхтонкое расщепление в мюонии*	6	105
Система искусственного интеллекта «РАСТР-2»*	10	107
Сканирующая туннельная микроскопия*	2	108
Сколько малы могут быть гелий-неоновые лазеры?*	5	104
Современная атомная физика — тенденции и стимулы развития. Елецкий А. В., Смирнов Б. М.	12	72
Современное вооружение приобретает характер абсолютного. Феоктистов Л. П.	9	3
Тонкопленочные пирозлектрические приемники излучения*	8	104
Трассовый газоанализатор на основе диодных лазеров*	2	109
Трехцветный гелий-кадмиевый лазер*	11	106
Физические исследования на коллайдерах*. Ройзен И. И.	2	104
Фотография без серебра. Василевский Ю. А.	3	95
Хранение ультрахолодных нейтронов*	7	105
Что такое синергетика? Кадомцев Б. Б., Рязанов А. И.	8	2
Шаровая молния в Кембридже. Дикман С. М.	5	105
Электрический пробой кристаллов*	8	103
Электроны в сверхсильном магнитном поле. Тернов И. М., Халилов В. Р.	5	90
Юлий Борисович Харитон и наука о взрыве. Зельдович Я. Б.	6	99
Ячейка Керра — новый измерительный прибор. Георгобьяни А. Н., Дарзенко С. А., Тодуа П. А., Шестакова Е. Ф.	11	38
W-бозоны обнаружены*	4	107

МАТЕМАТИКА. МЕХАНИКА

«Закон сохранения ошибок» в изобразительном искусстве. Раушенбах Б. В.	9	86
Математик. Дж. фон Нейман	2	88

От принципа Кавальери к томографу. Бухштабер В. М., Гиндикин С. Г.	6	12
Почему сажа делает каучук прочнее? Мошев В. В.	11	84
Рекордное простое число*. Гиндикин С. Г.	9	106
Три парадокса в механике, вызываемые вибрацией*	10	108
Туман без пара?*	2	110

ХИМИЯ

Аэрозоли в природе и производстве. (К 50-летию исследований по физике и химии аэрозолей в СССР). Петрянов-Соколов И. В., Сутугин А. Г.	3	2
Заражение при «оловянной чуме»*	4	109
Лауреаты Нобелевской премии 1982 года по химии — А. Круг, Киселев Н. А., Мирзабеков А. Д.	1	94
Металлоорганические соединения неодаима и празеодима*	8	106
Новый вид хроматографии*	7	107
Образование органических соединений под действием ионизирующего излучения*	3	111
Переработка углей Канско-Ачинского бассейна*	8	105
Полимеры из разнородных макромолекул*	4	110
Порошковая металлургия аморфных металлов*	6	108
Прогнозирование каталитической активности окисных систем*	1	106
Синтез в каналах кристаллической решетки тиомочевин*	12	105
Синтез органических соединений асгата*	5	105
Технеций и море*	3	111
Тритий в атмосферных осадках*	3	105
Фото- и термомеханические эффекты в кристаллах*	5	106
Химическое действие низкочастотных звуковых колебаний*	3	110

БИОЛОГИЯ. МЕДИЦИНА.

Абиогенный синтез белков в открытой системе*	12	106
Аденилатциклаза и патогенные микробы*	11	109
Акулы в водохранилище*	6	112
Амфибии и рептилии Забайкальской Гоби. Боркин Л. Я., Мунхбаяр Х., Семенов Д. В.	10	68
Бактерии накапливают серебро*	1	109
Безматричный синтез белков на рибосомах E. coli*	8	107
Белки — лоцманы секреции*	3	112
Белки, общие для митохондрий и цитоплазмы	4	110
Бескишечные моллюски и кольчатые черви. Несис К. Н.	8	77
Биологическая роль и токсические свойства цианидов. Оксенгендлер Г. И.	12	13
Большой ключ — малая агрессивность*	10	110
«Быстрое» шампанское*	9	113
Вакцина против лепры*	3	114
Вакцины будущего*	5	107

- Введение чужеродных генов млекопитающим* 11 106
- В заповеднике Кедровая падь. (Из дневника натуралиста) Коркишко В. Г., Шибнев Ю. Б. 5 99
- Влияние γ -облучения на выработку интерферона* 2 112
- Возраст ископаемых гоминид из Восточной Африки* 2 119
- Возраст, курение и остеопороз* 6 110
- Высокая концентрация тиамина в сыроворотке крови* 8 108
- Высокоактивные ферменты кальмаров* 6 109
- Генная инженерия помогает исследовать сифилис* 1 107
- География токсичности фугов* 9 112
- Глубоководные осьминоги — из иллюминатора подводного аппарата. Нессис К. Н., Сагалевич А. М. 11 23
- Гормональная асимметрия мозга* 12 108
- Гормоны гипоталамуса — регуляторы памяти. Каменский А. А., Титов С. А. 9 64
- Групповое поведение акул* 1 112
- Действие пылевых частиц на дыхательные органы 8 108
- Диета и здоровье* 7 108
- Дикие животные Южной Сибири. Смирнов М. Н. 11 76
- Динозавры жили колониями* 3 117
- Древнейшее млекопитающее Южной Америки* 11 118
- Древнейшие предки человека* 4 113
- Европейский хариус в Подмосковье. Тюрюков С. Н. 6 25
- Еще одно звено в истории прачеловека* 9 119
- Еще одно лекарство против гипертонии* 8 107
- Зачем лишать клетку ядра. Зеленин А. В., Прудовский И. А. 7 15
- Заход китов в Белое море. Огнетов Г. Н. 5 100
- Защитное действие синтетических антиоксидантов* 7 107
- Идентифицированы мицелиальные грибы из ледников Антарктики* 7 111
- Инженерия оплодотворения. Струнников В. А. 6 32
- Интерферон защищает лейкоциты человека от быстрых нейтронов* 1 108
- Ионизирующая радиация усиливает ферментацию целлюлозы* 8 110
- Искусственная спячка у мышей* 5 107
- Искусственное выращивание гинандроморфов у муравьев*. Кипятков В. Е. 7 113
- Кавказская длиннохвостая саламандра. Божанский А. Т., Семенов Д. В. 8 56
- К вопросу о происхождении человека* 5 106
- Как котят находят свой дом* 1 111
- Как кедровки находят свои запасы?* 9 115
- Как муравьи ориентируются ночью?* 9 114
- Как определить направление движения?* 9 111
- Как пауки защищают свои сети* 12 110
- Кальмары — для фармакологии*. Нессис К. Н. 3 113
- Каспийский тюлень размножается не только на льдах. Крылов В. И. 3 69
- Клетки NK и борьба с опухолями* 11 107
- Клетки рака у мышей сохраняют способность к дифференцировке* 1 109
- Клонированы гены сладкого белка* 6 108
- Коллективная охота у дернового муравья*. Кипятков В. Е. 4 113
- Лауреаты Нобелевской премии 1982 года по медицине — С. Бергстрем, Б. Са-муэльссон и Дж. Вейн. Юдаев Н. А., Пивницкий К. К. 1 96
- Лечение лейкемии* 2 113
- Липосомы усиливают действие лекарств* 7 108
- Малярия у ящериц* 7 114
- Медицинские и социальные аспекты генетики человека. Бочков Н. П. 5 26
- Метаболизм ядов в эпителии носа* 10 109
- Механизм влияния алкоголя на эмоции* 4 112
- Механизм возникновения сахарного диабета* 2 112
- Механизм движения листьев* 11 112
- Механизм развития бешенства* 5 108
- Микроорганизмы — обитатели подводных гидротерм* 8 110
- Микроорганизмы — очистители воды от нефти* 12
- Микробы разрушают скорлупу яиц аллигаторов*. Аманова Н. Б. 9 113
- Микрия у креветок. Буруковский Р. Н. 8 31
- Митохондриальные гены обнаружены в ядре* 9 109
- Может ли РНК быть ферментом?* 8 106
- Молекулярная история коряков Камчатки. Шереметьева В. А., Горшков В. А., Медников Б. М. 1 23
- Морская улитка обзаводится «нянькой». Нессис К. Н. 2 50
- Морской еж — источник эйкозапентаеновой кислоты* 9 112
- Мышечное расслабление и чувствительность к стрессу* 4 112
- Найден ископаемый бизон* 3 117
- Нейропептиды — регуляторы поведения. Иванов В. Т., Каменский А. А. 4 7
- Неосознаваемое психическое: подосознание и сверхсознание. Симонов П. В. 3 24
- Нетравмирующее лечение дельфинов* 1 111
- Новая вакцина против гриппа* 11 108
- Новая ветвь на генеалогическом древе млекопитающих* 2 119
- Новая вирусная инфекция* 7 109
- Новая гипотеза возникновения пародонтоза* 12 107
- Новая зрительная иллюзия*. Кочубей Б. И.* 11 110
- Новая экзокринная железа у муравьев* 6 112
- Новое о болезни Альцгеймера* 11 109
- Новое о гормонах* 6 110
- Новые методы лечения ожогов* 9 111
- Новые противоопухолевые антибиотик* 6 109
- Новый инсулин* 4 111
- Новый тип взаимодействия митохондрий* 2 113
- Обезвреживание ядов белками крови* 11 108
- О древности прямохождения* 1 113
- Оляпка на зимовке в Воронеже. Пулавкин Д. М. 3 103
- Определение оптимальных условий развития*. Захаров В. М. 12 109
- Оригинальный способ защиты гнезда у муравьев* 8 112
- Особенности организма большой панды* 8 111
- Особенности психики и предрасположенность к коронарным болезням* 12 108
- От чего зависит невосприимчивость к малярии* 2 112
- Парадокс Введенского в современной физиологии. Матюшкин Д. П. 10 28
- Певчий дрозд и телефон* 12 110
- Первичная структура гормона роста кита* 3 112

Первое в СССР рождение гепардов в неволе. Игнатьев Р. П.	5	88
Перевод эритроцитов одной группы крови в другую*	4	111
Пища древних индейцев и кариес зубов*	11	118
Поиски «гормона сна». Ковальзон В. М.	4	13
Полимер восстанавливает кровообращение у собак при сильной потере крови*	1	108
Полиморфизм и его эволюционное значение. Новожилов Ю. И.	3	50
Полиплоидный чай. Капанадзе И. С., Керкадзе И. Г.	10	44
Полная аминокислотная последовательность зрительного родопсина*	1	107
Половые феромоны подвязочных змей*. Ананьева Н. Б.	4	112
Попытка получить азотфиксирующие высшие растения*	7	112
По следам динозавров. Седлецкий В. И.	8	94
Последствия потери хвоста у ящериц*	11	112
Почему черепаха задерживает дыхание*	11	111
Предостерегающая окраска планктонных животных*. Гилларов А. М.	5	109
Природная ловушка для мамонтов*	6	112
Проблемы медицинской биофизики. (Интервью с Л. А. Пирюзаном)	5	33
Профилактика диаррей*	7	112
Профилактика наследственных болезней*	7	109
Психотерапия алкоголизма*	3	113
Психофизиологические изменения в течение менструального цикла*	7	109
Пчела, любящая ДДТ*	2	115
Пчелы — некрофаги*	8	111
Пути борьбы с инфекциями*	12	107
Различный состав половых хромосом мышей*	2	111
Растения — объекты генной инженерии*	2	111
Регистрация нервных процессов в коре головного мозга*	6	111
Регулирование активности генов и лечение наследственных заболеваний*	10	108
Редкие древние рыбы*	1	113
Рецепция вируса гриппа. Бергельсон Л. Д.	2	10
Ризоторфин с молочной сывороткой*	10	109
Риск заболеть диабетом*	5	108
Ритм беседы*	3	114
Роль митохондрий в развитии рака*	1	110
Свиньи и триофели*	8	109
Серый варан. Горелов Ю. К.	4	54
Сигаретный дым мешает самоочищению легких*	9	111
Системная логика дарвинизма. Малиновский А. А.	10	46
Сморчки выращиваются в культуре*	9	116
Советский бактериальный интерферон*	1	107
Солеустойчивые мутанты хлореллы*	11	107
Сон у ламантина*	4	21
Сон у тюленей*	6	111
Способность узнавать свои движения*. Кочубей Б. И.	8	109
Степная тиркушка на юге Барабы. Кошелев А. И.	9	40
Структура пыльцы гнетума — сходство или родство. Куприянова Л. А.	12	70
Структура феромонов и систематика бабочек*	11	111
Тейховые кислоты в микробиологической промышленности*	2	114
Термостойкий биокатализатор*	4	111

Трихоплакс — живая модель происхождения многоклеточных. Малахов В. В., Незлин Л. П.	3	32
У большой панды — двойня!*	9	115
Уникальный сон дельфинов*	2	115
Управление физиологическими функциями методом обратной связи*. Кочубей Б. И.	1	110
Урбанизация ворон*	12	112
Установлен возбудитель скрепи?*	9	110
Участвуют ли вирусы в развитии шизофрении?*	1	108
Фактор, регулирующий гормон роста*	8	106
Фактор, ускоряющий заживление ран*	12	106
Факторы роста и дифференцировка костной ткани*	9	112
Фталаты — регуляторы дифференциации пола у растений*	11	106
Функциональная асимметрия мозга животных*	2	115
Химическая коммуникация насекомых*	9	114
Хищничество летучих мышей и звуковые сигналы амфибий*	1	112
Хромосомная дивергенция севанских форелей*. Воронцов Н. Н.	7	110
Хромосомные перестройки и возникновение опухолей*	12	106
Циано-бактериальные сообщества — колодез в прошлое. Заварзин Г. А., Крылов И. Н.	3	59
Эволюционная логика дифференциации полов и долголетия. Геодакян В. А.	1	70
Эпизоотии среди тюленей*	5	109
Ядерная война поставит под сомнение существование человека как биологического вида. Баев А. А., Бочков Н. П.	10	3

ЭКОЛОГИЯ. ОХРАНА ПРИРОДЫ

Американский журавль*	8	112
Аминокислоты: влияние на окружающую среду*	11	113
Африканские слоны: их настоящее и будущее*	7	114
Березинский биосферный заповедник. Парфенов В. И., Кузин М. В.	6	2
Биоценозы вблизи атомных электростанций*	4	114
Влияние цианидов на обитателей водоемов*	5	111
В предгорьях и горах Бырранга. Кожевников Ю. П.	7	36
Загрязнение атмосферы двуокисью серы*	11	113
Загрязнение воздуха в США*	6	113
Загрязнение питьевой воды в США*	3	115
Загрязнение Северного моря*	1	114
Комплексный контроль нефтяных загрязнений*	7	115
Куртская коса. Кученева Г. Г., Кученева А. Е.	8	44
Меры для спасения кондора*	12	115
Меры против плодовой мушки*	8	112
Метан в окружающей среде*	7	116
Национальный парк Малайзии под угрозой*	11	118
Нефтяное загрязнение Атлантического океана*	5	111
Новая «Красная книга СССР». Соколов В. Е., Бородин А. М., Зыков К. Д.	2	36

Носорог — жертва невежества*	4	115
Особо охраняемые природные территории: реальность, проблемы и перспективы. Алексеева Л. В., Нухимовская Ю. Д., Реймерс Н. Г.	8	34
Охрана природной среды во Франции*	9	117
Охрана рыб и «Красная книга СССР». Павлов Д. С., Решетников Ю. С., Шатуновский М. И.	11	3
Проблемы заповедного дела. Соколов В. Е., Зыков Е. Д.	8	32
Проблема малых заповедных территорий. Гусев А. А., Покаржевский А. Д.	8	53
Последствия нефтяной катастрофы*	6	113
Программа «Человек и биосфера» на Кубе*	5	112
Растения-«дикари» в городе. Егорова Е. М.	3	44
Рыбы избегают судоходных трасс*	3	115
Сары-Челекский горный биосферный заповедник. Чупахин В. М., Зыков К. Д., Криницкий В. В.	12	48
Создать Джугджурский заповедник. Харкевич С. С., Манько Ю. И., Васильев Н. Г., Животченко В. И.	4	35
Среднеазиатские лопатоносы. Соколов Л. И.	2	40
Теплолюбивые животные в водоемах охладителях электростанций*	5	110
Термиты влияют на климат?*	9	116
Токсичность пропокса*	4	114
Успех проекта «Тигр»*	10	110
Хлорфенолы: критерии состояния окружающей среды*	2	116
Численность филина в Западном Прибайкалье. Устинов С. К.	3	103
Экологические последствия использования драг*	7	115
Ядерные испытания и их реальные последствия*	10	10

ГЕОЛОГИЯ. ГЕОГРАФИЯ

Айсберг меняет гидрологическую обстановку*	3	116
Алмазы, которые есть везде. Бурмин Ю. А.	11	46
Атлантическая программа завершена (82-й рейс «Гломара Челленджера»). Сузюмов А. Е.	1	58
Базальтовые плато и тектоника*	4	115
Барханы и ледяные бугры Чарской котловины. Кренделев Ф. П.	2	58
«Биологические часы» в верхнем докембрии?*	7	118
Бурение на подступах к мантии. Шадрин Л. Н.	1	12
83-й рейс «Гломара Челленджера»*. Сузюмов А. Е.	2	116
84-й рейс «Гломара Челленджера»*. Мурдмаа И. О.	9	118
85-й рейс «Гломара Челленджера»*. Сузюмов А. Е.	10	112
86-й рейс «Гломара Челленджера»*. Сузюмов А. Е.	12	115
Время излияния базальтов в Центральном французском массиве*	5	113
Вулканизм Новой Зеландии*	8	113
Вулканический направленный взрыв Газовое дыхание Земли. Бородин Э. В., Еремеев А. Н., Яницкий И. Н.	2	18

Где может произойти землетрясение? Барлас В. Я., Ранцман Е. Я.	9	28
Генезис рудных месторождений — основа их поисков	4	96
Геологические исследования в Тихом океане*	10	110
Геологическая история морской воды. Грамберг И. С.	6	44
Гипотеза дифференциальных движений в литосфере*. Пушаровский Ю. М.	6	116
Глубинное бурение ледника*	4	116
Глубинные неоднородности Земли. Павленкова Н. И.	12	36
Два рейса судна «Роберт Д. Конрад» в Тихий океан*	8	113
Движения земной коры прослеживаются по древним ирригационным каналам*	5	115
Двойственная природа игнимбритов. Короновский Н. В.	3	12
Динозавры вымирали постепенно*	11	116
Еще два антарктических вулкана*	2	119
Железо-марганцевые конкреции на дне океана. Базилевская Е. С.	3	88
За цветными камнями. Ферсман А. Е.	10	77
Землетрясения в легендах и сказаниях. Никонов А. А.	11	66
Землетрясений стало меньше*	3	116
Казахстанско-Сибирский ископаемый океан*	7	118
Кислотность льда в Арктике*	1	118
Климатическая аномалия в Тихом океане*	10	115
Космические горизонты климатологии. Кондратьев К. Я.	4	23
Красные покровы тропиков. Добровольский В. В.	5	46
Крупные неоднородности в строении земной коры*	6	115
«Ледяные извержения»*	1	118
Магнитная стратиграфия палеогена*	5	114
Методы термометрии и барометрии в геологии. Перчук Л. Л.	7	88
Метро и камень. Вахрушев В. А.	2	42
Минералы внутри вулканического стекла. Наседкин В. В., Боярская Р. В.	5	44
Мощность литосферы на территории СССР*	1	115
Надежность палеоклиматических реконструкций*	10	117
Начало рудообразования в истории Земли. Казанский В. И.	9	56
Нефтегазосность Берингова моря	2	118
Новый геологический период*	6	114
Новый грязевой вулкан на полуострове Челекен. Хаджинуров Н., Солodков В. К.	7	98
Новый способ оценки поднятия Памира*	12	112
Новый метод в морской картографии*	10	113
Облако, опоясывающее Землю*	8	114
Обнаружены позднепротерозойские каньоны*	1	115
Особенности глубинного строения Северной Америки*	2	118
Открыт минерал маргаритасит*	9	119
Падение метеоритов и образование континентов*	1	116
Памяти А. Е. Ферсмана посвящается. Здорин Т. Б.	10	89
Первые результаты программы «Литос». Меланхолина Е. Н.	3	94
Плодородие почвы определяется дистанционным методом*	5	110
Последствия Эль-Ниньо*	10	116

Почему их только две тысячи? (Об А. Е. Ферсмане). Урусов В. С.	10	82
Предистория геосинклиналей (на примере Урала). С. Н. Иванов	6	60
Природный газ в угольных пластах. Кравцов А. И., Войтов Г. И.	8	23
Природный экспресс-метод образования нефти*	9	117
Прогноз землетрясений из космоса*	5	115
Продолжается поиск метеоритов в Антарктиде*	8	115
Прошлое речных долин Сахары*	11	116
«Рассуждение о предсказании погод» Будыко М. И.	8	54
Реконструкция истории камчатских вулканов*	7	119
Рекордное число смерчей*	3	117
Самородное железо в углях Приморья. Щека С. А., Чубаров В. М.	7	75
Самый большой водопад Алтая. Шевченко Ю. С., Прусевич А. А., Руднев С. Н.	6	88
Сейсмический «шторм» на востоке США*	6	116
Сильнейшее землетрясение Кавказа*	1	119
Снежный покров в Северном полушарии*	10	117
Современные движения Курильских островов*	1	114
Современные осадки и история Атлантики. Шурко И. И.	2	76
Современные проблемы тектоники Азии в свете идей В. А. Обручева. Нагибина М. С.	12	56
Столкновение Евразии и Индии*	6	114
Структура земной коры на Западе США*	11	114
Судьба вернеровской «луковицы». Салли Ю. С.	1	60
Температура воздуха на Южном полюсе*	7	119
Удивительный каолин*	1	117
Устоят ли небоскребы?*	4	116
Уточнен возраст границы эоцена и олигоцена*	3	116
Фазовые превращения в мантии и расширении Земли. Барсуков В. Л., Урусов В. С.	5	16
Через Центральную Антарктиду. Дюргеров М. Б.	7	42
Число землетрясений возросло*	10	114
Экспедиция к желобу Тонга. Пушин И. К.	9	25
Энергетические ресурсы Северного моря*	6	115

ОКЕАНОЛОГИЯ

Баланс химических соединений в Балтике*	10	114
«Гломар Эксплорер» — новое буровое судно*	4	117
Как разрушаются айсберги*	12	114
Кольцеобразные течения у западного побережья США*	1	117
Ледовая обстановка в Охотском море*	11	114
Марганец на дне океана*	6	117
Новая провинция железно-марганцевых конкреций*	4	116
Необычное течение в Черном море* Христофоров Г. Н.	7	117
Погода и климат океана. Монин А. С., Сеидов Д. Г.	1	34

Подводные исследования биологических ресурсов океана. Заферман М. Л.	11	11
Полярные шапки сокращаются, уровень океана растет*	1	118
Сколько осадочного материала поступает в океан?*	11	115
Соленость морской воды. Мамаев О. И.	3	19
Спрединг и полосовые магнитные аномалии в океанах*	7	116
«Черные курильщики» на дне Марианского трюга*	6	117

АРХЕОЛОГИЯ. ЭТНОГРАФИЯ

Великентский склеп — памятник древней металлургии*	8	116
Древнейшие захоронения на территории Литвы*. Бутримас А. Ю.	5	116
Древнее искусство морских охотников*. Лебединцев А. И.	3	118
Древнейшие предки человека	4	113
Исчезнувшие народы. Печенег. Плетнева С. А.	7	26
Когда к человеку пришел огонь?*	11	117
Начало земледелия в Дагестане. Амириханов Х. А.	2	52
Новое об энеолите Алтын-депе. Массон В. М.	5	42
О виноделии в Боспорском царстве. Шурга И. Г., Янушевич З. В.	11	102
О жертвоприношениях. Токарев С. А.	10	55
Раскопки памятников древних цивилизаций на севере Перу. Березкин Ю. Е.	3	42
Хозяйственно-культурная дифференциация народов мира и географическая среда. Андрянов Б. В., Доскач А. Г.	4	44
Этнические общности: их историко-типологическая и этнолингвистическая классификация. Бромлей Ю. В., Пучков П. И.	9	74
Язык как средство реконструкции истории. Иванов В. В.	11	26

РЕЦЕНЗИИ

Астрономия каменного века — правда или вымысел? (На кн.: Дж Вуд. Солнце, Луна и древние камни.) Кузаков В. К.	4	118
Жизнь и творчество В. И. Вернадского. (На кн.: И. И. Мочалов. Владимир Иванович Вернадский (1863—1945)). Никитин Е. Д., Смирнов П. В.	7	120
Издания Советского комитета по программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (МАН)	8	126
Информация о международных научных связях. (На кн.: С. Г. Корнеев. Советские ученые — почетные члены научных организаций зарубежных стран.) Жаворонков Н. М., Плоткин С. И.	11	119
Мамонты и ...«всемирный потоп» (На кн.: H. Krause. The Mammoth in ice and snow?) Гилларов М. С.	4	119
Мировоззрение и наука. (На кн.: П. В. Алексеев. Естественнонаучный материализм и материалистическая диалектика.) Смирнов И. Н.	5	117

Морфология, экологические ниши и эволюция. (На кн.: Н. Н. Воронцов. На стыке биологического с социальным. (На кн.: Расы и общество. Отв. ред. Ю. В. Бромлей). Пенкишевский В. В. Низшие хомякообразные мировой фауны.) Александров Д. А.	3 119
Новые штрихи к истории дарвинизма. (На кн.: Н. Г. Рубайлова. Формирование и развитие теории естественного отбора.) Северцов А. С.	5 118
Обстоятельства появления общей теории относительности (На кн.: В. П. Визгин. Релятивистская теория тяготения.) Илья Я.	11 120
О зверях, заповеднике и работе зоолога. (На кн.: О. И. Семенов-Тянь-Шанский. Звери Мурманской области.) Гиларов А. М.	8 117
О гносеологических аспектах развития науки. (На кн.: В. А. Лекторский. Субъект. Объект. Познание.) Черняк В. С. Один из старейших в нашей стране. (На кн.: История Тартуского Университета. 1632—1982) Цаева Г. К.	10 121
Опыт популяризации палеоботаники. (На кн.: С. В. Мейен. Следы трав индейских.) Старостин Б. А.	9 120
Острые проблемы медицинской генетики. (На кн.: Обри Милунски. Знайте свои гены.) Медников Б. М.	6 120
Парад самоцветов Урала (На кн.: В. Н. Черных, В. Б. Семенов. Агат. Сер. «Камни Урала».) Здорик Т. Б., Минеев Д. А.	9 122
Первая книга по экологической экспертизе. (На кн.: Х. Маринов, М. Механджиев, В. Ботев, М. Ненков. Экологизация и экологическая экспертиза.) Краснов Е. В., Мауринь А. М.	3 121
Полвека размышлений о биологии. (На кн.: А. А. Любищев. Проблемы формы, систематики и эволюции организмов.) Соколов Б. С.	6 118
Популярно о разрушении твердых тел. (На кн.: В. М. Финкель. Портрет трещины.) Трефилов В. И., Мильман Ю. В. Портрет с близкого расстояния. (На кн.: В. И. Григорьев. Рем. Викторovich Хохлов.) Ширков Д. В.	2 123
	1 120

Что происходит в психологии познания? (На кн.: Б. М. Величковский. Современная когнитивная психология.) Ильясов И. И., Мальская О. Е.	8 119
Этнографический взгляд на жизнь великой страны. (На кн.: А. Е. Снесарев. Этнографическая Индия.) Голованов Л. В.	10 119

НОВЫЕ КНИГИ

1 122; 2 124; 3 123; 4 120; 5 121; 6 123; 7 124; 8 122; 9 123; 10 122; 11 121; 12 116

В КОНЦЕ НОМЕРА

Вольвон — недавно открытый пептидный гормон эпифиза. Изверсен О. Г.	4 124
Вредно ли носить усы? Дмитриев М. Т.	11 125
Д. Н. Кайгородов — натуралист и популяризатор. Ильичев В. Д.	5 125
Задачи академика П. Л. Капицы. Митрофанов А. В.	9 127
Знакомьтесь: животный мир будущего (Вместо рецензии) Крылов И. Н.	6 126
Как сослаться на других авторов? Михайлов Л. И.	7 127
«Мир видит Дубну глазами Туманова». Устенко Л. П.	1 124
Научный взгляд на мир. Аркин К. В.	2 127
О задачах П. Л. Капицы. Митрофанов А. В.	10 126
Сквозь века. Крылов И. Н.	3 127
Скворец. Кайгородов Д. Н.	5 126
Теоретические основания линейной тации. Флоренский П. В.	8 127

Авторский указатель журнала «Природа» 1983 года

- А** белев Г. И. 6 51
Александров Д. А. 5 118
Алексеева Л. В. 8 34
Ананьев Н. Б. 4 112; 9 113
Амирханов Х. А. 2 52
Андрянов Б. В. 4 44
Аркин К. В. 2 127
Аскарьян Г. А. 5 72
Афросимов В. В. 2 2
- Б** аев А. А. 10 3
Базилевская Е. С. 3 88
Банников А. Г. 3 119
Барлас В. Я. 9 28
Барсуков В. Л. 5 16
Баткин Л. М. 7 76
Басов Н. Г. 1 4
Бергельсон Л. Д. 2 10
Березкин Ю. Е. 3 42
Божанский А. Т. 8 56
Божукова Е. Е. 12 118
Большаков В. И. (см. Пахомов Б. Я.)
Боркин Л. Я. 10 68
Бородин А. М. (см. Соколов В. Е.)
Бородзич Э. В. 2 18
Бочков Н. П. (см. Баев А. А.)
Бочков Н. П. 5 26
Боярская Р. В. (см. Наседкин В. В.)
Бродянский Д. И. 8 89
Бромлей Ю. В. 9 74
Будыко М. И. 8 54
Бурба Г. А. 10 102
Бурмин Ю. А. 11 46
Буруковский Р. Н. 8 31
Бутримас А. Ю. 5 116
Бухштабер В. М. 6 12
- В** асильевский Ю. А. 3 95
Вайсберг О. Л. 6 26
Васильев Н. Г. (см. Харкевич С. С.)
Вахрушев В. А. 2 42
Веркин Б. И. 10 18
Вильсон К. 11 88
Виноградов Н. В. 12 113
Войтов Г. И. (см. Кравцов А. И.)
Волков Ю. М. 7 2
Волькенштейн М. В. 11 96
Воронцов Н. Н. 7 110
- Г** айденко П. П. 2 78
Гаджиев М. Г. 8 116
Гайсинович А. Е. 8 12; 8 22
Геодакян В. А. 1 70
Георгобиани А. Н. 11 38
Гиляров А. М. 5 109; 10 121
Гиляров М. С. 4 119
Гиндикин С. Г. (см. Бухштабер В. М.)
Гиндикин С. Г. 9 107
Гинзбург В. М. 12 3
Голованов Л. В. 10 119
- Горелов Ю. К. 4 54
Грицаенко Г. С. 10 93
Горшков В. А. (см. Шереметьева В. А.)
Грамберг И. С. 6 44
Гречкин Н. П. 1 81
Гусев А. А. 8 53
- Д** анилов Ю. А. 2 86
Дарзбек С. А. (см. Георгобиани А. Н.)
Девис Р. (интервью с ним) 8 70
Деревянко А. П. 8 82
Дерягин Б. В. (см. Федосеев Д. В.)
Дикман С. М. 5 105
Дмитриев М. Т. 11 125
Добровольский В. В. 5 46
Доскач А. Г. (см. Андриянов Б. В.)
Дюргеров М. Б. 7 42
- Е** горова Е. М. 3 44
Елецкий А. В. 12 72
Еремеев А. Н. (см. Бородзич Э. В.)
Ефимов А. И. (см. Караваев М. Н.)
- Ж** амин В. А. 4 2
Жаворонков Н. М. 11 119
Животченко В. И. (см. Харкевич С. С.)
Жолкевич В. Н. 9 96
- З** аварзин Г. А. 3 59
Заферман М. Л. 11 11
Здорик Т. Б. 9 122; 10 89
Зеленин А. В. (см. Прудовский И. А.)
Зеленый Л. М. (см. Вайсберг О. Л.)
Зельдович Я. Б. 6 99; 9 11
Зыков К. Д. (см. Соколов В. Е.)
Зыков К. Д. (см. Чупахин В. М.)
- И** ваницкий Т. Р. 7 56
Иванов В. В. 11 26
Иванов В. Т. 4 7
Иванов С. Н. 6 60
Иванов-Омский В. И. 2 67
Иверсен О. Г. 4 124
Игнатьев Р. П. 5 88
Илли Й. 8 117
Ильичев В. Д. 5 125
Ильясов И. И. 8 119
- К** адомцев Б. Б. 8 2
Казанский В. И. 9 56
Кайгородов Д. Н. 5 126
Каменский А. А. 9 64
Каменский А. А. (см. Иванов В. Т.)
Капанадзе И. С. 10 44
Караваев М. Н. 2 96
- Касинский В. В. (см. Степанов В. Е.)
Керкадзе И. Г. (см. Капанадзе И. С.)
Кедров Б. М. 5 4; 11 58
Кипятков В. Е. 4 113; 7 113
Киселев Н. А. 1 94
Киященко Н. И. 12 97
Кобзарев Ю. Б. 3 72
Кожевников Ю. П. 7 36
Ковальзон В. М. 4 13
Кондратьев К. Я. 4 23
Копысов Ю. С. 8 59
Короновский Н. В. 3 12
Коркишко В. Г. 5 99
Кошелев А. И. 9 40
Кочубей Б. И. 1 110; 8 109; 11 110
Кравцов А. И. 8 23
Краснов Е. В. 3 121
Кренделев Ф. П. 2 58
Криницкий В. В. (см. Чупахин В. М.)
Крылов В. И. 3 69
Крылов И. Н. 3 127; 6 126
Крылов И. Н. (см. Заварзин Г. А.)
Кузаков В. К. 4 118
Кудин М. В. (см. Парфенов В. И.)
Кузьмин Р. О. 4 79
Куприянова Л. А. 12 70
Кученева Г. Г. 8 44
Кученева А. Е. (см. Кученева Г. Г.)
- Л** ебединцев А. И. 3 118
Лейзеров Н. Л. (см. Киященко Н. И.)
- М** алахов В. В. 3 32
Малиновский А. А. 10 46
Мальская О. Е. (см. Ильясов И. И.)
Мамаев О. И. 3 19
Манжелей В. Г. 7 64
Манько Ю. И. (см. Харкевич С. С.)
Марочник Л. С. 11 52
Марчук Г. И. 8 80
Массон В. М. 5 42
Матюшкин Д. П. 10 28
Мауринь А. М. (см. Краснов Е. В.)
Медников Б. М. 6 120
Медников Б. М. (см. Шереметьева В. А.)
Меланхолина Е. Н. 3 94
Мельников И. А. 6 113
Мигдал А. А. 1 90
Микаэлян А. А. 9 43
Мильман Ю. В. (см. Трефилов В. И.)
Минев Д. А. (см. Здорик Т. Б.)
Мирзабеков А. Д. (см. Киселев Н. А.)
Митрофанов А. В. 9 127; 10 126
Митрофанов И. Г. 11 103
Михайлов Л. И. 7 127
Монин А. С. 1 34
Мошев В. В. 11 84
Мурдама И. О. 9 118
Мунхбаяр Х. (см. Боркин Л. Я.)
Мухин Л. М. (см. Марочник Л. С.)
Мяжков Н. А. 6 112

- Н** агибина М. С. 12 56
Наседин В. В. 5 44
Незлин Л. П. (см. Малахов Б. В.)
Нейман Дж. фон 2 88
Неретина С. С. 8 124
Несис К. Н. 2 50; 3 113; 6 109; 8 77; 11 23
Никитин Е. Д. 7 120
Никитин С. А. 1 101; 7 100; 3 105; 9 103; 10 100; 11 103; 12 104
Никонов А. А. 11 66
Новожинов Ю. И. 3 50
Нухимовская Ю. Д. (см. Алексеева Л. В.)
- О** гурцов А. П. 6 90
Огнетов Г. Н. 5 100
Ойзерман Т. И. 3 9; 10 11
Оксенгендер Г. И. 12 13
Орлов А. Н. 10 34
- П** авлова Г. Е. 4 88
Павлов Д. С. 11 3
Павленкова Н. И. 12 36
Парфенов В. И. 6 2
Пахомов Б. Я. 5 79
Перчук Л. Л. 7 88
Петров М. П. (см. Афросимов В. В.)
Петрянов-Соколов И. В. 3 2
Пивницкий К. К. (см. Юдаев Н. А.)
Пирузян Л. А. (интервью с ним) 5 33
Плоткин С. И. (см. Жаворонков Н. М.) 11 119
Плетнева С. А. 7 26
Покарежеский А. Д. (см. Гусев А. А.)
Покшишевский В. В. 3 119
Понтекорво Б. М. 1 43
Понтекорво Б. М. (интервью с ним) 8 70
Полякова Н. Л. (см. Кобзарев Ю. Б.)
Прудковский И. А. 7 15
Прусевич А. А. (см. Шевченко Ю. С.)
Пулавкин Д. М. 3 103
Пуцаровский Ю. М. 6 116
Пушин И. К. 9 25
Пучков П. И. (см. Бромлей Ю. В.)
- Р** азгон Л. Э. 5 56
Ранцман Е. Я. (см. Барлас В. Я.)
Раушенбах Б. В. 9 86
- Реймерс Н. Ф. (см. Алексеева Л. В.)
Решетников Ю. С. (см. Павлов Д. С.)
Розенберг Г. В. 4 68
Ройзен И. И. 2 104
Руднев С. Н. (см. Шевченко Ю. С.)
Рязанов А. И. (см. Кадомцев Б. Б.)
- С** агалевич А. М. (см. Несис К. Н.)
Самойленко Ю. И. 9 46
Санин Ю. С. 1 60
Северный А. Б. 4 59
Северцов А. С. 11 120
Седлецкий В. И. 8 94
Сеидов Д. Г. (см. Монин А. С.)
Семенов Д. В. (см. Боркин Л. Я.)
Семенов Д. В. (см. Божанский А. Т.)
Симоненко А. Н. 2 28; 3 107
Симонов П. В. 3 24
Скворцов А. К. 6 74
Солодков В. К. (см. Хаджинуров Н.)
Смирнов Б. М. (см. Елецкий А. В.)
Смирнов М. Н. 11 76
Смирнов И. Н. 5 117
Смирнов П. В. (см. Никитин Е. Д.)
Смондырев М. А. 12 21
Соколов Б. С. 6 118
Соколов В. Е. 2 36; 8 32;
Соколов Л. И. 2 40
Старостин Б. А. 2 120
Степанов Б. М. (см. Гинзбург В. М.)
Степанов В. Е. 12 82
Струнников В. А. 6 32
Стутгин А. Г. (см. Петрянов-Соколов И. В.) 3 2
Сузюмов А. Е. 1 58; 2 116; 5 114; 10 112; 12 112
Сургучев А. П. 4 110
Сурдин В. Г. 4 104; 11 104
- Т** асалов В. И. 12 91
Тернов И. М. 5 90
Титов С. А. (см. Каменский А. А.)
Тодуа П. А. (см. Георгобини А. Н.)
Токарев С. А. 10 55
Томозов В. М. (см. Степанов В. Е.)
Трефилов В. И. 2 123
Трушин Ю. В. (см. Орлов А. Н.)
Турчанинова В. А. 12 117
Тюрюков С. Н. 6 25
- У** русов В. С. 10 82
Урусов В. С. (см. Барсуков В. Л.)
Устенко Л. П. 1 124
- Устинов С. К. 3 103
Устинова Т. И. 8 125
- Ф** едосеев Д. В. 3 80
Феокистов Л. П. 9 3
Ферсман А. Е. 10 77
Флоренский П. В. 8 127
Формозов А. А. 1 82
- Х** аркевич С. С. 4 35
Хаджинуров Н. 7 98
Халилов В. Р. (см. Тернов И. М.)
Христофоров Г. Н. 7 117
- Ц** ерева Г. К. 7 122
Цидильковский И. М. (см. Иванов-Омский В. И.)
- Ч** ерняк В. С. 9 120
Чубаров В. М. 7 75
Чулахин В. М. 12 48
Чуянов В. А. (см. Самойленко Ю. И.)
- Ш** адрин Л. Н. 1 12
Шатуновский М. И. (см. Павлов Д. С.)
Шашкина Т. Б. 6 69
Шевченко Ю. С. 6 88
Шереметьева В. А. 1 23
Шестакова Е. Ф. (см. Георгобини А. Н.)
Шибнев Ю. Б. (см. Коркишко В. Г.)
Ширков Д. В. 1 120
Ширшов Д. В. 1 120
Шургая И. Г. 11 102
Шурко И. И. 2 76
- Щ** ека С. А. (см. Чубаров В. М.)
- Ю** даев Н. А. 1 96
- Я** ковлев М. С. 6 124
Яницкий И. Н. (см. Бородзич Э. В.)
Янушевич Э. В. (см. Шургая И. Г.)
Яншин А. Л. 10 76, 98

В номере использованы фотографии АЛЕКСЕЕВА Н. Н., АРБУЗОВА Е. В., ГРАЖДАНКИНА А. В., ЖИВОТЧЕНКО В. И., КУПРИЯНОВОЙ Л. А., ТУМАНОВА Ю. А., ЦЕРН.



— 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.

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,
Мароховский пер., 26.
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 5.10.83
Подписано к печати 14.11.83
Т—17789

Формат 70×100 1/16

Офсет

Усл.-печ. л. 10,32

Усл. кр.-отт. 1557,5 тыс.

Уч.-изд. л. 15,9

Бум. л. 4

Тираж 58 179 экз. Зак. 2781

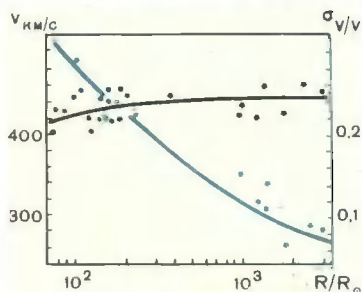
Ордена Трудового Красного Знамени Чеховский полиграфический комбинат ВО «Союзполиграфпром» Государственного комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли
г. Чехов Московской области



В следующем номере

Намечена программа мероприятий охраны природы Севера, отличающейся чрезвычайной хрупкостью и легкой разрушаемостью при антропогенном воздействии на экосистемы региона.

Крючков В. В. Стратегия охраны природы Севера.



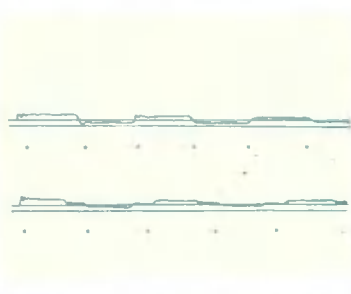
Солнечный ветер, обнаруженный советской автоматической станцией «Луна-2» около 25 лет назад в пространстве между Землей и Луной, сейчас детально изучен в пределах всей Солнечной системы.

Ефимов А. И., Яковлев О. И. Солнечный ветер.



Арктический лед — не только «кожа» океана и источник питательных веществ, но также субстрат, в толще которого живут разнообразные организмы.

Мельников И. А. Живой лед.



Эхо-импульсная дефектоскопия — мощный инструмент исследования, позволяющий «видеть» мельчайшие неоднородности внутри непрозрачных сред и широко применяющийся в различных областях современной науки и техники. Одним из основоположников этого направления можно по праву считать нашего выдающегося соотечественника, «отца русской авиации» — Н. Е. Жуковского.

Исакович М. А. Н. Е. Жуковский и эхо-импульсная дефектоскопия.



Какими красками были написаны знаменитые фрески Феропонтова монастыря? Были это «качественные» привозные пигменты или сырьем для красок послужили галька и валуны цветных горных пород из окрестностей монастыря? Ответить на эти вопросы пытаются геологи.

Голубов В. Н., Галдобина Л. П. Краски Дионисия и древний ледник.

Цена 80 коп.
Индекс 70707

