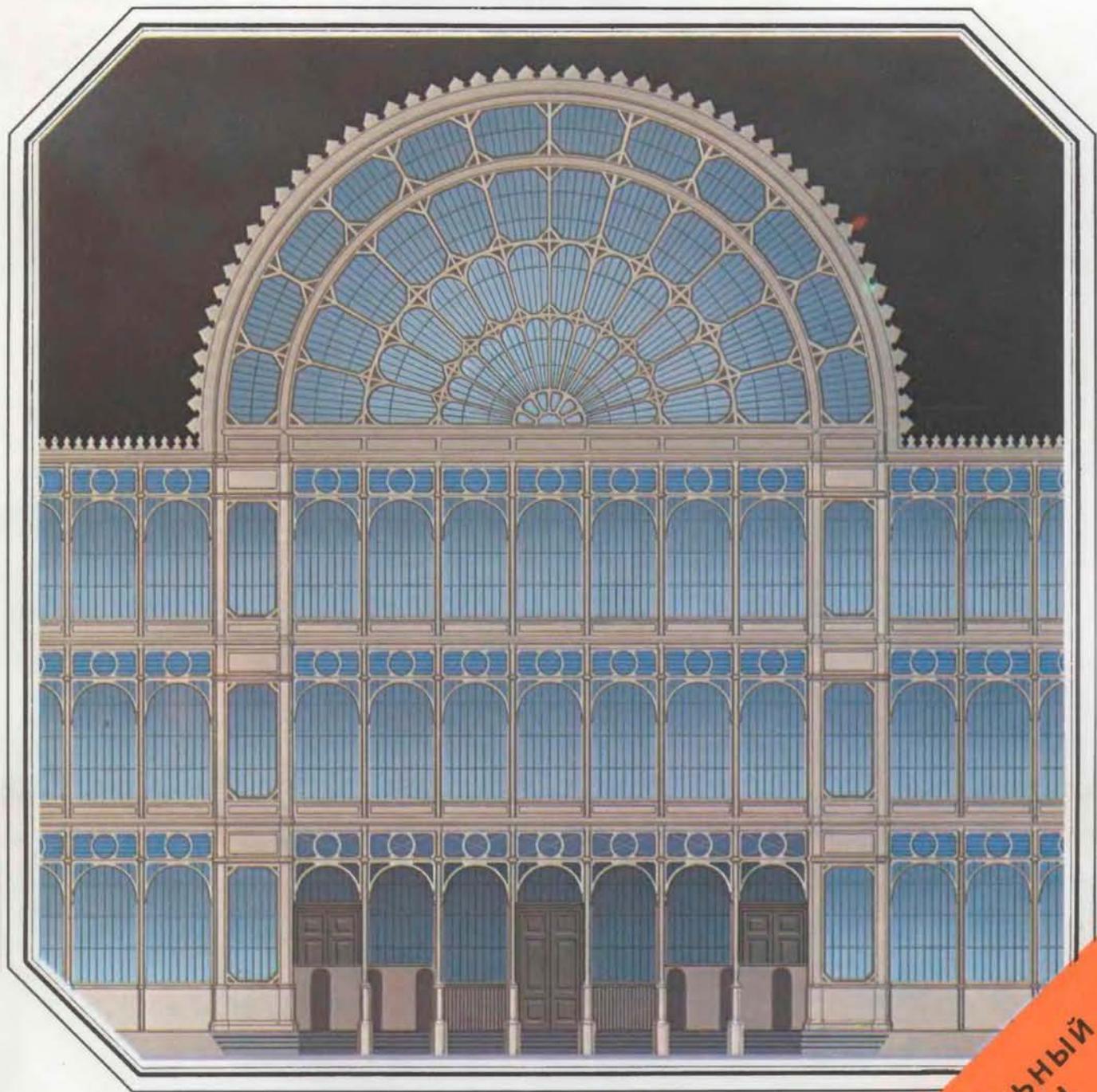


В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Декабрь **12** 1984

ХРУСТАЛЬНЫЙ
ДВОРЕЦ

Издательство МИР предлагает:

Э. Фомалон, Р. Фратер, Дж. Хамакер и др.
**ПОСТРОЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ В АСТРОНОМИИ
ПО ФУНКЦИЯМ КОГЕРЕНТНОСТИ**

Перевод с английского



Современные радиотелескопы апертурного синтеза — сложные антенно-вычислительные комплексы, существенной особенностью которых является математическое обеспечение построения изображений на основе измеряемых спектров пространственных частот. В коллективной монографии, в написании которой приняли участие видные специалисты из США, Великобритании, ФРГ, Нидерландов, Японии, детально рассмотрены теоретические и практические методы выделения изображения объекта при наличии ошибок измерения и шумов. Описанные методы находят все большее применение, помимо радиоастрономии, в оптике, кристаллографии,

ядерной физике, медицине и т.д.

Основное содержание: Методы апертурного синтеза. Апертурный синтез с ограниченной или отсутствующей информацией о фазе. Техника обработки и методы отображения. Методы оптической интерферометрии. Восстановление изображений методом максимальной энтропии. Другие методы улучшения изображения.

Книга предназначена для астрономов, оптиков, а также для лиц, интересующихся способами построения изображений в кристаллографии, ядерной физике, медицине и т.п., — как для специалистов, так и для студентов старших курсов.

1982, 316 с. Цена 3 р.



В МИРЕ НАУКИ

Scientific American · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО · ВЫХОДИТ 12 РАЗ В ГОД · ИЗДАЕТСЯ С 1983 ГОДА

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» МОСКВА

№ 12 · ДЕКАБРЬ 1984

В номере:

- СТАТЬИ**
- 4 Прионы *Стэнли Б. Прузинер*
Эти возбудители инфекционной болезни — биологическая загадка: прионы содержат белок и размножаются в живой клетке, однако в них не удается обнаружить ни ДНК, ни РНК. Какова же природа их генома?
(Scientific American, October 1984, Vol. 251, No. 4)
- 16 Сейсмическая томография *Дон Л. Андерсон, Адам М. Дзевонский*
Новый метод анализа сейсмических волн в их совокупности позволяет картировать мантию Земли в трех измерениях. Такие карты проливают свет на структуру конвективных потоков, приводящих в движение плиты земной коры
(Scientific American, October 1984, Vol. 251, No. 4)
- 26 Хрящ *Арнольд И. Каплан*
Хрящ выполняет формообразующую функцию в эмбрионе, а затем опорную функцию в сформировавшемся теле. В настоящее время его основные свойства — прочность и упругость — можно рассматривать на молекулярном уровне, в свете тонкого строения тканей
(Scientific American, October 1984, Vol. 251, No. 4)
- 36 Эпсилон Возничего *Маргерита Хак*
Наблюдения излучения этой двойной звездной системы в инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах спектра, проведенные во время последнего затмения, позволяют предположить, что затмеваемый объект — это горячая молодая звезда, окруженная большим облаком пыли и газа, которое и породило ее
(Scientific American, October 1984, Vol. 251, No. 4)
- 46 Помутнение хрусталика *Отто Хоквин*
Ежегодно миллионы людей теряют зрение в результате помутнения хрусталика. Катаракта не обязательно приходит с возрастом — заболеванию ею способствуют и другие причины
(Spektrum der Wissenschaft, September 1983, No. 9)
- 56 Квантовая химия глубокого холода *В. И. Гольданский*
Благодаря специфически квантовому явлению — туннельному эффекту — химические реакции могут идти даже при температурах, близких к абсолютному нулю
- 68 Хрустальный дворец *Фолке Т. Кихлиштедт*
Сконструированный садоводом герцога Девонширского и построенный за 4 месяца из модульных элементов с заполнением из стекла этот дворец предвосхитил современные эстетические и конструктивные принципы в архитектуре и строительной технике
(Scientific American, October 1984, Vol. 251, No. 4)
- 84 Стоянка позднеледникового периода в Южном Чили *Том Д. Дилхей*
Около 13 тыс. лет назад в лесах Южного Чили существовало процветающее поселение. Благодаря хорошей сохранности стоянки произведенные на ней раскопки позволили сделать вывод, что культура в эпоху плейстоцена была в Новом Свете намного выше, чем предполагали ранее
(Scientific American, October 1984, Vol. 251, No. 4)
- РУБРИКИ**
- 3 Об авторах
- 15 50 и 100 лет назад
- 44, 65, 81, 105 Наука и общество
- 92 Наука вокруг нас
- 98 Книги
- 106 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan B. Piel
PRESIDENT AND EDITOR
BOARD OF EDITORS

Philip Morrison
BOOK EDITOR

Timothy Appenzeller
John M. Benditt
Peter G. Brown
Ari W. Epstein
Michael Feirtag
Robert Kunzig
James T. Rogers
Armand Schwab, Jr.
Joseph Wisnovsky

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR
Richard Sasso
PRODUCTION MANAGER
George S. Conn
GENERAL MANAGER

Gerard Piel
CHAIRMEN

Dennis Flanagan
EDITOR EMERITUS

© 1984 by Scientific American, Inc.

Товарный знак *Scientific American*, его текст и шрифтовое оформление являются исключительной собственностью Scientific American, Inc. и использованы здесь в соответствии с лицензионным договором

В МИРЕ НАУКИ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
С. П. Капица

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
Л. В. Шепелева

НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ
З. Е. Кожанова О. К. Кудрявов
Т. А. Румянцева А. М. Смотров
А. Ю. Краснопецев

ЛИТЕРАТУРНЫЙ РЕДАКТОР
М. М. Попова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. А. Стулов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
И. В. Лунёва

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
Т. К. Такташова

КОРРЕКТОР
Р. Л. Вибке

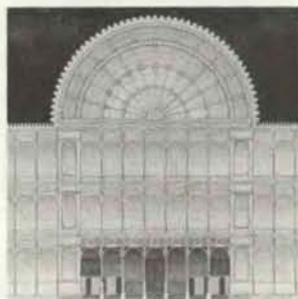
ОФОРМЛЕНИЕ ОБЛОЖКИ,
ТИПОГРАФИКА РУССКОГО ИЗДАНИЯ,
МАКЕТ СМЕННЫХ ПОЛОС:
М. Г. Жуков

ТИТУЛЬНАЯ НАДПИСЬ,
ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ:
В. В. Ефимов

АДРЕС РЕДАКЦИИ
129820, Москва, ГСП
1-й Рижский пер., 2
ТЕЛЕФОН РЕДАКЦИИ
286.2588

© Перевод на русский язык и оформление, «Мир», 1984

На обложке



ХРУСТАЛЬНЫЙ ДВОРЕЦ

На обложке изображен фрагмент Хрустального дворца (см. статью Ф. Кихлштедта «Хрустальный дворец», с. 68). Построенный в 1851 г. в лондонском Гайд-парке для размещения 1-й Всемирной выставки промышленной продукции, Хрустальный дворец был, пожалуй, главным ее экспонатом. Показательны не только размеры этого здания (его объем составлял около 1 млн. м³ и на его сооружение было израсходовано 400 т стекла) и короткие сроки строительства (оно было возведено за 4 месяца), но также эстетические и технические новшества, введенные Джозефом Пакстоном — автором его проекта. Эти новшества предвосхитили современные принципы в архитектуре и строительной технике. Стены дворца выполнены из стеклянных навесных панелей, закрепленных на железном каркасе. Здание собрано из однотипных модульных элементов, а основные конструктивные детали, такие, как фермы и поперечные связи, лишены какой-либо художественной отделки и оставались незакрытыми. На рисунке изображен главный вход, который располагался с южной стороны центрального трансепта.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Ted Lodigensky

СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК
5-6 Stanley B. Prusiner, School of Medicine of the University of California at San Francisco	32-34 Carol Donner	Library (внизу)
7-12 Ilil Arbel	37 Hank Iken, Walken Graphics	77 R. F. Bonifield, courtesy Engineering Societies Library (слева); courtesy Sears, Roebuck and Co. (справа)
13 Stanley B. Prusiner, School of Medicine of the University of California at San Francisco	38-42 Gabor Kiss	78 Jon Brenneis (вверху); George Hall, Woodfin Camp & Associates (внизу)
15 Scientific American	43 Hank Iken, Walken Graphics	83 National Radio Astronomy Observatory
17 Ian Worpole	47 Otto Hockwin	85 Tom D. Dillehay, University of Kentucky
18 Andrew Tomko	48 Otto Hockwin, Spektrum der Wissenschaft	86-89 Patricia J. Wynne
19 Adam M. Dziewonski	49-55 Otto Hockwin	90 Tom D. Dillehay, University of Kentucky
20-21 Ian Worpole	57 Александр Чумичёв	91 Patricia J. Wynne
22-25 Andrew Tomko	58-65 Сергей Аносов	92 Quesada, Burke
27 Carol Donner	67 The Granger Collection	93-96 Michael Goodman
28-29 Arnold I. Caplan, Case Western Reserve University	68-69 The Illustrated London News Picture Library	105 Craig Taylor, Woods Hole Oceanographic Institution
30-31 Hank Iken, Walken Graphics	70-71 Scientific American	
	72-75 Alan D. Iselin	
	76 Mary Evans Picture Library (вверху); Astor, Lenox and Tilden Foundations, The New York Public	

Об авторах

Stanley B. Prusiner (СТЭНЛИ Б. ПРУЗИНЕР «Прионы») — профессор нейробиологии в Медицинской школе Калифорнийского университета в Сан-Франциско, где он читает курсы лекций по биохимии и биофизике. Одновременно он преподает вирусологию в Калифорнийском университете в Беркли. Учился в Пенсильванском университете, там стал бакалавром (1964 г.) и доктором медицины (1968 г.). С 1968 по 1972 г. вел исследовательскую работу как биохимик в Национальном институте заболеваний сердца и легких. Затем перешел в Калифорнийский университет в Сан-Франциско.

Don L. Anderson, Adam M. Dziewonski (ДОН Л. АНДЕРСОН, АДАМ М. ДЗЕВОНСКИЙ «Сейсмическая томография») — геофизики, с прошлого года совместно преподают в Калифорнийском технологическом институте (КТИ). Андерсон — профессор и одновременно директор Сейсмологической лаборатории в КТИ. Дзевонский, заведующий кафедрой Отделения геологических наук Гарвардского университета, проводит в КТИ свой «академический год» в качестве стипендиата фонда Фэйрчайлда. Андерсон получил степень бакалавра в Ренселеровском политехническом институте в 1955 г., затем работал сейсмороазведчиком в фирме Chevron Oil Company. В 1956 г. вошел в исследовательскую геофизическую группу ВВС и возглавил шесть экспедиций, изучавших упругие свойства морского льда в Гренландии; позже эти работы пригодились ему при исследовании мантии Земли. В КТИ Андерсон получил степени магистра (1959) и доктора (1962), после чего начал работать на одном из его факультетов. Дзевонский получил степень магистра в Варшавском университете в 1960 г., звание доктора технических наук — в Горно-металлургической академии в Кракове в 1965 г. В 1965 г. приехал в США для стажировки в юго-западном Центре перспективных исследований (ныне Техасский университет в Далласе). В 1969 г. начал работать там на одном из факультетов, а в 1972 г. перешел в Гарвардский университет.

Arnold I. Kaplan (АРНОЛЬД И. КАПЛАН «Хрящ») — профессор биологии, один из директоров Центра биологии развития и Учебной программы по клеточной и молекулярной биологии в Университете Кейз-Вестерн-Ризерв. Он окончил Иллинойский технологический институт, где в 1963 г. получил степень бакалавра в области химии, а также Медицинскую школу Университета Джонса Гопкинса, где в 1966 г. его

удостоили степени доктора философии в области химии физиологических процессов. Работа, за которую Каплан получил докторскую степень, была посвящена структуре и функциям внешней и внутренней митохондриальной мембран. Эти исследования он продолжил в Университете Брандейса, но затем заинтересовался биохимией развития мышц, костей и хряща. В Университете Кейз-Вестерн-Ризерв Каплан работает с 1969 г.

Margherita Hack (МАРГЕРИТА ХАК «Эпсилон Возничего») — директор Астрономической обсерватории в Триесте. Степень доктора философии в области физики получила в 1945 г. в Университете Флоренции. В 1947 г. стала сотрудником Астрофизической обсерватории Арчетри во Флоренции, а в 1954 г. перешла в Астрономическую обсерваторию Брера в Милане-Мерате. Свой нынешний пост она заняла в 1964 г. Как была соавтором двух книг по спектроскопии звезд и написала учебники по общей астрономии и радиоастрономии; возглавляет популярный итальянский журнал «L'Astronomia».

Otto Hockwin (ОТТО ХОКВИН «Помутнение хрусталика») — профессор экспериментальной офтальмологии медицинского факультета Боннского университета. Изучал химию в Бонне, в 1956 г. получил степень доктора. При образовании Института экспериментальной офтальмологии группа Хоквина, который в 1961 г. за работу об изменении обмена веществ в хрусталике при возникновении лучевой катаракты вторично удостоен докторской степени, была переведена из глазной клиники в новый институт. С 1968 г. Хоквин возглавляет отделение биохимии глаза. На переднем плане его исследований стоят проблемы прозрачности хрусталика и биохимических предпосылок такого состояния. От экспериментов на животных он постепенно перешел к исследованию человеческих хрусталиков, и прежде всего так называемых старческих катаракт. С 1972 по 1981 г. Хоквин был генеральным секретарем и президентом Европейской ассоциации глазных исследований. В настоящее время он председатель научной комиссии по геронтологии при ЕОС.

Виталий Иосифович Гольданский (В.И. ГОЛЬДАНСКИЙ «Квантовая химия глубокого холода») — академик, заведующий сектором строения вещества Института химической физики АН СССР, специалист в области хи-

мической физики, ядерной и радиационной химии, ядерной физики — в частности применения ядерных методов в химии и исследования низкотемпературных твердофазных химических реакций. Окончил химический факультет Московского государственного университета (1944), кандидат химических наук (1947), доктор физико-математических наук (1954), член-корреспондент АН СССР (1962), академик АН СССР (1981). Лауреат Ленинской премии (1980). В.И. Гольданский — автор ряда монографий и статей по различным применениям эффекта Мёссбауэра, по общим принципам и перспективам создания гамма-лазеров, по химическим применениям аннигиляции позитронов, по свойствам ядер, далеких от области бета-стабильности.

Folke T. Kihlstedt (ФОЛКЕ Т.КИХЛШТЕДТ «Хрустальный дворец») — доцент факультета искусств в Колледже Франклина и Маршалла. Степень бакалавра получил в 1962 г. в Дартмутском колледже, магистра — в 1967 г. в Пенсильванском университете, доктора — в 1973 г. в Северо-западном университете. Его диссертация была посвящена изучению различных строительных нововведений в американской выставочной архитектуре в период с 1901 по 1939 г. Преподавательская деятельность Кихлштедта началась на факультете истории искусств в Университете г. Цинциннати (шт. Огайо), где он преподавал (с перерывом для работы над докторской диссертацией) с 1967 по 1974 г., а затем перешел в Колледж Франклина и Маршалла.

Tom D. Dillehay (ТОМ Д. ДИЛХЕЙ «Стоянка позднеледникового периода в Южном Чили») — доцент, преподает на факультете антропологии в Университете шт. Кентукки. Одновременно является директором общества антропологов-исследователей в том же штате. Докторскую диссертацию защитил в 1976 г. в Университете шт. Техас в г. Остине. С 1972 г. жил в Чили и Перу, где занимался антропологическими исследованиями, связанными с изучением политических и экономических систем в обществах, населявших район Анд в период до испанской колонизации. Во время пребывания в Южной Америке работал на должностях профессора Католического университета Чили в Сантьяго (1975), профессора (как стипендиат фонда Фулбрайта) в Университете Сан-Маркоса в Лиме (1976) и директора отделения истории и антропологии в Университете г. Вальдивия (1977—1979). В 1979 г. Дилхей вернулся в США на прежнюю должность, но ежегодно совершает поездки в Южную Америку на раскопки.

Прионы

Эти возбудители инфекционной болезни — биологическая загадка: прионы содержат белок и размножаются в живой клетке, однако в них не удается обнаружить ни ДНК, ни РНК.

Какова же природа их генома?

СТЭНЛИ Б. ПРУЗИНЕР

НУКЛЕИНОВЫЕ кислоты ДНК и РНК можно считать наименьшим общим знаменателем жизни. Живые организмы удивительно разнообразны как в видовом, так и в индивидуальном отношении, но все они похожи в одном — их геном построен из нуклеиновой кислоты. И у бактерий, и у человека именно ДНК определяет структуру ферментов и других белков, развитие и форму организма; репликация ДНК — решающее событие при воспроизведении живого. Даже вирусы, не способные к автономному размножению и само право которых называться живыми организмами вызывает сомнения, даже они сохраняют свое естество с помощью молекулы ДНК или РНК. Вироиды, вызывающие некоторые болезни растений, вообще состоят из одной РНК. Принцип, согласно которому генетическая информация всегда передается от нуклеиновых кислот к белкам, назван центральной догмой молекулярной биологии.

И вот теперь стали известны инфекционные агенты, названные прионами, которые, по-видимому, можно считать удивительным исключением из того правила, что каждый организм содержит нуклеиновую кислоту, определяющую его сущность. Прион способен вызывать образование новых прионов, по крайней мере в некоторых типах клеток млекопитающих. Среди молекулярных компонентов приона есть как минимум один белок и следовало бы ожидать, что в нем имеется ДНК или РНК — матрица, определяющая структуру этого белка. Однако все накопленные до сих пор данные говорят о том, что в прионе вообще нет нуклеиновой кислоты. Даже если допустить, что какое-то количество ДНК или РНК и может быть обнаружено, его будет явно недостаточно для кодирования структуры белка. Эти факты еще не доказывают того, что существование прионов идет вразрез с центральной догмой, да и самые последние результаты поддерживают менее еретические гипотезы, однако не вызывает сомнений, что способ размножения прионов крайне необычен.

Известны две болезни, вызываемые прионами. Это скрэпи — неврологическое расстройство, встречающееся у овец и коз, а также болезнь Крейтцфельда—Якоба — редкий вид психического заболевания у людей, который недавно стал широко известен в связи с тем, что от него умер балетмейстер Джордж Баланчин. Прионы считаются также вероятными возбудителями двух других заболеваний центральной нервной системы человека: куру, обнаруженного до сих пор только у горных племен Новой Гвинеи, и синдрома Герстмана—Стрейслера. Числятся прионы и среди возможных причин нескольких других болезней, однако сведения об их участии носят случайный и косвенный характер. Наибольшее значение среди заболеваний этой третьей категории имеет, пожалуй, болезнь Альцгеймера — самая распространенная форма старческого слабоумия; как причина смерти она занимает в США четвертое место.

СКРЭПИ и другие болезни, к которым имеют отношение прионы, являются так называемыми медленными инфекциями. Они характеризуются длительным инкубационным периодом, который может продолжаться месяцы, годы, а то и десятки лет; в это время у зараженного человека или животного нет никаких симптомов. Когда же начинается собственно болезнь, она неуклонно прогрессирует и обычно приводит к гибели организма.

Название «скрэпи» происходит от английского слова *scrape* — скребить, тереться: дело в том, что больная овца соскребает с себя большую часть шерсти. Заболевание известно давно — более 200 лет. В 1935 г. французские исследователи убедительно доказали, что оно может передаваться от одной овцы к другой путем прививки. Возможность переноса означает, что существует инфекционный агент, способный размножаться в животном-хозяине.

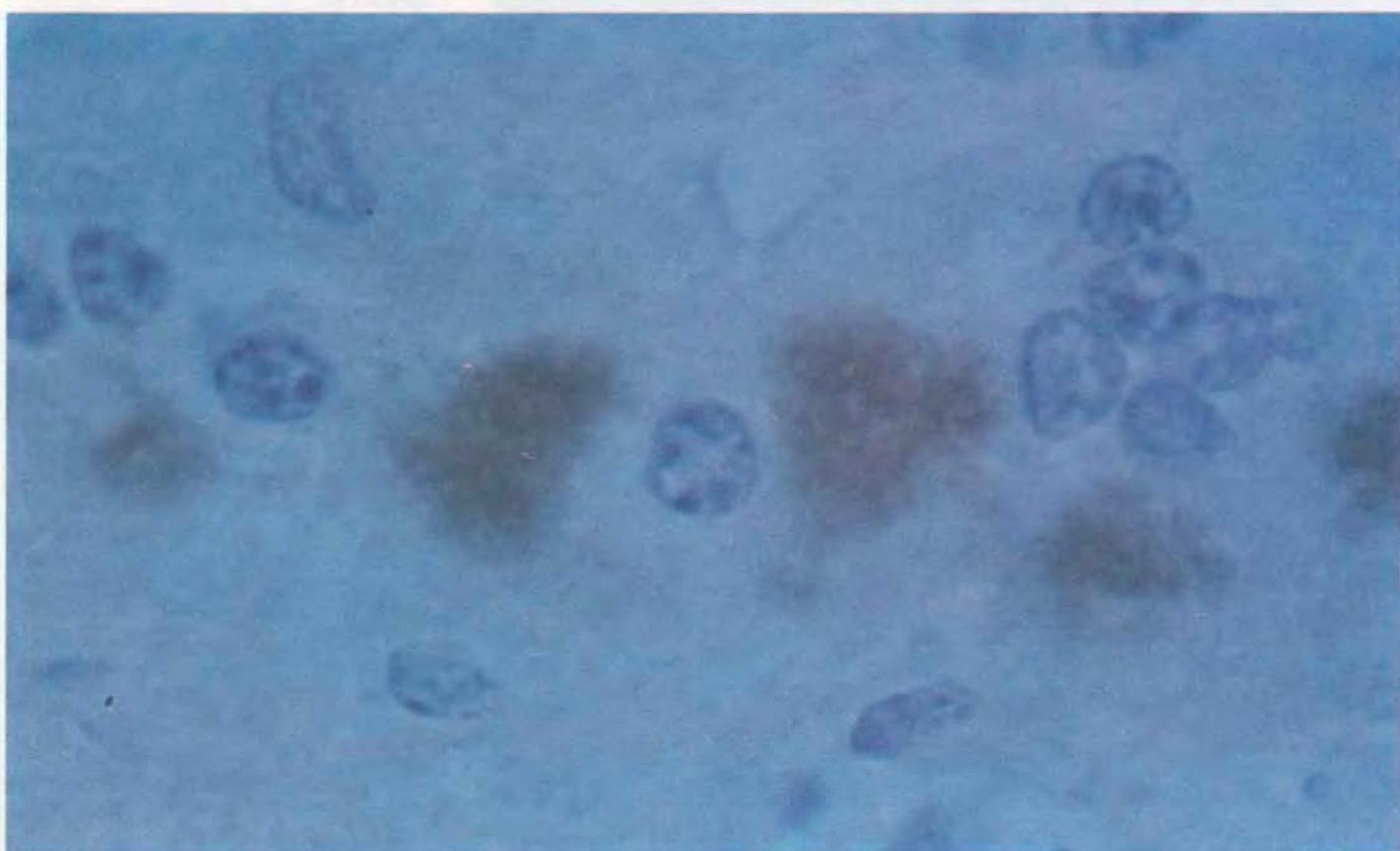
Скрэпи оставалось малоизвестным, знакомым лишь ветеринарам заболеванием до 1959 г., когда У. Хэдлоу из лаборатории в Роки-Маунтен Нацио-

нального института аллергии и инфекционных заболеваний предположил, что скрэпи и куру — родственные болезни. Первые медицинские описания куру были опубликованы двумя годами ранее В. Зигасом и Д. Гайдушкой из Национального института неврологических расстройств и инсульта. Они сообщили, что заболевание, встречающееся у жителей Новой Гвинеи, связано с принятым у местных племен ритуалом — съесть мозг умершего родственника в знак уважения к нему. С тех пор такой каннибализм практически прекратился и случаев заболевания куру стало гораздо меньше.

В 1966 г. Гайдушек, К. Гиббс-младший и М. Элперс сообщили о том, что куру можно заразить обезьян. Через два года Гайдушек и Гиббс показали, что болезнь Крейтцфельда—Якоба тоже может передаваться обезьянам, а не так давно К. Мастерс, Гайдушек и Гиббс продемонстрировали то же для синдрома Герстмана — Стрейслера.

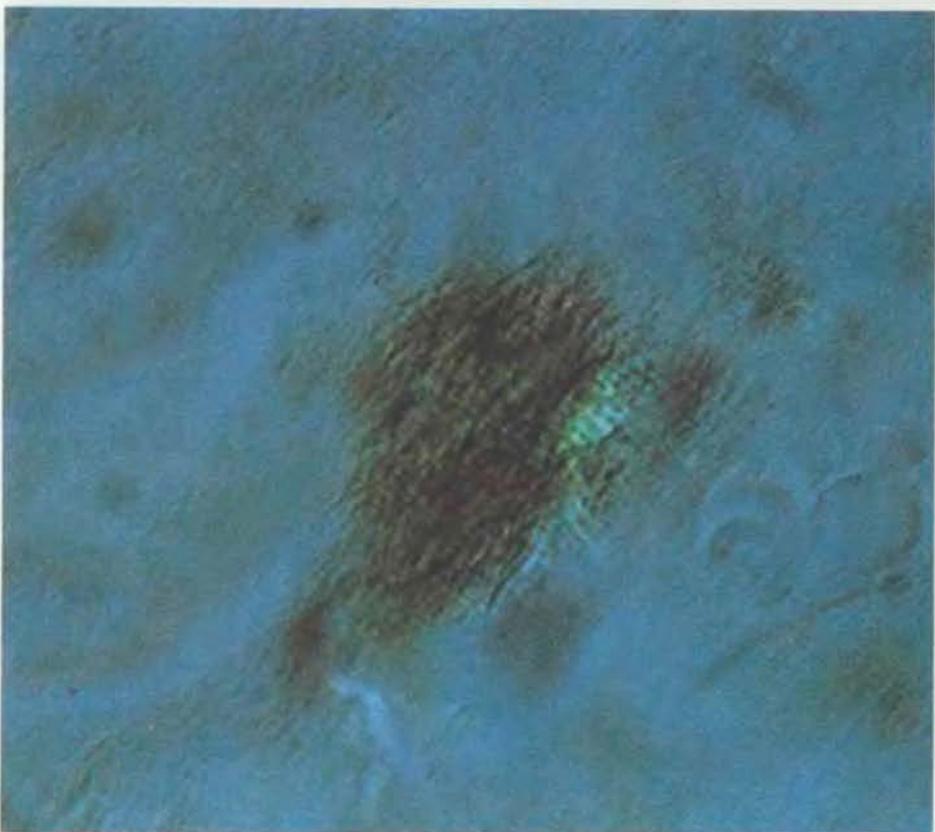
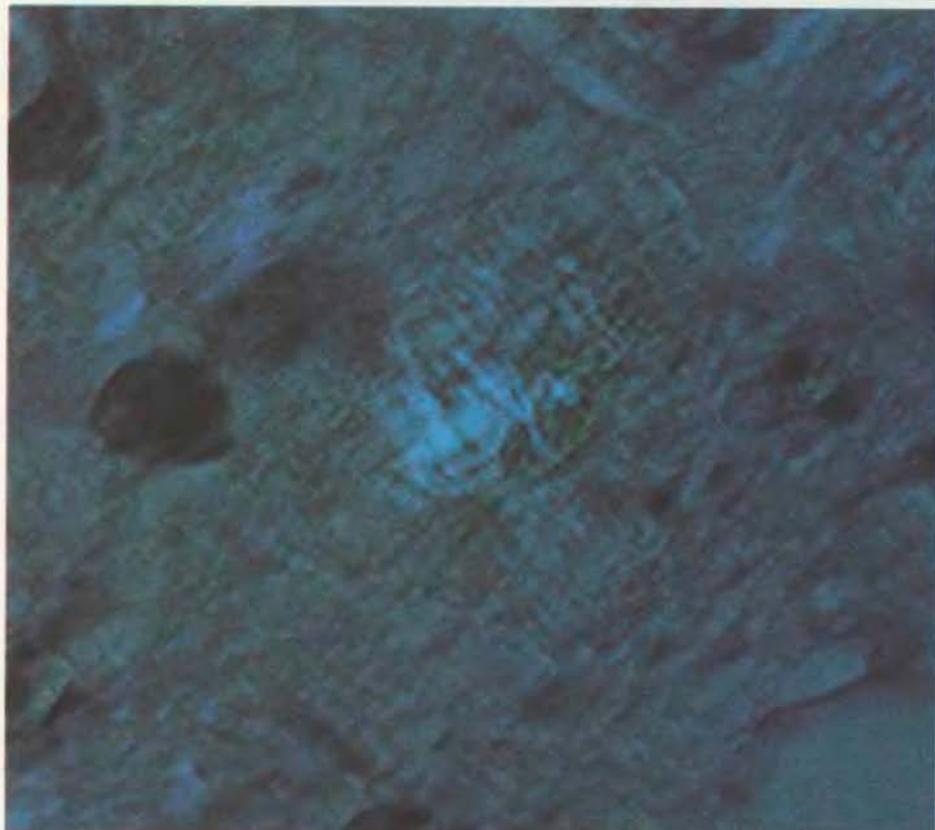
Сходство клинических и патологических признаков скрэпи, куру, болезни Крейтцфельда—Якоба и синдрома Герстмана—Стрейслера наводит на мысль о близком родстве этих заболеваний. Начальные симптомы скрэпи, куру и синдрома Герстмана—Стрейслера — это затруднения при ходьбе и потеря координации, свидетельствующие о нарушении деятельности мозжечка. При куру на поздних стадиях развивается психическое расстройство. Болезнь Крейтцфельда—Якоба обычно уже начинается с изменений психики, хотя описано несколько случаев с ранними симптомами, напоминающими начало куру. Ни при одной из этих болезней не наблюдается ни воспалительного процесса, ни лихорадочного состояния, состав спинномозговой жидкости и число клеток в ней остаются нормальными. Последнее обстоятельство свидетельствует о том, что иммунная система не реагирует на возбудителя болезни.

Паталогические изменения при этих заболеваниях происходят в пределах центральной нервной системы. Харак-



ПРИОНЫ В МОЗГУ хомяка, обнаруженные иммуноферментным методом. Хомяк был заражен скрепи — наиболее изученной из болезней, вызываемых прионами. В естественных условиях она поражает овец и коз. После примерно двухмесячного инкубационного периода сделали срез мозговой ткани и обработали его антителами, обладающими специфическим сродством к белку ПрП — главному и, возможно, единственному компоненту приона. К антителам был предварительно присоединен фермент пероксидаза, который

превращает бесцветный реагент в темный краситель. Если этот реагент нанести на обработанную такими антителами ткань, в микроскоп будут видны окрашенные структуры в тех местах, где присутствуют прионы. На верхней микрофотографии заметно много окрашенных телец; на нижней несколько из них показаны при большем увеличении. Они имеют вид пучков с волокнистой структурой и представляют собой, видимо, агрегаты прионовых «палочек», каждая из которых состоит примерно из 1000 молекул ПрП.



СКОПЛЕНИЯ ПРИОНОВЫХ ПАЛОЧЕК, окрашенные конго красным, очень похожи на амилоидоподобные тельца, характерные для многих болезней человека и животных, предположительно вызываемых прионовой инфекцией. Амилоид, окрашенный конго красным, приобретает свойство двойного лучепреломления: если его поместить между поляризационными фильтрами, он выглядит зеленым и золотистым. На этой микрофотографии представлен срез мозга хомяка, окрашенный дважды: скопление прионовых палочек выявлено с помощью меченных пероксидазой антител к ПрП, а краситель конго красный позволяет видеть двойное лучепреломление палочек. Образец ткани, показанный на этом и предыдущем рисунках, взят из субэпендимальной области мозга, недалеко от гиппокампа. В этой области обычно наблюдаются амилоидоподобные тельца у грызунов, больных скрэпи, и у людей, страдающих болезнью Альцгеймера.

терный признак — ненормальное размножение астроцитов, опорных клеток мозга. В нейронах уменьшается количество дендритных шипиков, важных для передачи нервных импульсов. Порой в мозгу появляются многочисленные вакуоли, и нервная ткань становится похожа на губку. Во многих случаях, но далеко не всегда наблюдаются амилоидоподобные тельца, представляющие собой скопления материала волокнистой структуры.

ЗА ПОСЛЕДНИЕ двадцать лет достигнуты заметные успехи в изучении причины скрэпи. Необычность свойств и структуры возбудителя, а также длительность и трудоемкость биологических проб, необходимых для измерения его концентрации, сильно затрудняли работу. К 1975 г. было предложено более десятка гипотез о природе возбудителя скрэпи; гипотез было даже больше, чем групп исследователей, изучавших эту болезнь.

Для того чтобы выделить инфекционный агент неизвестной структуры и химической природы, приходится начинать с метода «проб и ошибок». Обычно образец ткани зараженного животного гомогенизируют и разделяют на фракции, различающиеся по какому-нибудь физическому или химическому свойству. В каждой фракции измеряют концентрацию агента и наиболее чистую фракцию отбирают для дальнейших исследований. В случае скрэпи единственный способ измерить концентрацию возбудителя — определить способность препарата вызывать у животных заболевание.

Многие годы все подобные измерения выполнялись с помощью метода титрования до точки конечного разведения. Животных заражают все более разбавленными пробами материала; наиболее разведенный образец, способный вызывать болезнь, служит мерой концентрации возбудителя в исходном материале. В ранних работах с овцами и козами для исследования одного образца требовалось целое стадо животных и несколько лет наблюдений.

В 1960 г. Р. Чэндлер добился успеха в заражении скрэпи мышей. При титровании до точки конечного разведения на мышах обычно требуется 10 разведений, причем каждая последующая проба разбавляется в 10 раз по сравнению с предыдущей. Каждым разведением заражают по 6 мышей; те животные, которые получают большую дозу возбудителя, заболевают через 4—5 месяцев, а те, которым вводят более разбавленный раствор, — едва ли не через год. Таким образом, для определения точки конечного разведения целый год надо содержать 60 мышей. Работать с мышами, конечно, удобнее, чем с овцами и козами, однако измере-

ние концентрации возбудителя скрэпи все же оставалось медленным и громоздким даже по сравнению с методами, которые применял Пастер для изучения вирусов почти столетие назад.

В 1978 г. мои коллеги и я нашли способ, как избежать титрования до точки конечного разведения. За три года до этого Р. Марш из Висконсинского университета в Мадисоне и Р. Кимберлин описали у хомяков форму скрэпи, которая развивалась примерно вдвое быстрее, чем у мышей. Изучая болезнь хомяков, мы обнаружили четкую корреляцию между концентрацией возбудителя и скоростью проявления болезни, а также временем смерти животного. Таким образом, вместо того чтобы определять, насколько может быть разбавлен образец без полной утраты инфекционности, мы регистрировали время, за которое образец известного разведения вызывает симптомы болезни, и время гибели животного. Было показано, что определение времени инкубации дает достаточно точную оценку концентрации образца с высоким титром возбудителя. Выигрыш в скорости и экономичности оказался замечательный: наша работа пошла в 100 раз быстрее. Чтобы охарактеризовать образец, нам требовалось 60 дней вместо года и всего 4 животных вместо 60.

РАБОТУ со скрэпи я начал в сотрудничестве с Хэдлоу и с К. Эклундом в лаборатории в Роки-Маунтен. Сначала мы пытались очистить и выделить возбудителя из мышинной селезенки, гомогенат которой мы анализировали путем центрифугирования и определения точки конечного разведения на мышах. В центрифуге компоненты смеси разделяются в зависимости от их размера и плотности. Согласно методу, который мы избрали, образец центрифугируют фиксированное время при заданной скорости, а затем посредством биопробы определяют, сколько инфекционного агента попало в осадок и сколько осталось в надосадочной жидкости. Почти два года мы вели серию экспериментов, повторяя эту процедуру в широком интервале скоростей и времен осаждения. По окончании серии мы повторили все сначала, чтобы убедиться в воспроизводимости полученных результатов.

На той ранней стадии максимальной очистки, которой удалось достигнуть, составляла примерно тридцатикратное обогащение исходной фракции. Одна из причин, ограничивавших степень очистки, оказалась в то же время очень важным фактом: инфекционные частицы крайне неоднородны по размеру и плотности. Судя по скорости осаждения в центрифуге, некоторые из этих частиц почти достигают размеров митохондрий и бактерий, тогда как другие, по-видимому, меньше самых

ЗАБОЛЕВАНИЕ	ПРИОНЫ ЛИ ПРИЧИНА?	ЕСТЕСТВЕННЫЕ ХОЗЯЕВА	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЖИВОТНЫЕ	ИНКУБАЦИОННЫЙ ПЕРИОД
СКРЭПИ	ДА	ОВЦЫ, КОЗЫ	МЫШИ, ХОМЯКИ	ОТ 2 МЕС ДО 2 ЛЕТ (ИЛИ БОЛЬШЕ)
БОЛЕЗЬ КРЕЙЦФЕЛЬДА—ЯКОБА	ДА	ЧЕЛОВЕК	ОБЕЗЬЯНЫ, МЫШИ, МОРСКИЕ СВИНКИ	ОТ 4 МЕС ДО 20 ЛЕТ (ИЛИ БОЛЬШЕ)
КУРУ	ВОЗМОЖНО	ЧЕЛОВЕК	ОБЕЗЬЯНЫ	ОТ 18 МЕС ДО 20 ЛЕТ (ИЛИ БОЛЬШЕ)
СИНДРОМ ГЕРСТМАНА—СТРЕЙССЛЕРА	ВОЗМОЖНО	ЧЕЛОВЕК	ОБЕЗЬЯНЫ	18 МЕС (ИЛИ БОЛЬШЕ)
ЗАРАЗНАЯ ЭНЦЕФАЛОПАТИЯ	ВОЗМОЖНО	НОРКА	НИЗШИЕ ОБЕЗЬЯНЫ, ХОМЯКИ	ОТ 5 МЕС ДО 7 ЛЕТ (ИЛИ БОЛЬШЕ)
БОЛЕЗЬ ХРОНИЧЕСКОЙ АТРОФИИ	ВОЗМОЖНО	ЧЕРНОХВОСТЫЙ ОЛЕНЬ, ЛОСЬ	АФРИКАНСКИЙ ХОРЕК	18 МЕС (ИЛИ БОЛЬШЕ)

БОЛЕЗНИ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ ПРИОНАМИ, делятся на две категории в зависимости от степени достоверности данных об участии прионов. Скрэпи относится к таким болезням по определению; есть и надежные экспериментальные свидетельства того, что прионы — причина болезни Крейцфельда—Якоба. Прионы считаются вероятными возбудителями еще по крайней мере четырех заболеваний, включая два неврологических расстройства человека. Все они способны передаваться, по симптомам напоминают скрэпи и болезнь Крейцфельда—Якоба и вызывают сходные изменения в мозговой ткани.

маленьких вирусов. Такой широкий спектр размеров говорит о том, что возбудитель скрэпи может существовать во многих молекулярных формах. Эти наблюдения вполне можно объяснить, например, слипанием очень мелких инфекционных частиц в более крупные агрегаты. Желая получить более гомогенные препараты, а также улучшить отделение возбудителя от клеточных молекул, мы стали добавлять детергенты. На наблюдаемую гетерогенность их присутствие влияло мало, но очистка действительно стала лучше.

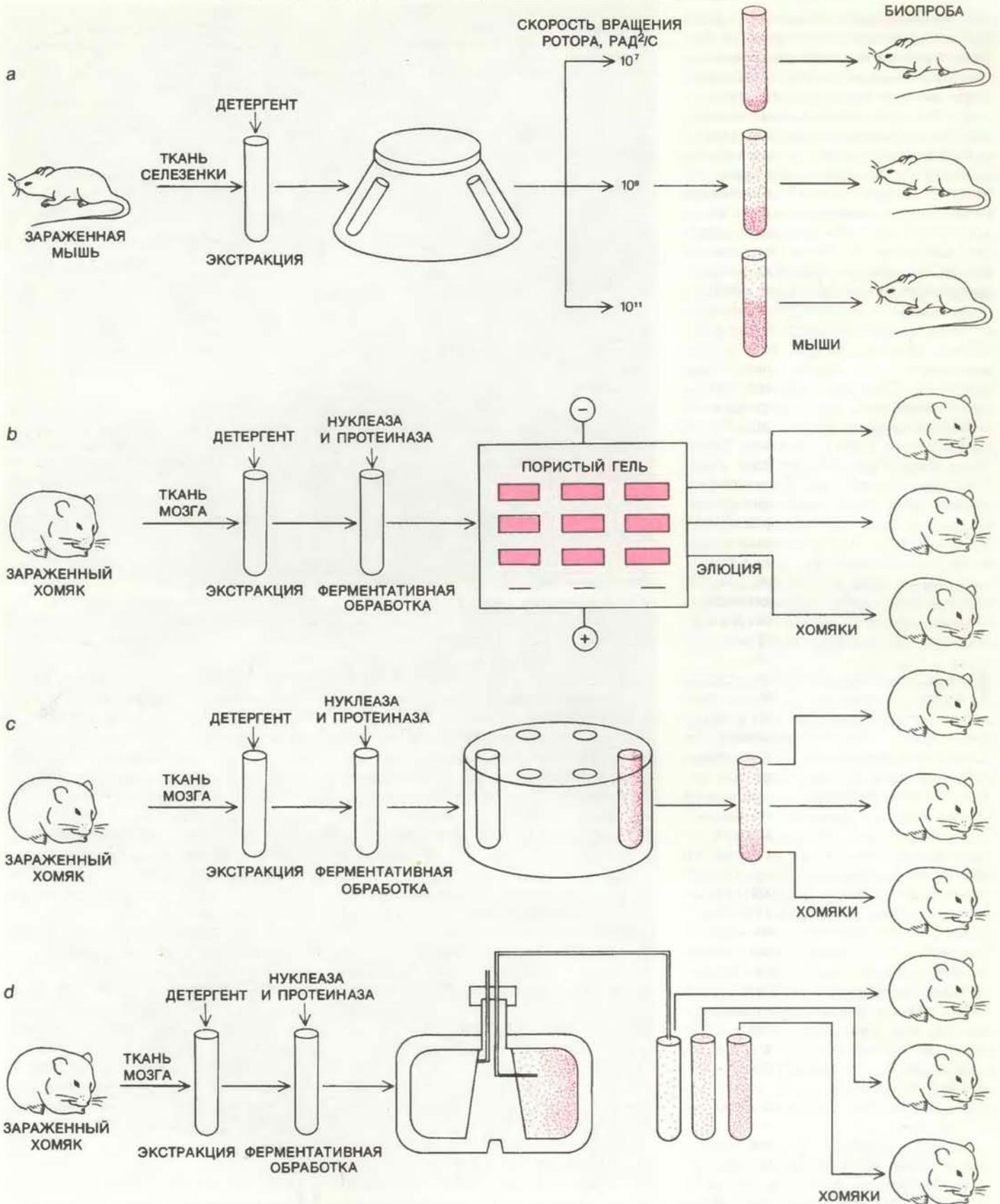
Попытки очистить возбудителя скрэпи были продолжены в моей лаборатории Медицинской школы Калифорнийского университета в Сан-Франциско. Историю наших усилий рассказать можно быстро, но в нее вошло 10 лет кропотливого, порой безуспешного труда. Многие исследователи внесли заметный вклад в эту работу. Среди них мне приятно отметить Р. Бэрингера, Р. Бэрри, П. Бендхейма, Д. Болтона, К. Бауман, П. Кочран, С. Де Армонда, Д. Грос, М. МакКинли и Д. Стайтса.

Итак, мы перешли от мышей к хомякам. Мало того, что это ускорило опыты, — мозг больных хомяков имеет в 100 раз более высокий титр возбудителя скрэпи, чем мышинная селезенка. Новый метод очистки тоже начинался с экстракции детергентами и центрифугирования, однако мы добавили три стадии: обработку нуклеазами, обработку протеиназами и анализ с помощью гель-электрофореза. Было обнаружено, что инфекционность возбудителя скрэпи не меняется после обработки

нуклеазами — ферментами, которые разрушают нуклеиновые кислоты. Таким образом нуклеазы ликвидируют в препарате большую часть клеточных нуклеиновых кислот, не повреждая возбудителя скрэпи. Протеназы, которые разрезают полипептидную цепь белка, нужны для удаления балластных белков. На последней стадии нашей усовершенствованной методики — при гель-электрофорезе — молекулы разделяются по скорости, с которой они движутся сквозь гель под действием приложенного электрического поля. Эта скорость зависит в первую очередь от электрического заряда молекулы, но ее размер и форма также имеют значение.

В целом эффективность всей процедуры очистки, включая заключительный электрофорез, получилась стократной, что дало возможность установить несколько принципиально важных фактов. Самое главное — было убедительно доказано, что биологическая активность возбудителя скрэпи зависит от белка. В связи с этим мы и ввели термин «прион», означающий «протеиновая (т.е. белковая) инфекционная частица».

ПОЗДНЕЕ мы опять вернулись к центрифугированию, как основной процедуре очистки, однако ее методика отличалась от той, которую применяли в предыдущих опытах. Образец наслаивали поверх раствора сахарозы, приготовленного так, что от мениска ко дну плотность непрерывно возрастала. Во время вращения центрифуги компоненты образца движутся в градиенте плотности сквозь раствор до



СПОСОБЫ ОЧИСТКИ прионов, разработанные автором и его коллегами. Ткань экстрагируют детергентами и экстракты центрифугируют в угловом роторе (а), где образец разделяется на фракции в соответствии с размерами частиц; при этом достигается очистка в 30 раз. При гелеэлектрофорезе (b) компоненты раствора разделяются по электрическому заряду и размеру. Электрофорез в сочетании с экстракцией детергентами и ферментативной обработкой дает стократную очистку. При центрифугировании

в градиенте сахарозы молекулы оседают сквозь слои сахарозного раствора, пока не достигнут уровня с такой же плотностью, как их собственная. В целях анализа, когда имеют дело с небольшим количеством материала, используется вертикальный ротор (c). Достигнутая этим способом тысячекратная очистка позволила идентифицировать белок ПрП. Для центрифугирования больших количеств материала был применен зональный ротор, что дало очистку в 5 тыс. раз (d) и удалось изучить состав и структуру ПрП.

тех пор, пока не достигнут уровня, где их собственная плотность сравнивается с плотностью окружающего раствора.

Первый вариант нашей методики разделения в градиенте концентрации сахарозы дал тысячекратную очистку возбудителя скрепи. Это позволило установить, что большая часть белка прионов представлена молекулами одного вида, который мы обозначили ПрП (от «прионовый протеин»). Потом был разработан препаративный вариант процедуры очистки, основанный на центрифугировании в «зональном роторе» — большом сосуде, в котором можно разделять в сахарозном градиенте сразу много материала. При этом достигалось обогащение в 5 тыс. раз.

Благодаря улучшению очистки мы смогли показать, что большая часть инфекционной фракции центрифугированного материала состоит, по существу, из одного белка, а именно ПрП. При дальнейшем анализе белка с помощью электрофореза выяснилось, что его молекулярная масса составляет 27—30 тыс. Сейчас есть основания полагать, что эта величина несколько завышена. Как мы установили, ПрП — это гликопротеин, т.е. белок, в котором к боковым цепям аминокислот присоединены остатки сахаров. А электрофоретическое определение молекулярной массы гликопротеинов часто дает ошибочно завышенный результат. Но в любом случае ПрП — относительно небольшой белок, он в два с лишним раза меньше гемоглобина.

На электронных микрофотографиях очищенного материала видны многочисленные палочковидные частицы, слишком большие для того, чтобы их можно было считать отдельными прионами. Палочки наблюдались и в более ранних экспериментах, однако мы не могли тогда проверить то естественное предположение, что они представляют собой агрегаты прионов; нельзя было исключить, что это не сам возбудитель, а продукты каких-то патологических изменений, вызванных болезнью. Изучение высокоочищенных фракций позволило с уверенностью утверждать, что палочки построены из ПрП, и, стало быть, могут считаться агрегатами прионов.

Выделение довольно чистых препаратов в достаточных количествах стало ключом ко многим запутанным проблемам. Совсем недавно мы сумели получить антитела к прионам у экспериментальных животных — эту цель мы безуспешно преследовали не один год. Решающим фактором оказалось количество материала, вводимое животному. Мы смогли увеличить его в 10 раз (примерно до 100 мкг). Располагая антителами, можно надеяться на большие изменения в темпах и технологии исследований прионов. Например, резко уменьшится необходимость в био-

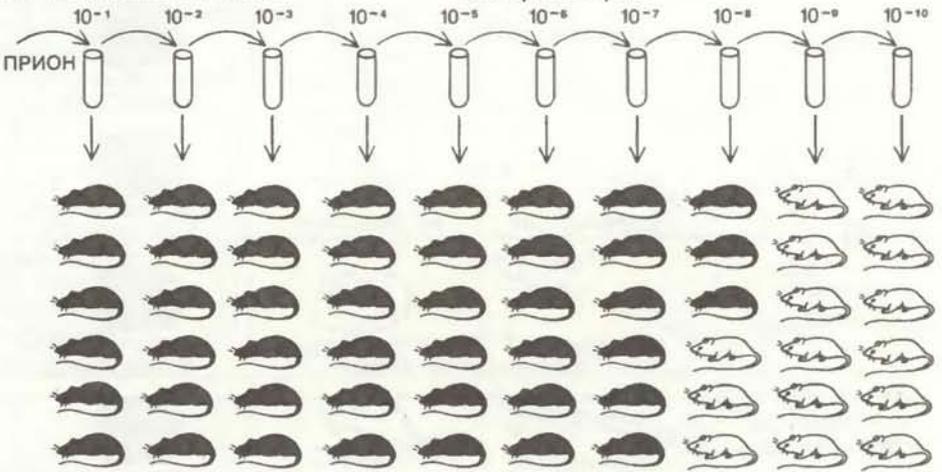
логических пробах. Концентрацию прионов в образце можно будет определить за несколько часов (а не месяцев!), измеряя сродство антител к компонентам материала. Пользуясь этим сродством, можно будет разработать аффинные методы очистки.

Изучение чистых препаратов позволило ответить на старые вопросы, но поставило и новые. Мы обратили внимание на то, что плотные скопления прионовых палочек удивительно похожи на амилоидоподобные тельца, наблюдающиеся в некоторых случаях при скрепи и болезни Крейцфельда—Якоба. Разумно было предположить, что амилоидоподобные тельца — это отложения прионов в агрегированном состоянии. Однако дело осложняется тем, что амилоидоподобные тельца ха-

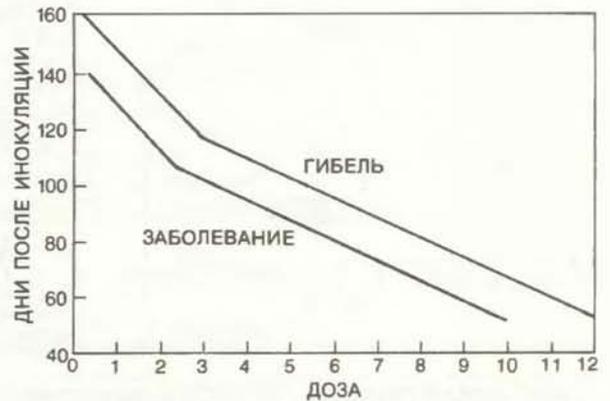
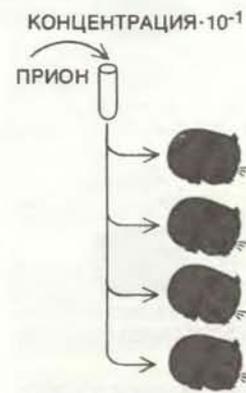
рактерны также при заболеваниях, для которых нет достаточных оснований предполагать прионовую инфекцию. Тельца появляются и при болезни Альцгеймера, а для нее даже не доказана возможность передачи.

Вывод о том, что в состав приона входит белок и этот белок необходим для проявления его инфекционности, следует прямо из нашей препаративной работы. Занимаясь очисткой, мы определяли также влияние различных химических реагентов на инфекционность приона. Выяснилось, что вещества, способные разрушать белки, уменьшали инфекционность приона, а не способные к этому не влияли на нее. Яркое доказательство тому дали опыты с протеиназами. Протеиназы — вы-

ТИТРОВАНИЕ ДО ТОЧКИ КОНЕЧНОГО РАЗВЕДЕНИЯ



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ИНКУБАЦИИ



БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЫ НА ИНФЕКЦИОННОСТЬ долго были единственным доступным способом измерения концентрации прионов скрепи в образце. По методу титрования до точки конечного разведения готовится 10 образцов, причем каждый последующий разбавляется в 10 раз по сравнению с предыдущим. Затем образцы вводят мышам — каждый шести животным — и затем, наблюдая за ними в течение года, следят за развитием симптомов скрепи. Максимальное разведение, еще способное вызвать болезнь, дает меру концентрации возбудителя скрепи в исходном образце. Метод определения времени инкубации сократил и сроки, и количество животных, необходимые для исследования образца. Он основан на том факте, что и промежуток времени от заражения до появления первых признаков неврологического расстройства, и период от заражения до гибели животного зависят от введенной дозы возбудителя. Для высокоочищенных образцов измерение времени между инокуляцией и началом болезни позволяет определить концентрацию возбудителя всего за 60 дней и нужны при этом только 4 хомяка.

сокоспецифичные ферменты, из всех биологических макромолекул они реагируют исключительно с белками. В ранних исследованиях с неочищенным материалом при протеиназной обра-

ботке получались неоднозначные результаты; когда же появилась возможность работать с обогащенными фракциями, было установлено, что протеиназы снижают инфекционность прио-

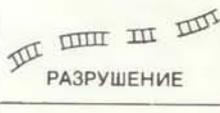
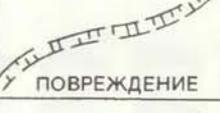
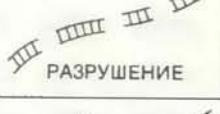
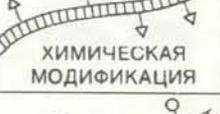
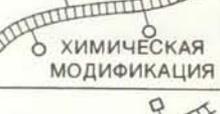
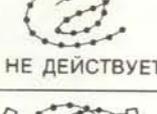
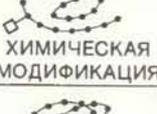
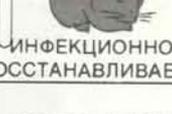
нов. Более того, стали ясны причины неудач на ранних этапах: ПрП гораздо устойчивее к протеиназной обработке, чем большинство клеточных белков. А значит, в сложной смеси со многими другими белками большая часть ферментативной активности протеиназы тратится на конкурирующие, отличные от ПрП субстраты. Мы воспользовались этим эффектом для очистки прионов: на одной из начальных стадий процедуры балластные белки перевариваются протеиназой, а прионовый белок практически не страдает.

Некоторые другие реагенты разрушают белок, расплетая цепь аминокислот, но не разрезая ее; о белке в таком случае говорят, что он денатурирует. Дeterгент додецилсульфат натрия (ДСН) относится к подобным реагентам; после кипячения в растворе ДСН прионы утрачивают инфекционность. Фенол, мочевины и некоторые соли тоже денатурирующие реагенты, и они уменьшают биологическую активность прионов.

Все упомянутые выше реакции необратимы. Другой реагент — диэтилпирикарбонат (ДЭП) — химически модифицирует белки так, что эта реакция может быть обращена в присутствии гидроксилamina. Как и протеиназы, ДЭП давал противоречивые результаты в ранних экспериментах с неочищенными смесями; впоследствии с чистыми фракциями мы показали, что он снижает титр инфекционного агента и что инфекционность восстанавливается после обработки гидроксилaminом.

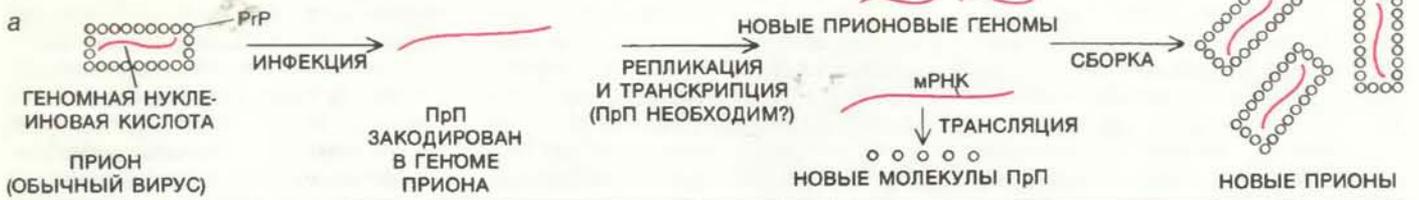
Предполагаемая мишень всех этих воздействий — ПрП. И все же не была исключена вероятность того, что ПрП не структурный компонент приона, а результат патологических изменений, происходящих при заражении скрепи. Чтобы доказать, что прион действительно состоит — по крайней мере частично — из молекул ПрП, мы предприняли большую серию экспериментов.

Первая линия доказательств состоит просто в том, что ПрП всегда обнаруживается в каждом образце с высоким титром прионов независимо от того, получен он после центрифугирования или после электрофореза, и даже если исходным материалом была ткань зараженного скрепи животного еще до появления у него патологических изменений. Концентрация ПрП прямо пропорциональна титру прионов. Скорость переваривания протеиназами одинакова для ПрП и прионов; при других экспериментальных процедурах, влияющих на титр прионов, одновременно изменяется концентрация ПрП. ДЭП, способный, как мы показали, инактивировать прионы, непосредственно связывается с ПрП. Наконец, в очищенном материале, обработанном протеиназой, ПрП — единственный белок, который удается обнаружить, т.е. в качестве основного компонента прио-

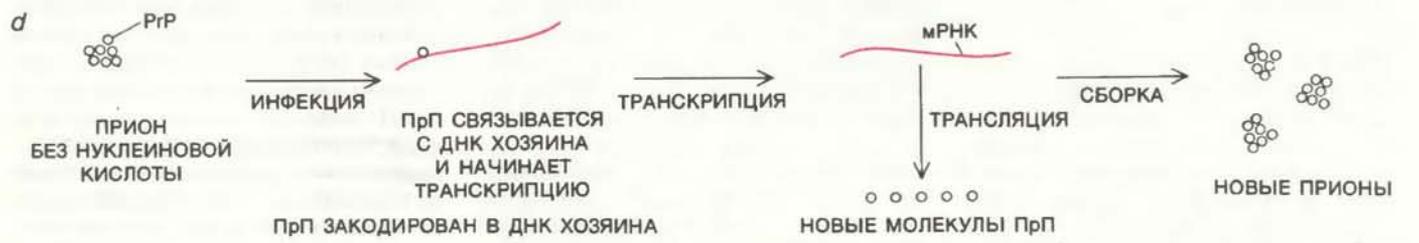
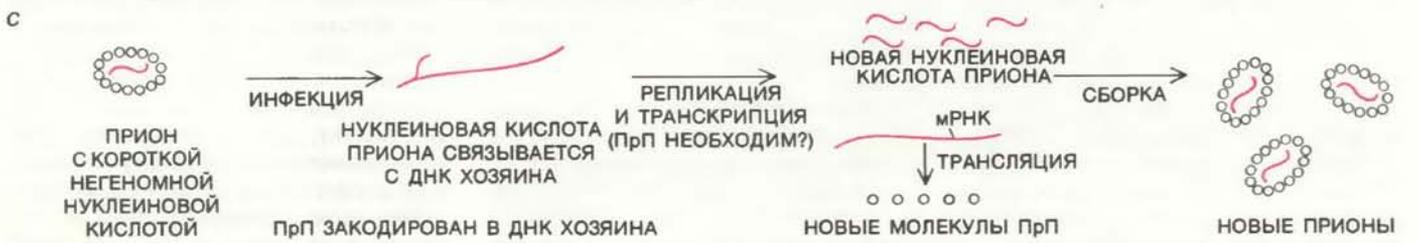
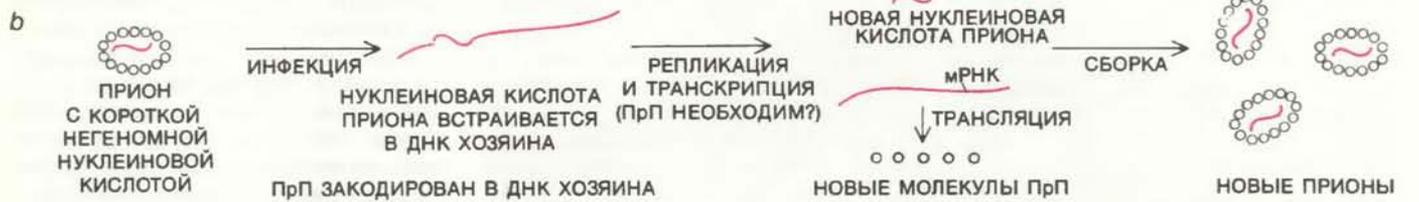
ВИД ОБРАБОТКИ	ДЕЙСТВИЕ НА НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ	ДЕЙСТВИЕ НА БЕЛКИ	ДЕЙСТВИЕ НА ПРИОНЫ
ПРОТЕИНАЗА	 НЕ ДЕЙСТВУЕТ	 РАЗРУШЕНИЕ	 ПОТЕРЯ ИНФЕКЦИОННОСТИ
ДОДЕЦИЛСУЛЬФАТ НАТРИЯ (ДСН)	 НЕ ДЕЙСТВУЕТ	 ДЕНАТУРАЦИЯ	 ПОТЕРЯ ИНФЕКЦИОННОСТИ
ФЕНОЛ	 НЕ ДЕЙСТВУЕТ	 ДЕНАТУРАЦИЯ	 ПОТЕРЯ ИНФЕКЦИОННОСТИ
НУКЛЕАЗА	 РАЗРУШЕНИЕ	 НЕ ДЕЙСТВУЕТ	 ИНФЕКЦИОННОСТЬ СОХРАНЯЕТСЯ
ОБЛУЧЕНИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОМ	 ПОВРЕЖДЕНИЕ	 НЕ ДЕЙСТВУЕТ	 ИНФЕКЦИОННОСТЬ СОХРАНЯЕТСЯ
ИОНЫ ЦИНКА	 РАЗРУШЕНИЕ	 НЕ ДЕЙСТВУЕТ	 ИНФЕКЦИОННОСТЬ СОХРАНЯЕТСЯ
ПСОРАЛЕНОВЫЕ ФОТОАДДУКТОРЫ	 ХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ	 НЕ ДЕЙСТВУЕТ	 ИНФЕКЦИОННОСТЬ СОХРАНЯЕТСЯ
ГИДРОКСИЛАМИН	 ХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ	 НЕ ДЕЙСТВУЕТ	 ИНФЕКЦИОННОСТЬ СОХРАНЯЕТСЯ
ДИЭТИЛПИРОКАРБОНАТ (ДЭП)	 ХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ	 ХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ	 ПОТЕРЯ ИНФЕКЦИОННОСТИ
ГИДРОКСИЛАМИН ПОСЛЕ ДЭП	 ИНАКТИВАЦИЯ	 МОДИФИКАЦИЯ СНИМАЕТСЯ	 ИНФЕКЦИОННОСТЬ ВОССТАНАВЛИВАЕТСЯ

ХИМИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ПРИОНОВ была выяснена с помощью методов обработки, при которых инактивируются либо белки, либо нуклеиновые кислоты. Протеиназы (это ферменты, которые разрезают связи между аминокислотами в белках) резко уменьшают инфекционность очищенного раствора прионов; так же действуют некоторые детергенты и другие реагенты, денатурирующие белок, раскручивая его цепь. Наоборот, нуклеазы (эти ферменты разрушают ДНК и РНК) не влияют на инфекционность прионов. Устойчивы прионы и к ионам цинка, и к ультрафиолетовому облучению, которые тоже действуют главным образом на нуклеиновые кислоты. Можно было бы думать, что в прионе нуклеиновая кислота защищена белковой оболочкой, однако псоралены и гидроксилamin, которые проникают сквозь оболочку многих вирусов, неэффективны. Диэтилпирикарбонат (ДЭП) модифицирует и белки, и нуклеиновые кислоты, причем в случае белков его эффект можно снять гидроксилaminом, а на нуклеиновые кислоты он действует необратимо. Прионы инактивируются ДЭП, но инфекционность восстанавливается гидроксилaminом. Все химические и физические данные говорят о том, что прионы состоят из белка и не содержат нуклеиновой кислоты; впрочем, пока нельзя исключить присутствия короткой ДНК или РНК.

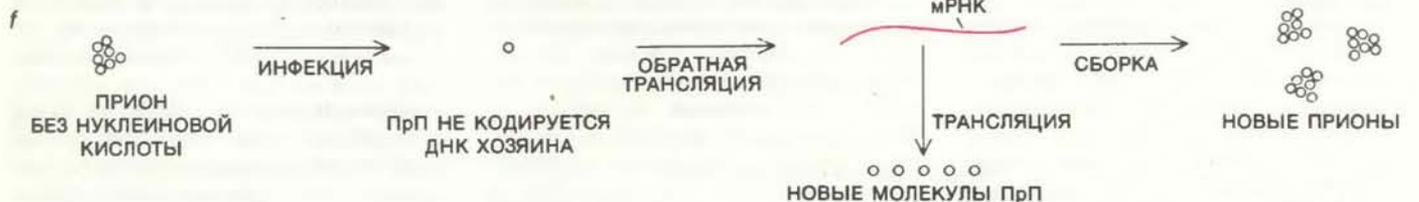
ГИПОТЕЗА: ПРИОН — ЭТО ВИРУС С ДНК- ИЛИ РНК-ГЕНОМОМ



ГИПОТЕЗА: БЕЛКИ ПРИОНА ЗАКОДИРОВАНЫ В ГЕНОМЕ ЖИВОТНОГО-ХОЗЯИНА



ГИПОТЕЗА: ПРИОНЫ БЕЛКИ НЕ КОДИРУЮТСЯ НУКЛЕИНОВОЙ КИСЛОТОЙ



ГИПОТЕТИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ РЕПЛИКАЦИИ ПРИОНОВ. Возможность того, что прион подобен обычному вирусу с ДНК- или РНК-геномом, кодирующим структуру PrP (a), кажется маловероятной. По другой гипотезе PrP закодирован в генах животного-хозяина. Если в прионе есть короткая нуклеиновая кислота, можно предположить, что она включается в геном клетки (b) или просто связывается с ее ДНК (c) и действует как промотор экспрессии генов PrP. Если же прион вообще не содержит нуклеиновой кислоты, сам

PrP мог бы стимулировать экспрессию гена, связываясь с ДНК хозяина (d). Тот факт, что для синтеза новых частиц прионов необходимы биологически активные молекулы PrP, объясним и тем, что PrP нужен для превращения какого-то предшественника в PrP (e). Существует предположение об обратной транскрипции: последовательность нуклеиновой кислоты строилась бы по последовательности аминокислот в PrP (f). Можно себе представить также, что PrP служит матрицей для своего собственного синтеза (g).

ны содержат только один белок.

Установив роль белка в инфекционном процессе, мы приступили к поискам нуклеиновой кислоты. Но все наши попытки были безуспешными. Еще лет 20 назад британские исследователи Т. Элпер, Д. Хэйг и М. Кларке облучали грубые гомогенаты зараженных скрепи тканей ультрафиолетовым светом и более коротковолновой ионизирующей радиацией. Такое облучение повреждает клетки и вирусы, разрушая их нуклеиновые кислоты; вероятность разрыва молекулы-мишени примерно пропорциональна ее размеру. В экспериментах Элпер и ее коллег получалось, что для инактивации возбудителя скрепи нужны очень высокие дозы радиации. Они сделали вывод, что возбудитель по размерам меньше, чем вирусы, и что в нем нет нуклеиновой кислоты. Тогда к их мнению отнеслись весьма скептически. Однако мы в сотрудничестве с Дж. Кливером из Медицинской школы Калифорнийского университета в Сан-Франциско повторили опыты Элпер, но уже с очищенным препаратом возбудителя и получили сходные результаты.

ВО МНОГИХ экспериментах мы пытались инактивировать прионы такими способами обработки, при которых на нуклеиновые кислоты оказывается химическое воздействие. Опыты с нуклеазой ставились полностью аналогично описанным выше опытам с протеиназой. Обработка несколькими различными нуклеазами, в том числе ферментами, разрушающими и ДНК и РНК, не вызвала никакого заметного уменьшения инфекционности прионов.

Одна из возможных претензий к подобным экспериментам состоит в том, что фермент может не иметь доступа к нуклеиновым кислотам; многие вирусы устойчивы к нуклеазам потому, что их ДНК или РНК защищена белковой оболочкой. В сотрудничестве с Дж. Хирстом из Калифорнийского

университета в Беркли мы обрабатывали прионы так называемыми псораленами, молекулы которых проходят сквозь белковую оболочку большинства вирусов; после облучения ультрафиолетом псоралены связываются с нуклеиновой кислотой и инактивируют ее. Однако и в этом случае мы не обнаружили уменьшения инфекционности прионов. Ионы цинка, которые катализируют разрывы РНК, также оказались неэффективными.

Еще одно доказательство дала наша работа с ДЭП. ДЭП инактивирует и белки и нуклеиновые кислоты, однако только у белков функциональная активность восстанавливается гидроксиламинном. После обработки гидроксиламинном мы наблюдали восстановление инфекционности, следовательно, ДЭП воздействовал не на нуклеиновую кислоту.

Совместно с Т. Динером из министерства сельского хозяйства США мы сравнили действие различных реагентов на прионы и вириды. И те и другие намного мельче вирусов, и высказывалось предположение, что прионы сходны с виридами по структуре, т.е. состоят из «голой» РНК. На самом деле эти две группы инфекционных агентов оказались противоположными по своим свойствам. При процедурах, в которых модифицируются белки, инактивируются прионы, но не вириды; когда же разрушались нуклеиновые кислоты, уничтожались вириды, но не прионы.

ВОПРОС о размерах прионов тоже связан с проблемой нуклеиновой кислоты. Отдельные прионы, по видимому, очень малы. Следовательно, и количество нуклеиновой кислоты, которое могло бы находиться в прионе, довольно ограничено. Исследования размера мишени, выполненные Элпер с коллегами, говорят о том, что инфекционная частица скрепи может иметь молекулярную массу от

60 тыс. до 150 тыс. Большая гетерогенность прионов затрудняет определение размера наименьшей инфекционной частицы более прямыми методами. Мы попробовали разрушать агрегаты прионов детергентами и другими химикатами, а затем определяли размер частиц путем центрифугирования в сахарозном градиенте, хроматографии, а также с помощью мембранных фильтров с порами известного размера. Все эти подходы дали результаты, соответствующие молекулярной массе от 50 тыс. до 100 тыс., однако каждый метод таит в себе и возможность ошибки. Учитывая множество источников неопределенности, сейчас можно сказать только, что мельчайшая инфекционная форма приона, видимо, в 100 раз меньше, чем самые маленькие вирусы.

Если молекулярная масса приона 50 тыс., то его диаметр равен примерно 5 нм. Допустим, он устроен подобно обычному вирусу. Тогда у него имеется сферической формы белковая оболочка, окружающая ядро из нуклеиновой кислоты. Толщина оболочки не может быть меньше примерно 1 нм; значит, внутри останется пространство для нуклеиновой кислоты длиной не более 12 нуклеотидов. Пределы для размера нуклеиновой кислоты приона можно также получить из других измерений. Устойчивость прионов к инактивации ультрафиолетовым облучением соответствует нуклеиновой кислоте, построенной из 12—50 нуклеотидов; опыты с псораленами не могут выявить нуклеиновую кислоту короче, чем из 40 нуклеотидов.

Неудачи поисков нуклеиновой кислоты в прионах не могут считаться доказательством того, что ее там нет. Может быть, она как-то скрыта окружающей структурой или присутствует в количестве, слишком незначительном, чтобы быть обнаруженной. Так или иначе есть основания полагать, что если нуклеиновая кислота и имеется в прионе, она не длиннее 50 нуклеотидов. Согласно стандартному генетическому коду, каждая аминокислота задается тремя нуклеотидами. Таким образом, в предполагаемом «геноме» приона может содержаться информация о белке всего из 10—15 аминокислот. Следует заметить, что молекулярная масса ПрП предполагает наличие примерно 250 аминокислот.

Есть лишь один способ окончательно доказать, что прион состоит только из белка: определить полную последовательность аминокислот в ПрП, синтезировать искусственный белок с той же последовательностью и продемонстрировать, что он оказывает такое же биологическое действие, как и природный белок. В последнее время перспектива подобного эксперимента неожиданно приблизилась благодаря тому, что стал доступен в большом ко-

ЦИКЛ СЕКВЕНТИРОВАНИЯ	N-КОНЦЕВЫЕ АМИНОКИСЛОТЫ														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ОСНОВНОЙ СИГНАЛ	Gly	Gln	Gly	Gly	Gly	Thr	His	Asn	Gln	Trp	Asn	Lys	Pro	Ser	Lys
МИНОРНЫЕ СИГНАЛЫ				Thr	His	Asn		Trp		Lys	Pro				
			Pro	Trp		Gln				Thr	His		Gln	Trp	
УСТАНОВЛЕННАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ АМИНОКИСЛОТ															
	Gly	Gln	Gly	Gly	Gly	Thr	His	Asn	Gln	Trp	Asn	Lys	Pro	Ser	Lys
				*	*	*	Thr	His	Asn	*	Trp	*	Lys	Pro	
*	*	Pro	Trp	*	Gln	*	*	*	Thr	His	*	Gln	Trp		

АМИНОКИСЛОТНАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ первых 15 аминокислот белка ПрП (с N-конца). Минорные последовательности можно совместить с основной; их наличие объясняется, скорее всего, возникновением «рваных концов» после обработки протеиназой в процессе выделения белка.

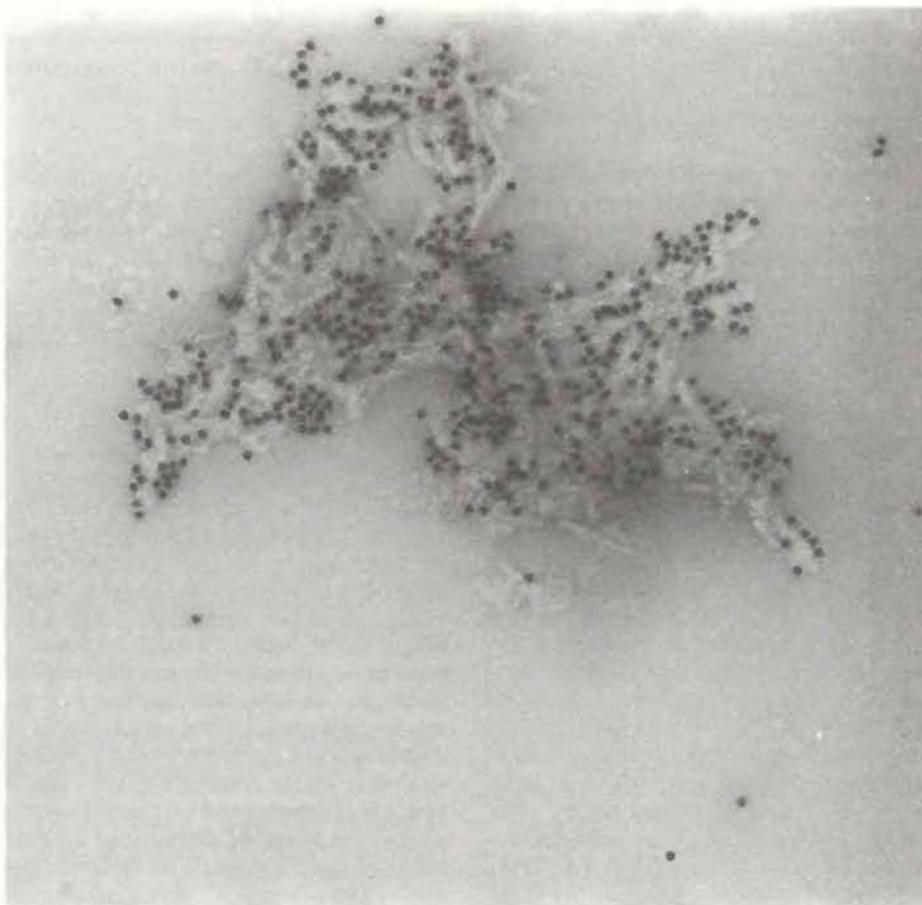
личестве чистый препарат ПрП. В сотрудничестве с Л. Худом (Калифорнийский технологический институт) и С. Кентом (фирма Molecular Genetics Inc.) мы определили первые 15 аминокислот ПрП.

Часть последовательности ПрП была установлена путем повторения серии химических обработок, в результате которой отрезается концевая аминокислота белка, так что звенья полипептидной цепи отделяются одно за другим. Примерно в половине циклов разрезания мы обнаружили по несколько аминокислот, одна из которых дает сильный основной сигнал, а остальные — более слабые. Сначала мы полагали, что минорные сигналы соответствуют несколько различающимся последовательностям аминокислот, т.е. существует спектр молекул ПрП. Но потом выяснилось, что эти последовательности отличаются от основной только в начале. Так, одну из них можно совместить с главной последовательностью, если ее продвинуть вперед на четыре аминокислотных звена, другую — если ее сместить на два положения назад. Эти вариации наблюдаются потому, что молекулы ПрП имеют «рваные концы», возможно, из-за обработки протеиназами во время очистки.

Знание даже малой части аминокислотной последовательности ПрП открыло нам два важных направления исследований. Во-первых, были синтезированы цепочки аминокислот, повторяющие известную последовательность ПрП; их можно было использовать в качестве антигенов. Антитела против синтетических молекул могут служить как для очистки прионов или определения их концентрации, так и для изучения их структуры. Во-вторых, были получены синтетические цепочки нуклеотидов, кодирующие известную часть аминокислотной последовательности ПрП. Они используются как зонды для поиска природной ДНК, кодирующей ПрП.

НЕСОМНЕННО, главная загадка прионов — это способ их репликации. В принципе возможны три типа механизмов репликации.

Первая возможность состоит в том, что прион, несмотря на все противоречивые тому данные, — это, по существу, обычный вирус с ДНК- или РНК-геномом, полностью кодирующим структуру прионного белка. Попав в клетку, нуклеиновая кислота приона должна была бы транслироваться с образованием молекул информационной РНК, которые служили бы матрицами синтеза прионовых белков. Тогда тот факт, что для заражения скрypi необходим белок приона, можно объяснить, отнеся прион к вирусам с «негативным геномом», у которых ну-



СКОПЛЕНИЕ ПРИОНОВЫХ ПАЛОЧЕК. С палочками связались молекулы антител, имеющие специфическое сродство к ПрП. Антитела мечены бусинками коллоидного золота, которые здесь выглядят, как яркие черные пятнышки. По строению такие скопления палочек очень похожи на амилоидоподобные тельца. (Электронная микрофотография; увеличение $\times 100\,000$.)

клеиновая кислота сама по себе неинфекционна и необходим еще вирусспецифический фермент для транскрипции вирусной нуклеиновой кислоты в матричную РНК. Такая ситуация кажется маловероятной в свете той информации о химической и физической структуре прионов, которую мы сейчас имеем.

«Вирусная» гипотеза в известном смысле наиболее консервативна; вторая же, самая радикальная идея состоит в том, что аминокислоты в ПрП каким-то образом определяют собственную последовательность во время репликации приона. Это могло бы происходить не прямо, а посредством «обратной трансляции» белка с образованием РНК или ДНК, по которым затем клеточный аппарат обычным путем производил бы новый белок. Такой процесс никто еще не наблюдал; он противоречит центральной догме молекулярной биологии, которая утверждает, что поток информации в клетке всегда направлен от нуклеотидов к белкам. Можно предположить, что есть механизм, при котором аминокислотная последовательность ПрП служит непосредственно матрицей для создания новой белковой молекулы. Но до сих пор

управляемый белком синтез белка не был обнаружен, неизвестны и ферменты, способные строить сложный белок таким способом.

Возможные механизмы репликации третьего типа кажутся мне наиболее правдоподобными. Суть этих схем в том, что существует состоящий из ДНК ген, который кодирует аминокислотную последовательность прионного белка, но находится он не в прионе, а в нормальном геноме того или иного млекопитающего. При заражении прионами этот ген как-то активируется или, может быть, изменяется.

Если прион и в самом деле содержит небольшую нуклеиновую кислоту, она могла бы служить для запуска активации гена. Представим, что эта гипотетическая маленькая нуклеиновая кислота встраивается в хромосому клеткохозяина «вверх по течению» от гена ПрП, или, другими словами, прямо перед точкой, где начинается транскрипция гена. Тогда внедрившаяся последовательность функционировала бы как промотор либо как усилитель экспрессии. Если же прион состоит исключительно из белка, с точечной ДНК в участке, контролирующем транскрип-

цию гена ПрП, мог бы связываться сам ПрП. Большинство белков, связывающихся с ДНК, подавляют экспрессию генов, однако и явление активации белком своего собственного синтеза имеет прецеденты.

Одно из возражений против гипотезы о кодировании ПрП геном клетки-хозяина основано на том, что существуют, по-видимому, различные «штампы» прионов. Если репликация возбудителя болезни — это только активация клеточного гена, то как животные одной и той же генетической линии могут быть хозяевами разных прионов? Любой предлагаемый сейчас ответ по-прежнему будет голословным; заметим лишь, что такую ситуацию можно объяснить, скажем, перестройкой генов. Например, при синтезе иммуноглобулинов перестановка генов ведет к огромному разнообразию белков.

Вопрос о том, есть ли ген ПрП у животного-хозяина, скорее всего, будет решен в ближайшие месяцы. Зная часть последовательности аминокислот ПрП, мы смогли получить ДНК с последовательностью нуклеотидов, комплементарной той, которая кодирует известный фрагмент белка. Синтезированная ДНК будет связываться с любой комплементарной ей ДНК, т.е. может служить зондом для поисков гена ПрП в клетке. Если белки прионов действительно кодируются генами клетки-хозяина, наверное, правильнее будет говорить о синтезе новых прионов как об амплификации, а не как о репликации.

В СВОЕ время с помощью методов электронной микроскопии ученые очень многое узнали о структуре и сборке вирусных частиц. Поэтому исследователи стремились применить их и для поисков специфической частицы, ассоциированной с инфекцией скрепи. В срезах и экстрактах ткани были описаны сферические и цилиндрические частицы. Х. Наранг обнаружил в срезах зараженной скрепи мозговой ткани палочковидные частицы и установил, что они окрашиваются веществами, специфически связывающимися с сахарами. Эти данные особенно интересны, так как известно, что ПрП — это гликопротеин и что при агрегации он образует палочки. Г. Вишневецки и его коллеги из Медицинского центра Университета шт. Нью-Йорк наблюдали длинные фибриллы в ткани мозга при скрепи и при болезни Крейцфельда — Якоба. Они полагают, что фибриллы можно отличить от амилоида, что они представляют собой нитевидный вирус животных, вызывающий скрепи, и являются удлиненной формой прионовых палочек.

Недавно о прионовых палочках получены новые сведения, говорящие о

биологическом и медицинском значении прионов. Палочки можно обнаружить в препаратах, состоящих из одного белка, а именно ПрП; значит, они построены в основном из молекул ПрП. Последние наши работы с антителами к ПрП подкрепили этот вывод: антитела специфически связывались с палочками. Судя по электронным микрофотографиям, палочки обычно имеют диаметр 10—20 нм и длину 100—200 нм; стало быть, в одной палочке примерно 1000 молекул ПрП, упакованных, вероятно, наподобие кристалла.

Может быть, самая важная и интригующая особенность прионовых палочек — их сходство с амилоидом. Стандартный способ идентификации амилоида — окраска среза ткани красителем конго красным. Амилоид связывает краситель и на цветных световых микрофотографиях выглядит красным. Когда же окрашенный амилоид наблюдают через поляризационные фильтры, проявляется его оптическое свойство, называемое двойным лучепреломлением: цвет амилоида меняется от зеленого до золотистого в зависимости от ориентации фильтров. Вместе с Дж. Гленнером из Национального института артрита, нарушений обмена веществ и заболеваний пищеварительного тракта мы окрасили конгломераты прионовых палочек конго красным и наблюдали их под микроскопом. При обычном освещении они были красными, а между поляризационными фильтрами получалось зелено-золотистое двойное лучепреломление.

Более 60 лет амилоидоподобные тельца в центральной нервной системе считались скоплениями ненужных организму веществ, образовавшихся в результате какого-то патологического процесса. На основании наших данных можно предложить совсем другую интерпретацию: такие тельца — это агрегаты прионов, находящихся в почти кристаллическом состоянии. Возможно, они аналогичны характерным для многих вирусных инфекций тельцам включений, которые представляют собой кристаллические скопления вирусных частиц.

С помощью антител к ПрП мы показали, что амилоидоподобные тельца в мозгу хомяков, зараженных скрепи, содержат прионовые белки. Срезы мозга были обработаны сначала антителами, а потом — конго красным. Те же самые структуры, что связывали антитела к ПрП, окрашивались конго и проявляли зелено-золотистое двойное лучепреломление. В сотрудничестве с Д. Кингсбери из Калифорнийского университета в Беркли и с Биологической лабораторией ВМС США мы также использовали антитела к ПрП скрепи для анализа прионовых белков, появляющихся при болезни Крейцфельд-

та—Якоба. И у животных, и у людей, пораженных возбудителем болезни Крейцфельда—Якоба, в мозгу были обнаружены белки, подобные ПрП скрепи. Эти белки при агрегации тоже образовывали палочковидные частицы, сходные с амилоидом.

Амилоидоподобные тельца всегда наблюдаются при болезни Альцгеймера; одновременно с ростом их числа усиливается расстройство умственных способностей. Гипотеза о том, что болезнь Альцгеймера вызывается прионовой инфекцией, очень интересна, однако пока нет достоверных данных о ее заразности. Это заболевание не передается при личном контакте. Гайдушек и Гиббс неоднократно пытались заразить болезнь Альцгеймера экспериментальных животных путем прививки, однако безуспешно, за исключением всего двух случаев, результаты которых не удалось воспроизвести.

Если причиной болезни Альцгеймера действительно являются прионы, можно предложить как минимум две гипотезы, объясняющие неудачи опытов по заражению. Во-первых, возможно, что инфекционный агент не способен размножаться в тех видах животных, которых выбирали для экспериментов. Во-вторых, инкубационный период может быть слишком велик для того, чтобы обнаружить болезнь, например превосходит продолжительность жизни животных. Вторая гипотеза согласуется с данными о том, что инкубационный период куру и болезни Крейцфельда — Якоба может длиться два или три десятилетия; следует также заметить, что болезнь Альцгеймера поражает преимущественно старых людей и частота заболевания растет с возрастом. Конечно, не исключена и возможность того, что болезнь Альцгеймера вызывается вовсе не инфекционными агентами — прионами или какими-нибудь иными; предложено много других гипотетических механизмов заболевания.

Тот факт, что болезнь Крейцфельда—Якоба заразна, ставит ряд вопросов другого рода. В лабораторных экспериментах заражение удается, это не вызывает сомнений. Неясно, однако, как инфекция сохраняется в естественных условиях. Болезнь Крейцфельда—Якоба встречается во всем мире одинаково редко: примерно у одного человека на миллион, но такой частоты, по-видимому, недостаточно для поддержания непрерывной цепи переноса инфекции от человека к человеку.

Возможно, эти проблемы прояснятся, когда биохимия прионов будет изучена более подробно. Если прион действительно состоит из одного белка и является продуктом нормального гена организма-хозяина, придется пересмотреть само понятие инфекции.

SCIENTIFIC
AMERICAN

ОКТАБРЬ 1934 г. В начале августа д-р Уильям Биб и его помощник Отис Бартон побили все рекорды глубоководных погружений. Недалеко от Бермудских островов они опустились в батисфере в океан на глубину 3028 футов. Знаменитая подводная камера-шар на этот раз была снабжена иллюминаторами, сделанными из плавленного кварца. Стекла прекрасно выдержали погружение и несомненно могут быть использованы и для погружений на еще большие глубины, которых Биб и Бартон собираются вскоре достичь. Д-р Биб собирается изучать представителей животного мира, огромное количество которых обитает на глубине в полмили в районе Бермудских островов. Из своей батисферы д-р Биб сможет фотографировать этих животных.

По последним сведениям, в 1933 г. произошла 31 тыс. автомобильных катастроф — на 5% больше, чем в 1932 г. Нет надежды, что мы когда-нибудь научимся управлять человеческими эмоциями, как причиной тех несчастных случаев, которые происходят по неосторожности. Нельзя надеяться и на то, что безопасность водителей можно обеспечить, вводя новые правила, так как последние весьма часто нарушаются. Но есть одна причина катастроф, которая может и должна быть устранена повсеместно: исследования показывают, что на трассах с хорошим освещением несчастных случаев происходит меньше, чем там, где освещение плохое.

Ртуть, жидкий металл, который вызывал у нас в детстве столько восторгов, можно использовать для изготовления нового источника света, который, как ожидается, станет широко применяться для искусственного освещения. Этот новый источник называется ртутной лампой высокого давления. В ней использован тот же принцип, что и в натриевых лампах, изобретенных в 1917 г.: электрический разряд в колбе, наполненной парами металла. В новой лампе помещенная внутри запаянной колбы ртуть испаряется под действием электрической дуги. При этом давление поддерживается относительно высоким благодаря высокой рабочей температуре. Ртутная лампа дает светло-голубой свет, а не зеленый, который испускают лампы низкого давления.

На заседании Американской ассоциации содействия развитию науки выступил д-р Уолтер Моссоер из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе. Он сделал доклад о результатах опытов, проведенных им с целью проверки широко распространенного мнения о том, что змеи передвигаются с невероятно большой скоростью. Моссоер пришел к выводу, что человек может двигаться с большей скоростью, чем самая быстрая змея. Используя секундомер, он установил, что максимальная скорость для змеи не превышает $3\frac{1}{2}$ мили в час, что приблизительно равно скорости человека, пробегающего 100 м за 67 с. Испытания проводились на семи видах змей, обитающих в Северной Америке. Среди них самым быстрым оказался красный полоз, а самым медлительным — калифорнийский питон.

SCIENTIFIC AMERICAN

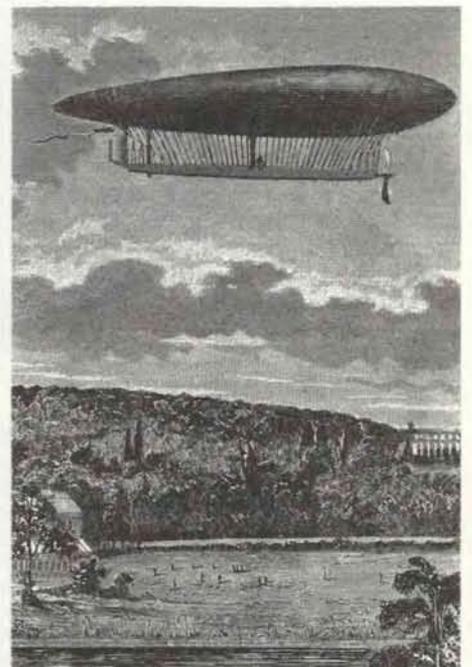
ОКТАБРЬ 1884 г. Проект постройки в Париже железной дороги, представленный на рассмотрение Генеральному совету по строительству мостов и дорог и Муниципальному совету столицы, был принят правительством и стал предметом всеобщего интереса. В соответствии с проектом большая часть железной дороги будет проложена под землей. Городские власти согласились не брать деньги за проведение земляных работ на улицах столицы. Эти поощрительные меры позволят сократить расходы на строительные работы до суммы, нужной для прокладки длинного туннеля с двумя путями. Пассажиры будут опускаться на 8 м вглубь и ехать под землей, как они едут, скажем, через туннель Сен-Готард.

В США, вероятно, телеграфная связь развивается быстрее, чем в любой другой стране. В 1882 г. число телеграфных станций здесь составляло 12 917, а общее количество переданных за год телеграмм — 40 581 177. В Великобритании и Ирландии в том же году было 5747 телеграфных станций, а число отправленных за год телеграмм составило 32 965 029. В Германии находилось 10 803 станции, а телеграфных отправок было передано 18 362 173.

Инженеры фирмы International Bell Telephone Company в экспериментальных целях провели несколько сеансов телефонной связи на большое расстояние между двумя городами, которые

отстоят друг от друга на 3700 км, или 2465 миль. Слышимость была удовлетворительной, несмотря на высокий уровень помех. Необходимо добавить, что сеансы связи проводились в ночное время, когда телеграфные линии были свободны.

М. Маньон направил во Французскую академию наук доклад, в котором констатируется, что наконец-то построен управляемый воздушный шар, автором разработки которого является инженер Шарль Ренар. Сложность заключалась в размещении двигателя непосредственно на борту летательного аппарата. При этом установка не должна быть слишком тяжелой, чтобы аппарат во время полета не терял устойчивость. Капитан Ренар отказался от идеи использовать паровой двигатель и предпочел электричество. Энергия, накопленная в аккумуляторах, позволяла двигателю мощностью 10 л.с. работать на протяжении нескольких часов. Именно с такой установкой на борту и поднялся недавно в воздух новый летательный аппарат. Поднявшись в Медоне, аппарат проследовал до Вилльбона, где, к удивлению наблюдателей, описал полукруг и, несмотря на ощутимое сопротивление легкого ветра, вернулся к месту, откуда стартовал. Эксперимент был повторен с тем же результатом. После полета аэронавт заявил, что пункты, где аппарат должен был останавливаться и поворачивать обратно к месту старта, были точно определены заранее.



Управляемый воздушный аппарат

Сейсмическая томография

Новый метод анализа сейсмических волн в их совокупности позволяет картировать мантию Земли в трех измерениях.

Такие карты проливают свет на структуру конвективных потоков, приводящих в движение плиты земной коры

ДОН Л. АНДЕРСОН, АДАМ М. ДЗЕВОНСКИЙ

ВНЕШНИЙ слой Земли, литосфера, состоит из полутора десятков жестких несущих кору плит, которые движутся по подстилающей мантии, перестраивая континенты, образуя горные цепи, создавая и уничтожая океаны. Что вызывает эту постоянную перестройку? В конечном счете движущей силой является конвективная циркуляция мантии. Мантия — это твердое тело, разогретое, однако, настолько, что за геологическое время деформируется и течет. Новая литосфера формируется в срединно-океанических хребтах, где поднимающаяся горячая магма внедряется между расходящимися плитами. Поступающее к поверхности вещество распространяется в обе стороны от хребта и затем погружается обратно в мантию в океанических желобах, где сталкиваются две плиты. Хотя эта модель и является общепринятой, происхождение поднимающегося вещества и судьба столкнувшихся плит — как и вообще детали мантийных течений — остаются пока неизвестными и недоступными для изучения методами «классической» геофизики.

За последние несколько лет получила развитие так называемая сейсмическая томография — новый метод анализа, дающий надежду на существенное обогащение наших знаний о внутреннем строении Земли, в том числе и о картине течений в мантии. Как и ее медицинский аналог — томография с компьютерным обеспечением, — сейсмическая томография комбинирует данные регистрации множества волн, распространяющихся по взаимно пересекающимся трассам, и выявляет трехмерную структуру среды, через которую прошли волны. Для медицинской томографии средой является человеческое тело, а источником волн — генератор рентгеновского излучения. Наибольшую информацию о недрах Земли несут сейсмические волны, возбуждаемые землетрясениями. Проходя сквозь Землю, они затухают незначительно: землетрясение умеренной силы порождает волны, которые фиксируются сейсмографами в любой точке Земли.

Сейсмические исследования, проведенные в последние 70 лет, дали обширные сведения о радиальном строении Земли: было установлено существование коры, верхней и нижней мантии, внешнего и внутреннего ядра. Томография добавляет к этой модели новые важные подробности. Определяя изменения основных свойств вещества, таких, как температура и плотность, по широте и долготе, а также с глубиной, томография впервые рисует трехмерный образ мантии.

ЧТОБЫ понять, как работает сейсмическая томография, надо сначала усвоить некоторые сведения о сейсмических волнах и их поведении. Земля передает сейсмическое возмущение, поскольку состоит из упругого вещества. Это значит, что, если какой-либо объем испытывает напряжение, т.е. находится под воздействием сжатия или усилия сдвига, внутренние силы стремятся вернуть этот объем в его первоначальное состояние. Сейсмическая волна — это просто перемещающаяся деформация, вызванная сбросом напряжения в очаге землетрясения. Чем сильнее сопротивление процессу деформации в некоторой области Земли, тем выше скорость сейсмических волн, идущих через эту область.

Каждое землетрясение излучает, во первых, волны, которые пронизывают объем Земли, и, во-вторых, волны, бегущие по ее поверхности. Объемные волны делятся на два типа — продольные и поперечные. Продольная волна похожа на звуковую тем, что представляется чередующимися сжатиями и разрежениями вещества в направлении своего распространения. Поскольку землетрясения создаются проскальзываниями, или сдвигами, вдоль разломов, они порождают также поперечные волны, которые похожи на электромагнитные тем, что колебания в них происходят в поперечном направлении — перпендикулярно направлению их распространения. Подобно электромагнитным волнам, поперечные волны могут быть поляризованы, это означает, что колебания происхо-

дят в одном-единственном поперечном направлении.

Поверхностные волны также разделяются на два основных типа. Волны первого типа, или волны Рэлея, связаны как с продольными, так и с поперечными колебаниями; они заставляют частицы среды двигаться по эллиптическим траекториям в вертикальной плоскости, проходящей через очаг землетрясения и точку регистрации. В отличие от них волны второго типа, или волны Лява, представляют собой поляризованные поперечные волны, в которых частицы колеблются в горизонтальной плоскости, параллельно земной поверхности. Хотя волны Рэлея и волны Лява распространяются вдоль поверхности Земли по дугам большого круга, они захватывают глубины мантии и поэтому несут информацию о ее строении.

Скорость поперечных волн зависит от жесткости среды, которая определяет сопротивление сдвиговым напряжениям. Жидкость, к примеру, относится к нежестким средам и потому не передает поперечные волны; именно так было установлено, что земное ядро жидкое. У объемной продольной волны и у продольной компоненты в волне Рэлея скорость зависит как от жесткости, так и от другой характеристики упругости среды — сжимаемости. (Подобным образом звук, т.е. возмущение сжатия, быстрее распространяется в воде, чем в воздухе, который имеет большую сжимаемость, и еще быстрее во льду, который представляет собой малосжимаемую среду.)

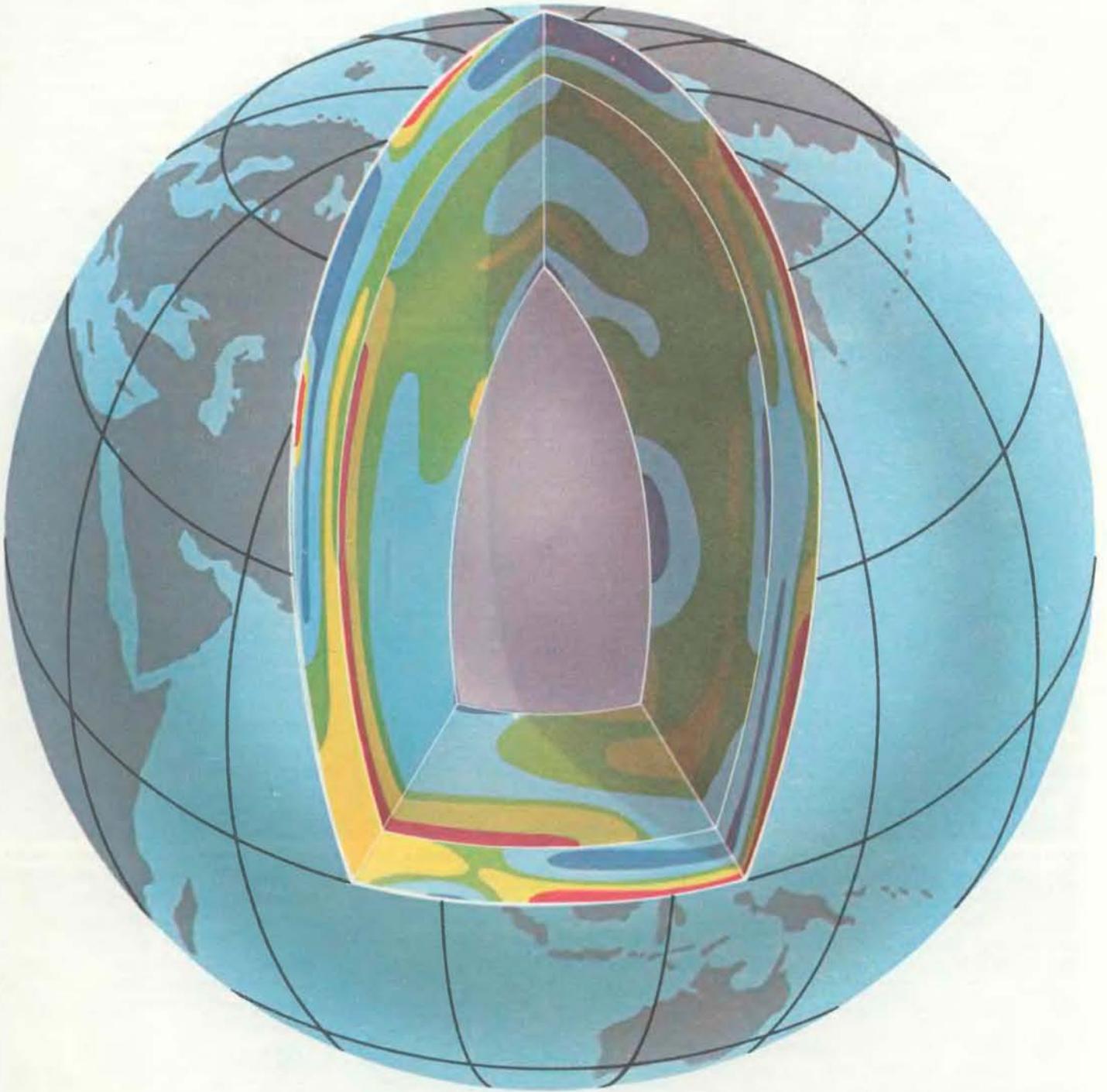
Холодное вещество, как правило, имеет большую жесткость и меньшую сжимаемость, чем горячее, поэтому сейсмические волны при прочих равных условиях распространяются через холодные области земного шара быстрее, чем через горячие. Горячее вещество имеет меньшую плотность и обычно связано с восходящими потоками в мантии; в то же время холодное вещество погружается, так как оно плотнее, чем окружающее вещество. Скорость волн зависит также от микроструктуры вещества, т.е. от ориен-

тации в нем кристаллов. Кристаллы минералов, образующих мантию, имеют три оси, для каждой из которых характерна своя степень жесткости. Наиболее «жесткая» ось является «быст-

рой». Если в обширной области «быстрые» оси кристаллов выстраиваются в одном направлении, скажем по направлению течения в мантии, то волны, у которых направление поляризации

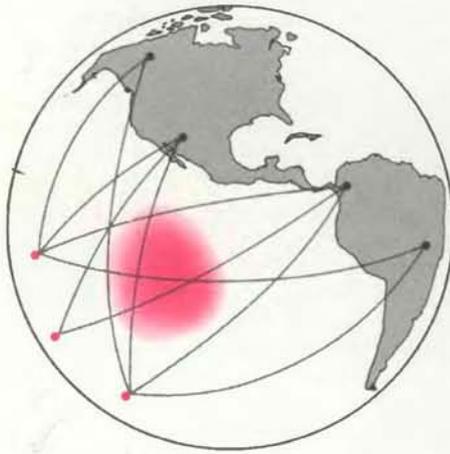
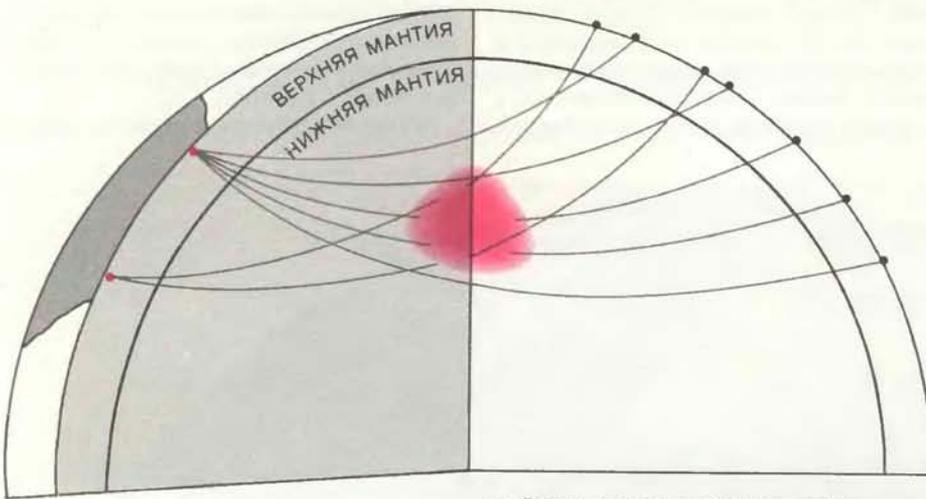
(ориентация колебаний) или направление распространения совпадает с ориентацией «быстрых» осей, пересекает эту область быстрее.

Скорость сейсмических волн содер-



МОДЕЛЬ СТРОЕНИЯ ЗЕМЛИ, построенная методом сейсмической томографии, существенно богаче в деталях, чем модель, построенная обычными сейсмологическими методами. Прежние исследования дали лишь средние величины сейсмических скоростей на разных глубинах. Границы между верхней и нижней мантией на глубине 670 км и между мантией и ядром на глубине 2900 км (*белые линии*) отмечают уровни, где сейсмические скорости резко меняются с глубиной. В отличие от прежних методов сейсмическая томография выявляет горизонтальные вариации скоростей, а по ним — горизонтальные вариации температуры и давления в мантии. На рисунке изображены вертикальные разрезы через мантию по трем дугам большого круга: вдоль экватора, от Гудзонова залива через Центральную Азию и че-

рез западную часть Тихого океана. Красным и желтым цветами показаны горячие зоны подъема вещества, где сейсмические скорости аномально малы; синие области — холодные, плотные и «быстрые»; зеленый цвет соответствует средним для данной глубины скоростям. Островные дуги, например Филиппины и Индонезия, проявляются как горячие зоны, подстилаемые холодным веществом верхней мантии; эти вулканические области относятся к зонам субдукции, где холодные опускающиеся плиты выжимают наверх горячее мантийное вещество. Протяженные «быстрые» аномалии обнаружены и возле ядра. В основу разрезов положены данные исследований, проведенных в Гарвардском университете; они построены при участии Р. Клэйтона из Калифорнийского технологического института.



СЕЙСМИЧЕСКАЯ ТОМОГРАФИЯ выделяет аномалии скоростей в мантии (показаны цветом), комбинируя информацию о многих сейсмических волнах, распространяющихся от очагов землетрясений (цветные точки) к сейсмическим станциям (черные точки) вдоль взаимно пересекающихся лучей. Волны, проходящие мимо аномалии, доходят до сейсмической станции за некоторое расчетное время, соответствующее расстоянию от станции до эпицентра. Волны, проходящие через зону аномалии, увеличивают или уменьшают свою скорость. Нижняя мантия картируется по объемным волнам, «ныряющим» глубоко в Землю (верхний рисунок). Длиннопериодные поверхностные волны (нижний рисунок), захватывающие значительную толщю, обеспечивают перекрытие верхней мантии.

жит, таким образом, косвенную информацию о характере течения в мантии. Однако извлечь эту информацию нелегко. Скорость вдоль единственного луча, вычисленная по времени прихода волны на сейсмическую станцию, представляет собой среднюю по всему лучу величину и не дает сведений о том, где волна замедляла или ускоряла свое движение. Более того, осреднение происходит обычно по очень большому расстоянию, поскольку на больших просторах Земли и в особенности в океанах отсутствуют сейсмические станции, а землетрясения в основном происходят на границах плит. Чтобы получить данные о плотности и температуре внутри Земли, необходимо комбинировать данные для множества лучей; чем их больше — тем лучше.

Применение томографии позволило построить значительно более детальную картину распределения сейсмических скоростей в Земле. Основой для этого стало значительное расширение базы сейсмических данных, которое идет в двух направлениях. В последние семь лет мировая система чувствительных цифровых сейсмографов регистрировала длиннопериодные сейсмические волны в форме доступной для ЭВМ — на магнитных лентах. В это же время

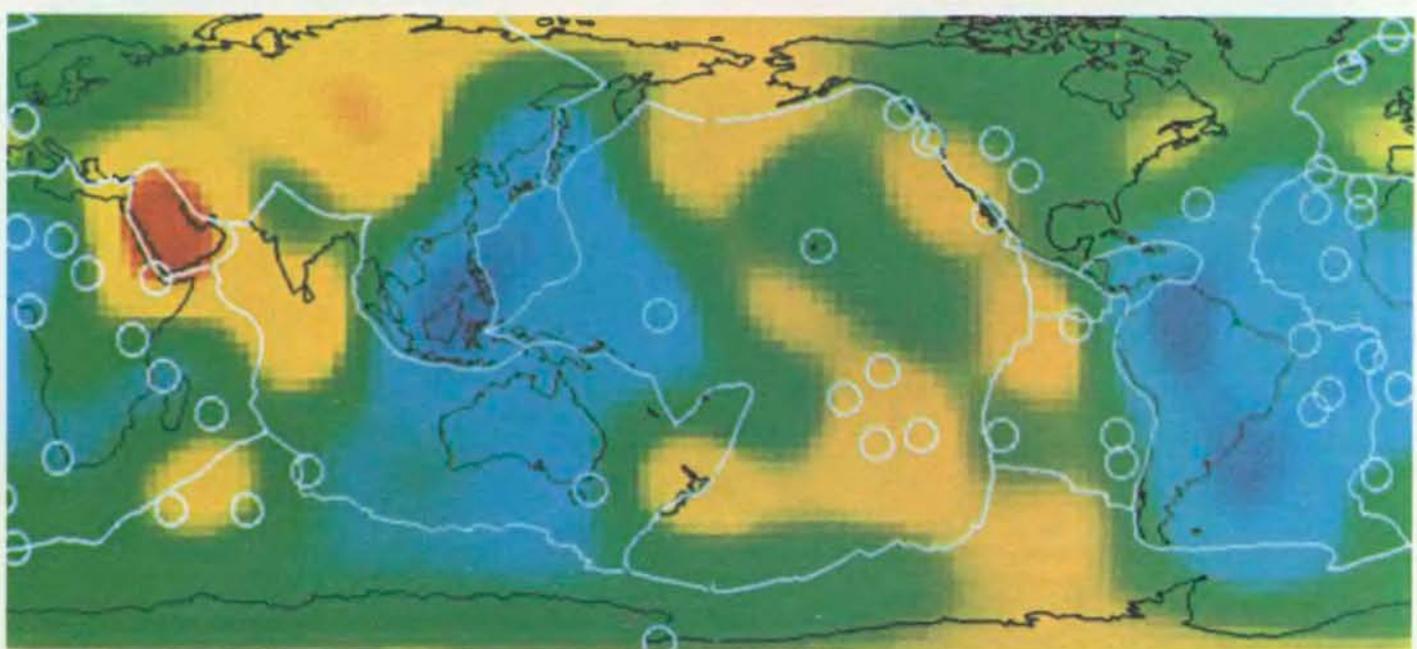
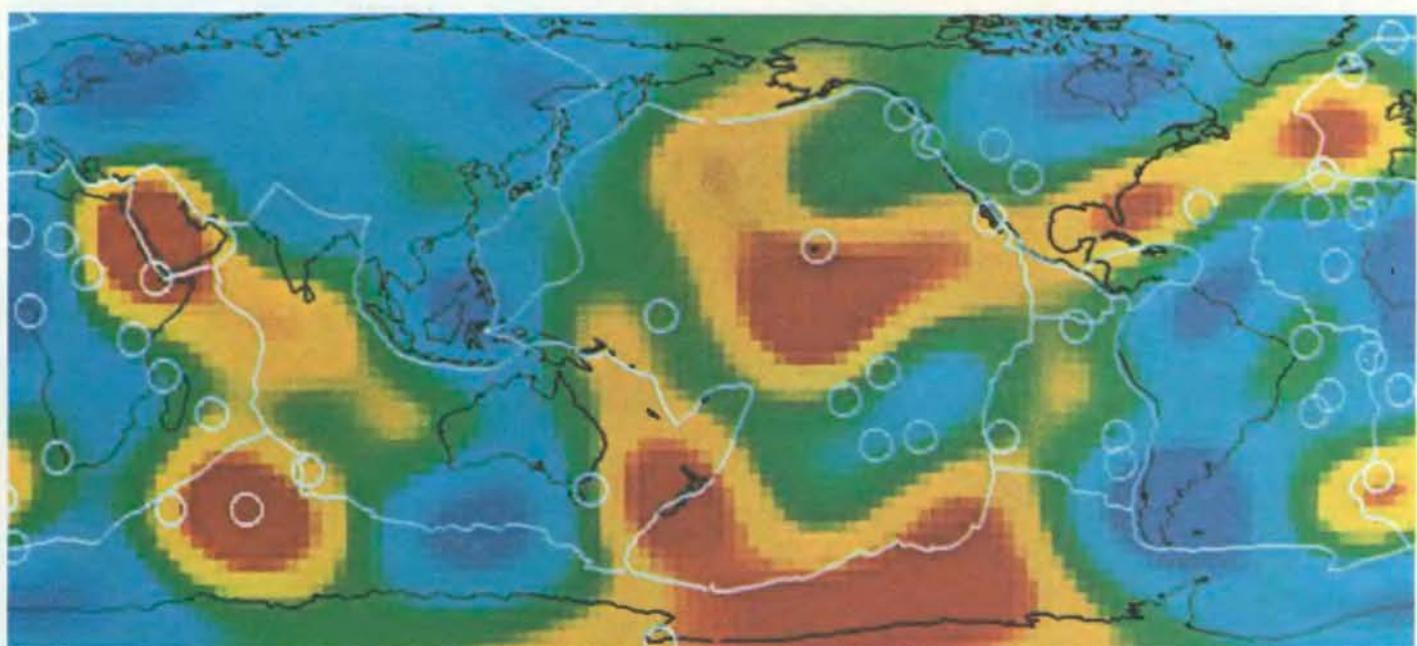
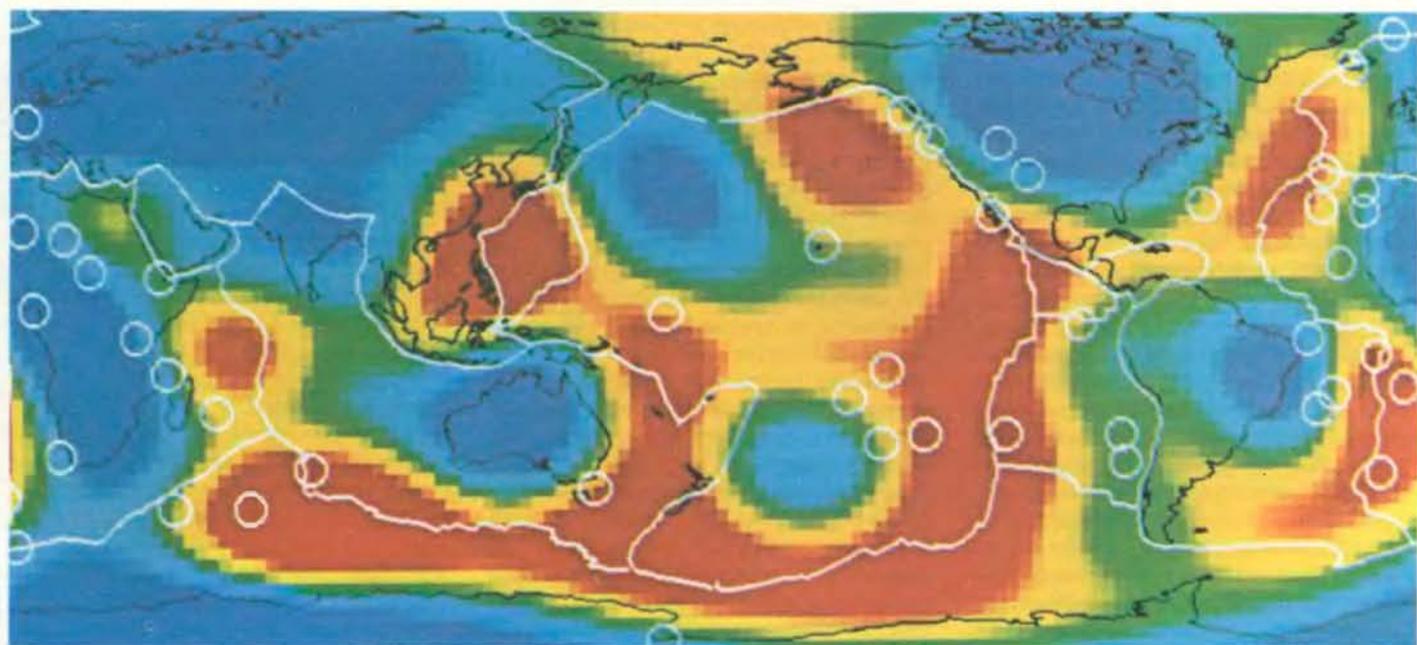
Международный сейсмологический центр (МСЦ), расположенный в окрестностях Лондона, накапливал сведения, полученные на тысяче с лишним обычных сейсмических станций во всем мире. На большинстве этих станций плохо регистрируются поверхностные волны; объемные волны с существенно меньшими периодами колебаний регистрируются лучше. «Побочным» продуктом деятельности МСЦ, занятого определением точного положения эпицентров примерно 10 тыс. землетрясений в год, стали данные о временах прихода сейсмических волн

ТОМОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ дают значения скоростей сдвиговых волн на трех уровнях в верхней мантии. На глубине 150 км (верхний рисунок) еще проявляются поверхностные тектонические структуры. Срединные хребты в Атлантическом океане, в восточной части Тихого океана и в южной части Индийского океана соответствуют низким значениям сейсмической скорости; это области, где горячая мантия поднимается к поверхности. Низкие значения скоростей отмечаются также в вулканических областях под зонами субдукции в западной и юго-западной частях Тихого океана. На глубине 350 км (средний рисунок) корреляция между вариациями сейсмических скоростей и поверхностными структурами выражена не так сильно, однако холодная, погружающаяся под континент тихоокеанская литосфера обнаруживается под западной частью Тихого океана и под Южной Америкой по высоким значениям скоростей. Эти устойчивые аномалии еще лучше выражены на глубине 550 км (нижний рисунок). Наиболее густой цвет отвечает 2%-ному отклонению от средних значений сейсмических скоростей для данной глубины (зеленый цвет). Белыми линиями и кружками показаны границы плит и «горячие точки» на поверхности. Карта построена по результатам исследований Дж. Вудхауза и одного из авторов (Дзевонского), проведенных в Гарварде.

для нескольких миллионов лучей, идущих от очагов к сейсмическим станциям.

Специалисты по медицинской томографии имеют преимущество перед сейсмологами, поскольку управляют источником радиации так же, как и приемной аппаратурой, однако методика анализа у тех и других в принципе одинакова. В медицинской томографии рентгеновские лучи используются для картирования вариаций плотности в теле человека, что позволяет обрисовать внутренние органы и другие особенности его строения. Рентгеновские лучи сильнее поглощаются в плотных участках тела, и эти участки выглядят на снимке как темные. На обычной рентгенограмме часто трудно различить перекрывающиеся друг друга детали строения, особенно если они близки по плотности; томография преодолевает эти трудности, комбинируя математическим путем информацию по многим пучкам рентгеновских лучей, посылаемым через тело в различных направлениях. В результате получается ряд горизонтальных срезов; располагая их один над другим (как полочки в этажерке), можно получить трехмерную картину внутреннего строения тела.

При томографических исследованиях недр Земли измеряется не степень поглощения сейсмической волны, а их скорость; в результате получаются карты распределения «медленных» и «быстрых» областей в мантии. Эти аномалии определяются так же, как и в медицинской томографии — в результате сопоставления информации по многим пересекающимся лучам. Если скорость волны вдоль некоторого луча отклоняется от ожидаемой величины (взятой по сейсмологическим таблицам, которые содержат сведения о среднем времени пробега сейсмической волны в зависимости от расстояния вдоль земной поверхности между эпицентром и сейсмографом), то можно лишь сказать, что аномальный участок мантии, вызвавший это отклонение, лежит где-то на этом луче. Предположим, другой луч пересекается с первым в какой-то точке. Измерив скорость по



нему, мы получим ограничение на возможное значение скорости на первом луче в точке пересечения*. Густая сетка многих пересекающихся лучей дает нам множество взаимных ограничений, которые и позволяют построить карту распределения скоростей в области, покрытой этой сеткой. Чем плотнее сетка, тем лучше различаются детали и тем выше точность карты.

На практике определение скоростей, удовлетворяющих всей системе ограничений, требует сложных вычислений, а для этого нужны большие ЭВМ. Методика, по существу, состоит в одновременном решении множества уравнений для каждой ячейки в некоторой области мантии. В правых частях этих уравнений стоят известные времена пробега для лучей, пересекающих эту область. В левой части каждого уравнения находится ряд членов с неизвестными параметрами, зависящими от скоростей. Решить задачу — значит определить такие значения этих

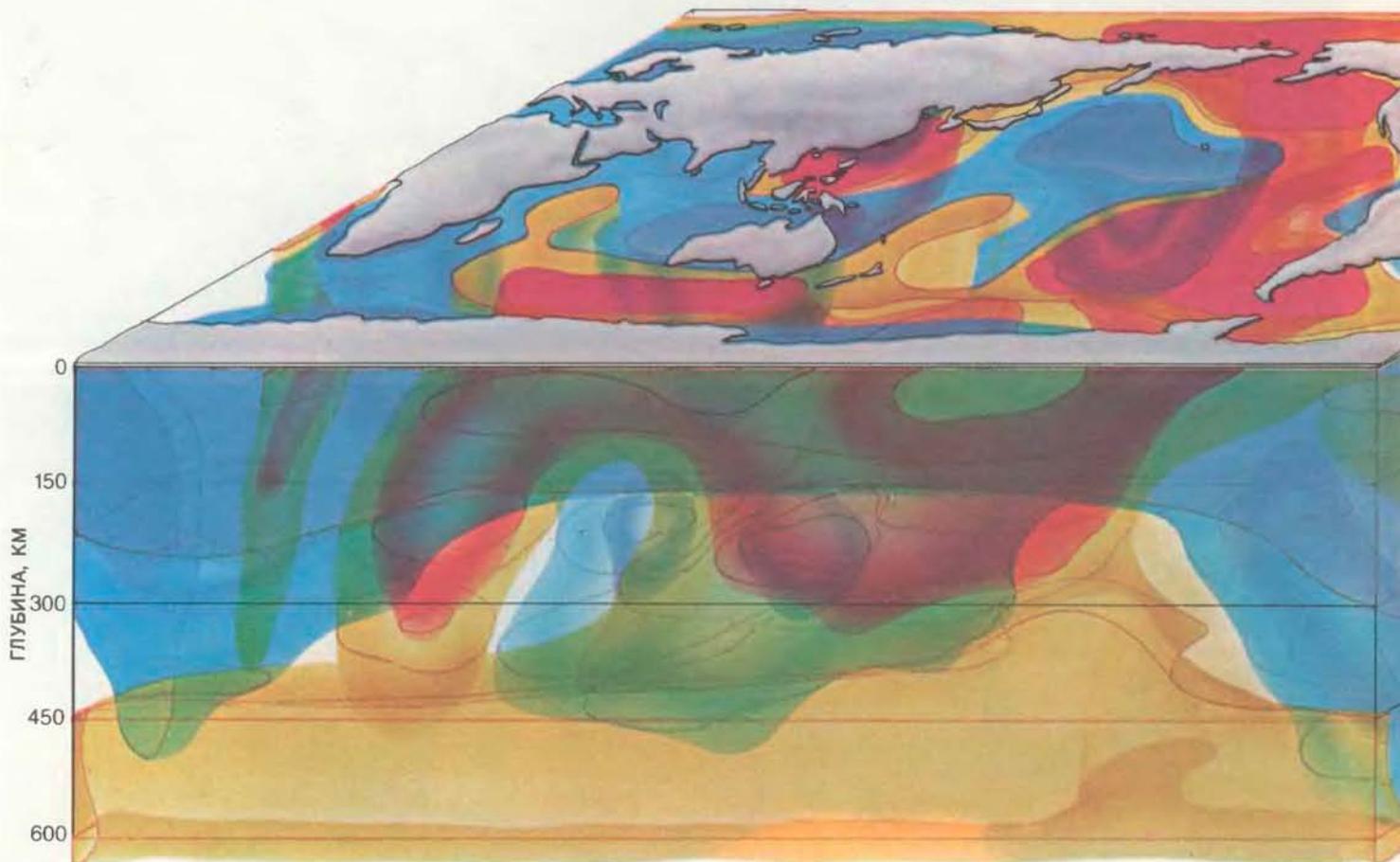
параметров, которые обеспечивают наилучшие совпадения между рассчитанными и наблюдаемыми временами пробега. Это — пример «обратной задачи» сейсмологии: от наблюдений к определению структуры Земли.

ДАННЫЕ о временах пробега объемных волн, хранящиеся в МСЦ, и данные регистрации поверхностных волн длиннопериодными сейсмографами — это два взаимно дополняющих источника информации о мантии. Анализ объемных волн — единственный прямой способ изучения нижней мантии, располагающейся в интервале глубин от 670 км (граница между верхней и нижней мантией) до 2900 км (граница ядра). Один из авторов (Дзевонский) построил недавно модель нижней мантии по совокупности данных о более чем 500 тыс. лучей. В модели выделяются особенности строения, имеющие протяженность по горизонтали от 2000 до 3000 км, а по вертикали — около 500 км. Р. Клэйтон и его коллеги по Сейсмологической лаборатории Калифорнийского технологического института (КТИ) создали более детальную модель, используя большой набор исходных данных и специальные методы

расчета для увеличения разрешающей способности. Крупномасштабные особенности, появляющиеся в двух этих моделях, хорошо согласуются; так, например, оба расчета свидетельствуют о существовании протяженных скоростных аномалий вблизи границы ядра.

Объемные волны, «ныряющие» в глубь Земли в очаге землетрясения и «вынырывающие» в местах, где расположены сейсмические станции, пробегают через верхнюю мантию по относительно коротким крутым путям. Существующее размещение сейсмических станций не позволяет построить достаточно густую сетку трасс объемных волн, для того чтобы получить изображение верхней мантии. В то же время поверхность Земли достаточно хорошо перекрывается волнами Рэлея и Лява, которые глубоко «просматривают» верхнюю мантию. Длиннопериодные (или низкочастотные) поверхностные волны проникают в мантию на большую глубину, чем короткопериодные (подобно этому длинные волны в океане захватывают большую толщу воды, чем мелкая рябь). Новые цифровые длиннопериодные сейсмографы регистрируют такие длинные поверх-

* При этом, естественно, следует учитывать общее для всей Земли увеличение средней скорости волн в мантии с глубиной. — *Прим. перев.*



ТРЕХМЕРНАЯ МОДЕЛЬ верхней мантии сконструирована из карт сейсмических скоростей, полученных в Гарварде, с интервалом 50 км по глубине. Согласно модели, в мантии широко развиты горизонтальные движения и горячих, и относительно холодных масс. Горячие аномалии (красный и желтый цвета), связанные с срединно-океаническими хребтами, могут быть прослежены на больших глубинах, а их ис-

точники часто смещены в сторону от областей поверхностного проявления. Например, воздымания, ответственные за образование Восточно-Тихоокеанского поднятия и юго-восточной части Индоокеанского хребта, имеют, по-видимому, общий источник под южной частью Тихого океана. Одинаковый цвет на двух различных глубинах говорит не о равенстве сейсмических скоростей, а о том, что каждая ско-

ностные волны, на скорость которых влияют особенности строения мантии до глубины 700 км; это несколько глубже границы между верхней и нижней мантией.

Мы и наши коллеги, И. Наканиси, А.-К. Натаф и Т. Танимото из КТИ и Дж. Вудхауз из Гарварда, изучили данные регистрации таких волн и построили томографическое изображение, показывающее протяженность по горизонтали и вертикали скоростных аномалий в верхней мантии. Для 60 сильных землетрясений, которые произошли в период с 1977 по 1982 г. и эпицентры которых более или менее равномерно распределены на поверхности земного шара, были найдены скорости сейсмических волн с шестью различными периодами колебаний, распространявшихся от эпицентров к местам установки сейсмографов. Выбор различных периодов колебаний обеспечил информацию о скоростной структуре мантии в ряде перекрывающихся интервалов глубины. В среднем мы использовали данные примерно 20 сейсмических станций. Поверхностная волна приходит из эпицентра к станции дважды — один раз по короткому, другой раз по длинному отрезку дуги

большого круга, поэтому для каждого землетрясения мы получили измерения средней скорости по 40 разным путям. Для того чтобы построить карту мантии на какой-либо глубине или вертикальный разрез мантии в плоскости большого круга, как правило, приходилось учитывать от 400 до 1000 разных путей волн, выводя из средних скоростей вдоль многих дуг индивидуальные скорости для отдельных областей.

ТЕКТОНИКА плит дает некоторые указания на то, что именно можно получить при картировании верхней мантии. Под срединно-океаническими хребтами, вулканическими областями и районами типа Красного моря, где на континентах в литосферных плитах рождаются новые рифты, сейсмические скорости должны быть низкими; это области, где горячее, менее плотное вещество мантии поднимается к поверхности, расплавляясь по мере поднятия. Под стабильными континентальными «щитами», где плиты находятся на поверхности миллиарды лет и потому достаточно остыли, следует ожидать аномально высоких скоростей распространения сейсмических волн — по крайней мере в верхней части мантии. На больших глубинах «быстрые» аномалии должны обнаруживаться в областях, охлажденных при субдукции (поддвижении под континент) океанической литосферы, которая остыла во время пребывания у поверхности.

Наши результаты в известной степени подтверждают эти предсказания. На глубине 150 км мы обнаружили низкие сейсмические скорости под большинством крупных активных тектонических и вулканических областей, включая срединно-океанические хребты. Напротив, Канадский, Бразильский, Сибирский, Африканский и Австралийский щиты относятся к «быстрым». В действительности различия в скоростях настолько велики, что не могут быть объяснены только влиянием температуры; на этих глубинах должны существовать — и уже обнаружены — горизонтальные вариации либо минерального состава, либо протяженности зон плавления в мантии.

Нас не особенно удивляет то, что хребты и вулканы подстилаются горячей мантией на небольших глубинах. Гораздо интереснее другое — и вокруг этого вопроса идет много споров среди геофизиков, — насколько глубоко простираются эти температурные аномалии. Судя по нашим картам, они достигают глубины 400 км, однако места проявлений этих зон на поверхности часто смещены на большие расстояния в сторону от источника в мантии.

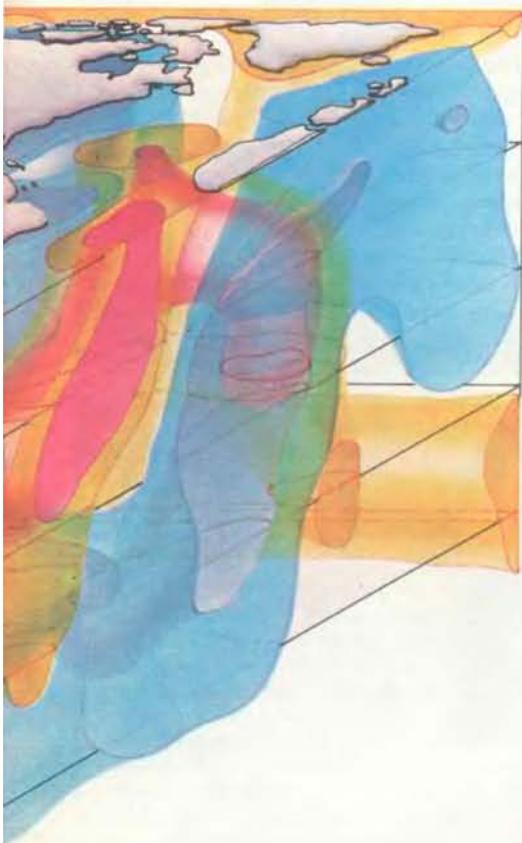
Опоясывающая весь земной шар система срединно-океанических хребтов на глубине 350 км не остается непре-

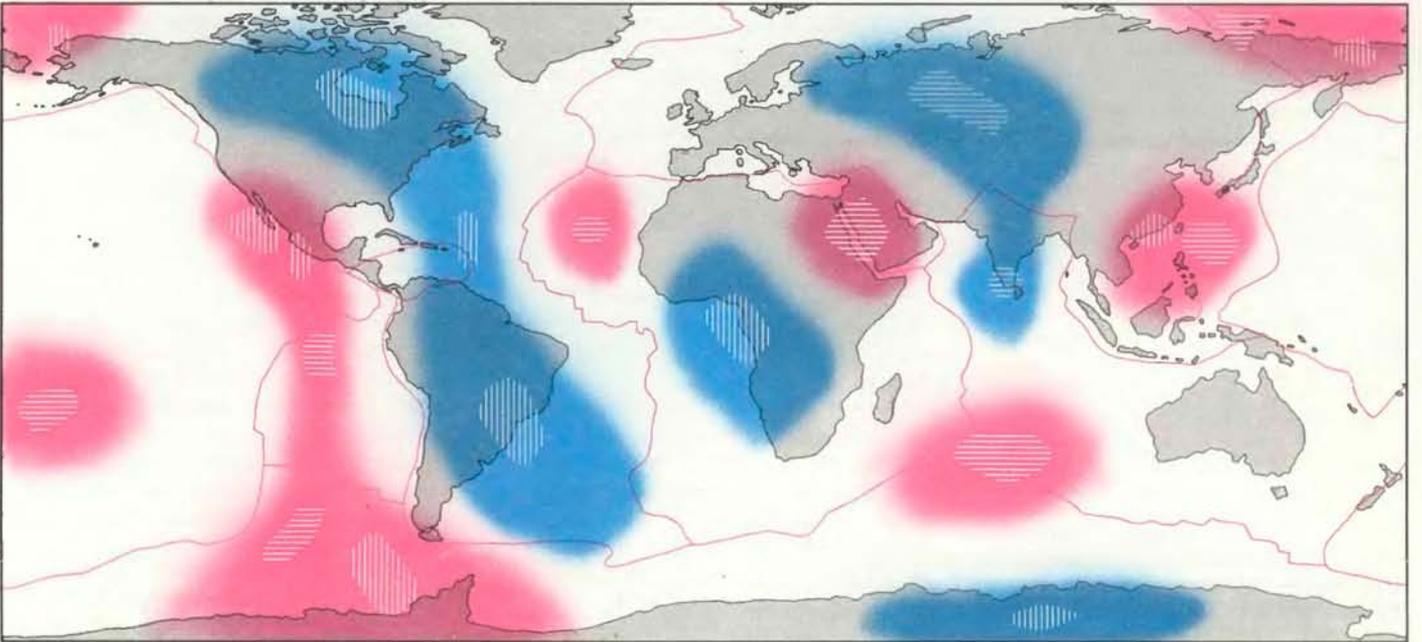
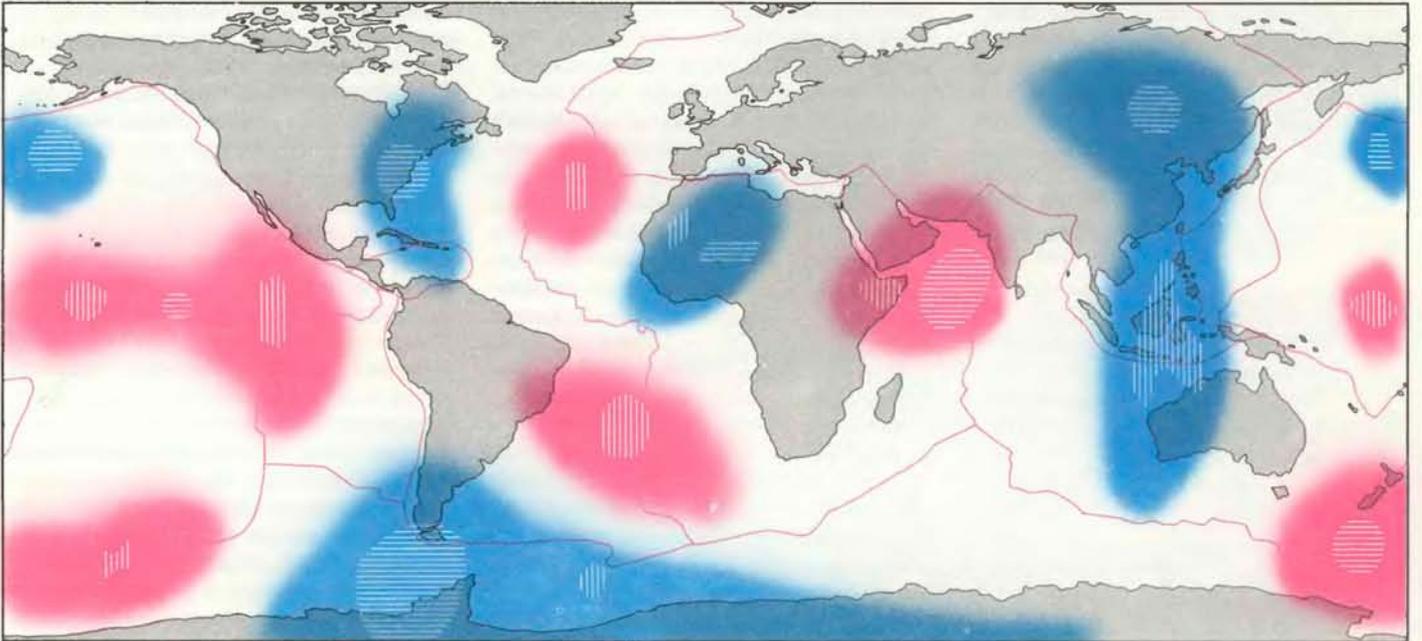
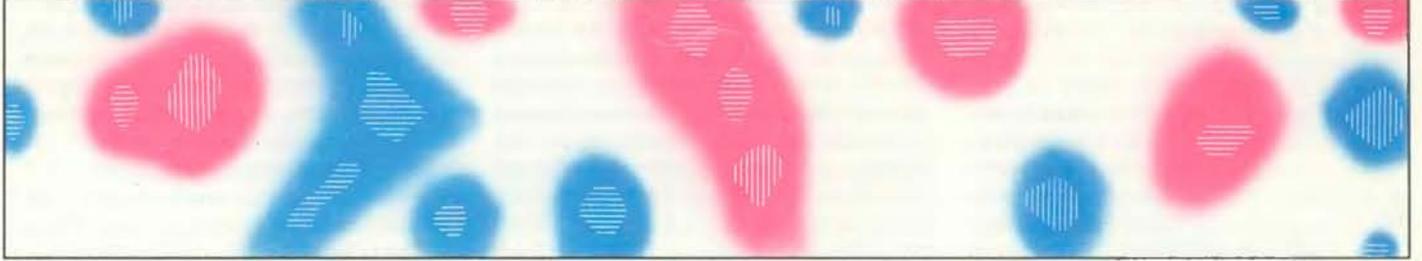
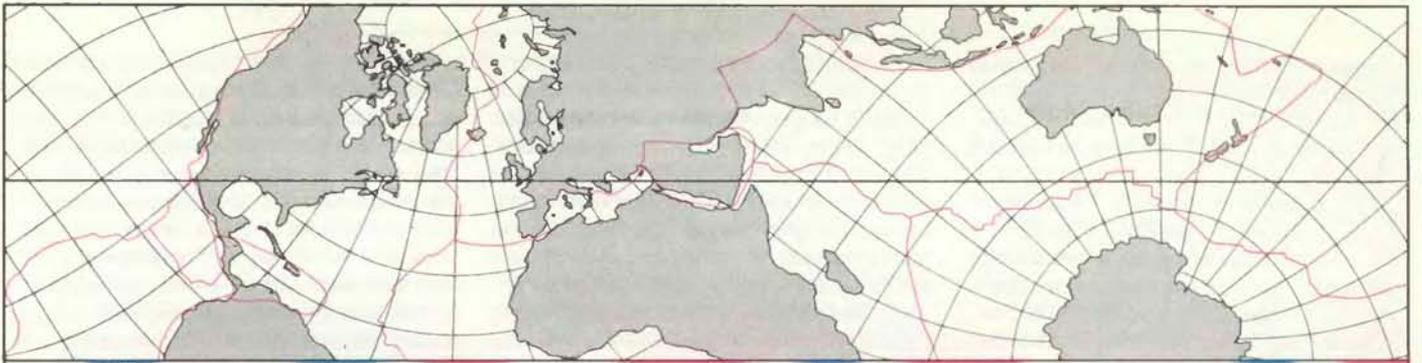
рывной, а разбивается на ряд изолированных частей. Центральный Срединно-Атлантический хребет и юго-восточная часть Индоокеанского хребта, как показывают карты, на самом деле подстилаются «быстрыми» областями, а «медленная» аномалия, связанная с Восточно-Тихоокеанским поднятием, либо отсутствует, либо оказывается смещенной. На глубине 550 км сходство между структурами в мантии и на поверхности еще меньше: область под хребтами в Атлантическом и Индийском океанах «быстрая», в то время как холодный и, значит, «быстрый» у поверхности, Сибирский щит на глубине является «медленным». Ясно, что система срединно-океанических хребтов не есть простое поверхностное проявление вертикальных восходящих потоков. Похоже, что эта система питается за счет горизонтального перемещения горячего материала из нескольких обширных температурных аномалий в верхней мантии.

Некоторые общие предсказания тектоники плит относительно местонахождения погруженных при субдукции литосферных плит также подтверждаются томографическими картами. С момента начала раскалывания суперконтинента Пангея около 200 млн. лет назад и последующего образования Атлантического океана пространство Тихого океана сокращается. Северная Америка и Южная Америка надвигаются на него с востока, на западе на Тихоокеанскую литосферу наезжают Восточная Азия, Австралия и различные большие острова. На картах скоростной структуры мантии для глубины 350 км мы видим «быстрые» области под Восточной Азией, Южной Америкой и центральной и южной частями Атлантического океана — т.е. там, где можно было бы предполагать существование холодной погруженной тихоокеанской литосферы. На глубине 550 км «быстрые» аномалии увеличиваются и становятся более отчетливыми; одна из них захватывает область под западной частью Тихого океана и всей Австралией.

Интересно, что в западной части Тихого океана на небольших глубинах (200 км и меньше) сейсмические скорости малы, и этот факт также предсказывается тектоникой плит. Когда холодная океаническая литосфера внедряется в мантию в зонах субдукции, она вытесняет горячую мантию вверх. Присутствие летучих компонент вещества (в основном воды) в погруженных участках осадочных пород и коры снижает температуру плавления мантии и за счет трения участки мантийного клина над погружающейся плитой плавятся. Горячая всплывающая магма достигает поверхности, образуя вулканы. Островные дуги в западной части Тихого океана, включая Японию и Филиппины, — это вулка-

рость отличается на одинаковую величину от средней скорости, характерной для данной глубины. Зеленый цвет отмечает области, где холодные аномалии (синий цвет) лежат непосредственно перед или за теплыми «медленными» аномалиями (желтый цвет).





нические архипелаги над зонами субдукции.

НАШИ результаты говорят о том, что карты аномалий сейсмических скоростей достаточно точно определяют положение горячих и холодных областей, а значит, и положение восходящих и нисходящих течений в мантии. Однако эти карты не могут дать достаточно информации об одном звене конвективной циркуляции — горизонтальном перемещении погруженного материала от глубоководных желобов к срединным хребтам. К счастью, сейсмические данные могут стать ключом к пониманию и картины горизонтальных течений: надо лишь принять во внимание, что скорость сейсмических волн в мантии зависит от направления, в котором волны пересекают данную область. Из-за различия в ориентации кристаллов вещества волны распространяются быстрее вдоль отдельных горизонтальных направлений. Это свойство мантии называется азимутальной анизотропией.

Верхние слои мантии, до глубины 400 км, состоят в основном из оливина (железо-магниевого силиката). По отношению к сейсмическим волнам кристаллы оливина анизотропны: одна из осей кристалла заметно «быстрее» двух других. Когда кристаллы ориентированы случайным образом, эффекты их анизотропии взаимно погашаются. Полевые наблюдения показали, однако, что в мантийных течениях кристаллы оливина проявляют тенденцию к упорядочению. В больших объемах мантии «быстрые» оси кристаллов оливина выстраиваются по направлению течения; это напоминает намагничивание куска железа во внешнем магнитном поле.

Картируя «быстрые» направления сейсмических волн, можно понять, как устроены и горизонтальные потоки в мантии. Танимото и один из авторов (Андерсон) построили карту «быстрых» направлений рэлееских волн,

КАРТИНУ ТЕЧЕНИЙ в мантии можно построить, используя тот факт, что мантия анизотропна: скорость сейсмических волн зависит от направления их распространения и от их поляризации. Там, где течение горизонтальное, горизонтально поляризованные волны Лява распространяются быстрее, чем волны Рэлея с вертикальным направлением колебаний. Обратное верно для областей с вертикальными течениями. На картах показаны горячие и холодные аномалии, причем данные об анизотропии использованы совместно с данными о скоростях: вертикальная штриховка означает вертикальное течение, горизонтальная штриховка — течение в горизонтальной плоскости. Вертикальный разрез Земли (сверху) вдоль дуги большого круга (горизонтальная линия в центре карты) показывает, например, что температурная аномалия под Красным морем простирается по крайней мере до глубины 350 км. На глубине 250 км (в середине) отдельные части системы срединно-океанических хребтов заметны по горячим восходящим течениям, а в зоне субдукции под западной частью Тихого океана видна область холодного погружающегося вещества. Однако под другими отрезками срединных хребтов, например под центральной частью Срединно-Атлантического хребта или под юго-западной частью Индоокеанского хребта, температура невысока. Карта для глубины 100 км (внизу) позволяет предположить, что эти области питаются за счет горизонтального переноса горячего вещества на данной глубине. Карты построены на основе исследований, которые провели А.-К. Натаф, И. Наканиси и один из авторов (Андерсон) в КТИ.



РАСКАЛЫВАНИЕ ПАНГЕИ, начавшееся примерно 200 млн. лет назад, привело к раскрытию Атлантического океана и дало начало сокращению Тихого океана. Этот процесс показан схематически на двух вертикальных разрезах через верхнюю мантию: до расколлапирования (вверху) и после него (внизу). Горячие аномалии (красный цвет) представляют собой стабильные образования; одно из них, под Пангеей, стало источником роста Срединно-Атлантического хребта. В то время как Америка, Австралия и Азия наезжают на тихоокеанскую литосферу (серый цвет), субдукция поверхностного материала приводит к охлаждению мантии и искажает направленные вверх горячие потоки. Погруженная литосфера создает «быстрые» аномалии, образующие у континентов глубокие холодные «корни».

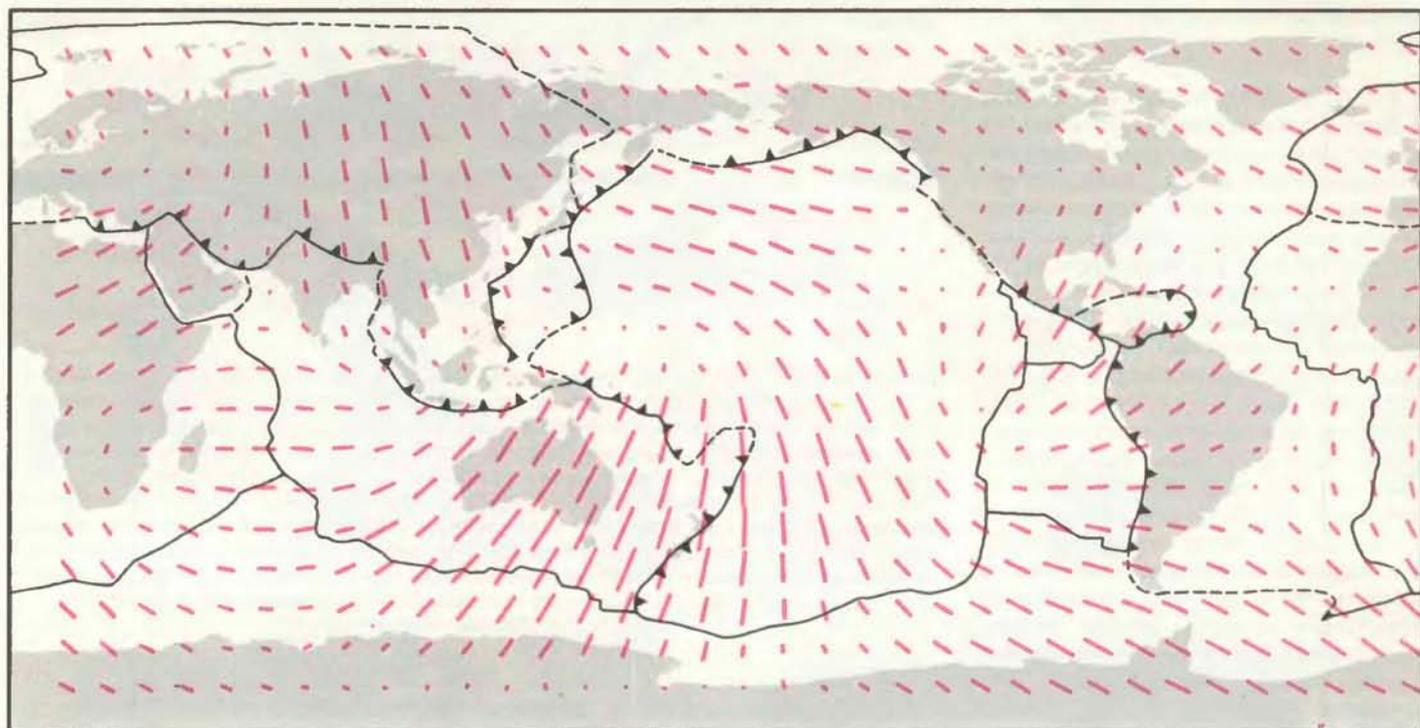
наиболее чувствительных к физическим свойствам среды на глубинах от 200 до 400 км (см. рисунок на с. 25). Скорость волн Рэлея максимальна при распространении вдоль «быстрой» кристаллографической оси как в прямом, так и в обратном направлении, поэтому направление течения можно определить лишь с точностью до 180°. Эту неоднозначность можно устранить, если считать, что движение обычно направлено от зон субдукции к срединным хребтам. Вместе с картами сейсмических скоростей карты азимутальной анизотропии значительно уточняют теоретические модели конвекции в мантии. Они, например, показывают, что верхняя мантия под центральной частью Северной Америки течет с севера на юг, в то время как под Сибирью течение имеет, по-видимому, противоположное направление.

Мы можем и иначе использовать свойство анизотропии мантии: на одной и той же карте изобразить области с горизонтальным течением и области

с вертикальным течением. В волнах Рэлея частицы вещества колеблются в вертикальной плоскости, в волнах Лява — в горизонтальной. В области, где кристаллы ориентированы упорядоченно, скорости волн Рэлея и волн Лява, распространяющихся по одному пути, несколько отличаются. В целом скорость горизонтально поляризованных поперечных волн Лява должна быть больше в областях горизонтальных течений: «быстрые» оси кристаллов оливина в такой области лежат в плоскости течения и совпадают с направлением колебаний частиц по крайней мере для некоторых волн Лява, проходящих через эту область. Наоборот, скорость вертикально поляризованных волн Рэлея должна быть больше в зонах восходящих или нисходящих течений.

Карты, объединяющие информацию о «поляризационной анизотропии» мантии с данными о сейсмических скоростях, четко выявляют как горячие восходящие потоки под срединно-океаническими хребтами и континентальными рифтами, так и нисходящие потоки в зонах субдукции в западной части Тихого океана. Столь же ясно они указывают и на крупномасштабный горизонтальный перенос горячего и холодного материала.

ДО ПОЯВЛЕНИЯ сейсмической томографии геофизики не имели прямого способа картирования конвекции в мантии. Используя данные сети сейсмических станций в зонах, подверженных землетрясениям, они могли определить средние значения сейсмических скоростей, температуры и плотности на различных глубинах; лишь в немногих регионах удавалось выявить протяженные зоны горизонтальных вариаций этих свойств. Данные и методы анализа, необходимые для построения



ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ТЕЧЕНИЯ в верхней мантии определяются по направлению наиболее быстрого распространения волн Рэлея. Ему соответствует направление ориентации «быстрых» кристаллографических осей, стремящихся выстроиться по течению. Неоднозначность направления пото-

ка ($\pm 180^\circ$) можно снять, допустив, что течение направлено от зон субдукции (зубчатые черные линии) к срединным хребтам (черные линии). Карта построена в КТИ по данным регистрации волн с периодом 200 с, чувствительным к особенностям строения мантии на глубине от 200 до 400 км.

мировых карт горизонтальных неоднородностей, отсутствовали.

Не имея данных прямых наблюдений, исследователи извлекали сведения о мантии косвенным путем — из наблюдений на поверхности Земли. В основном анализировались вариации силы тяжести в сочетании с рельефом поверхности. Ожидалось, что горячему восходящему течению в целом должны отвечать аномально высокая сила тяжести и возвышение рельефа. Загвоздка, однако, в том, что и сила тяжести, и аномалия рельефа — это результирующие функции вариации плотности с глубиной. Другими словами, наблюдающиеся аномалии силы тяжести или уровня поверхности могут быть связаны с аномалиями массы на любых глубинах и, таким образом, не позволяют однозначно определять аномалии плотности, которые и порождают конвекцию в мантии.

Геофизики придавали также большое значение упрощенным числовым моделям конвекции. Одним из существенных упрощений в большинстве моделей было использование представления о двумерном характере конвективного потока, когда материал движется только в одной вертикальной плоскости — от срединного хребта к глубоководному желобу у поверхности и от желоба к хребту в глубине мантии. В большинстве численных расчетов допускалось также, что вязкость, или сопротивление течению, одинакова во

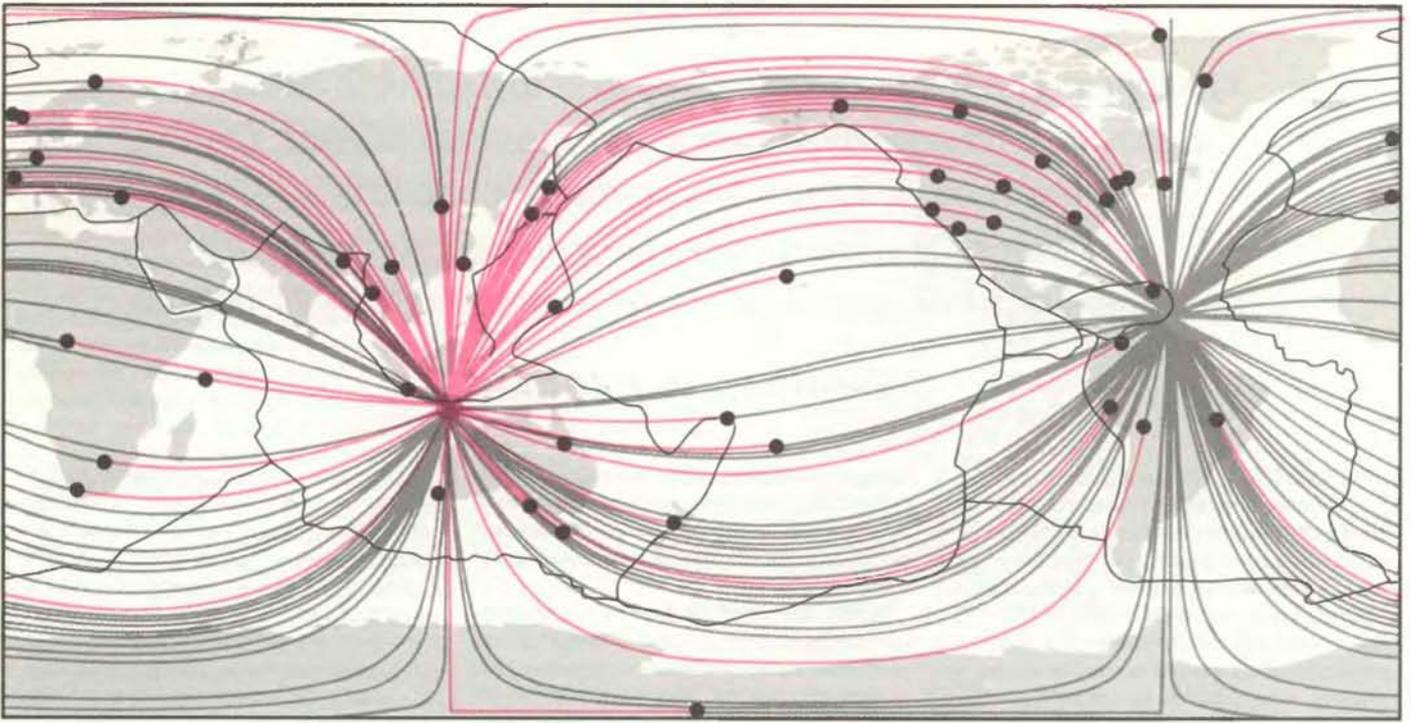
всей мантии. Эти допущения принимались отчасти потому, что более сложные модели течений требовали вычислений за пределами возможностей крупнейших ЭВМ.

Нас не удивляет, что реальная картина, которая выявляется при сейсмическом картировании мантии, оказывается намного более сложной, чем та, которую давали эти простые модели. Прежде всего эта картина оказывается трехмерной: и холодное, и горячее вещество течет в различных горизонтальных направлениях, и «спрединг» (разрастание литосферы у поверхности) и обратное течение в мантии никоим образом не лежат в одной вертикальной плоскости. Температурные аномалии под срединно-океаническими хребтами, под континентальными рифтами и даже под вулканическими областями могут быть прослежены на большую глубину, однако они сдвинуты в сторону по отношению к своим поверхностным проявлениям и не могут рассматриваться как простые вертикальные жилы поднимающейся магмы. Температурные аномалии и обусловленные ими вариации плотности до некоторой степени контролируют движение плит, а тектоника плит в свою очередь влияет на положение аномалий: с одной стороны субдукция холодной литосферы приводит к охлаждению мантии, с другой стороны, мощная континентальная литосфера изолирует нижележащую мантию и вызыва-

ет ее разогревание.

Кроме того, под большей частью поверхности Земли вопреки предположениям численных моделей под литосферой обнаружен слой мантии с низкой вязкостью. Этот особенный слой частично уменьшает сцепление между плитой и мантией. Несколько лет назад Б. Хэгер, который сейчас работает в КТИ, и Р. О'Коннелл из Гарварда рассчитали течение с учетом влияния особенного слоя; полученная ими картина отличается от тех, которые дают простые модели, и в целом совпадает с нашими картами горизонтальных течений, построенными по данным азимутальной анизотропии.

СЕЙСМИЧЕСКАЯ томография допускает обращение принятой ранее последовательности анализа: вместо того чтобы находить аномалии плотности в мантии по данным о поле силы тяжести, можно использовать сейсмические данные о распределении плотности для объяснения наблюдаемых вариаций силы тяжести. Основываясь на результатах двух независимых исследований по томографии — работы Клэйтона и Р. Комера из КТИ, с одной стороны, и работы одного из нас (Дзевонского) — с другой, Хэгер и его коллеги показали, что крупномасштабные вариации поля силы тяжести — обширные положительные аномалии в центральной части Тихого океана и Африке и отрицательные аномалии в



ЦИФРОВЫЕ СЕЙСМОГРАФЫ (черные точки) регистрируют длиннопериодные волны, распространяющиеся от эпицентра землетрясения (цветная точка) вдоль меньших (цветные линии) и больших (серые линии) отрезков дуг большого

круга. Установка новых станций, особенно на дне океанов и на больших пространствах суши, вдали от зон землетрясений, позволит сгустить сетку пересекающихся трасс и улучшить разрешающую способность томографии.

Индийском океане и Антарктике — могут быть отнесены на счет больших аномалий плотности в нижней мантии. В то же время небольшие по размерам аномалии поля силы тяжести, вероятно, могут, по крайней мере частично, возникать из-за вариаций плотности в верхней мантии. На наших картах видно, что под положительными гравитационными аномалиями в Северной Атлантике (между Исландией и Азорскими островами), в Южной Атлантике (вокруг островов Тристанда-Кунья) и в юго-западной части Индийского океана (между Мадагаскаром и Кергеленом) на глубине 200 — 400 км в мантии находятся «медленные» области, отвечающие горячим, бьющим вверх струям, так называемым «плюмажам»; горячий плюмаж в верхней мантии, вероятно, частично ответствен за гравитационную аномалию в центральной части Тихого океана, происхождение которой Хэгер относит на счет нижней мантии. Хотя горячее вещество имеет меньшую плотность, эти плюмажи могут считаться причиной положительных гравитационных аномалий, поскольку увеличивают воздымание поверхности и тем самым поднимают центр тяжести под данной областью земной поверхности.

Модель, использованная Хэгером для расчетов, предполагает, что погружающаяся в мантию литосфера кое-где прорывает границу между верхней и нижней мантией. Вопрос о том, может

ли вещество перетекать через эту границу на глубине 670 км, или же конвективная циркуляция в мантии разделяется на две отдельные ячейки, является одним из центральных вопросов в геофизике. Томография еще не решила этого спора. Как показывают наши карты, в одних областях, таких, как аномально горячая область под центральной частью Тихого океана, при переходе через границу между верхней и нижней мантией свойства вещества изменяются непрерывно, в других областях заметны нарушения непрерывности. Более того, из отсутствия разрыва на границе не следует, что материал перетекает через границу: нижняя мантия может просто подогревать верхнюю, как печь подогревает горшки — за счет теплопроводности. К сожалению, граница между верхней и нижней мантией располагается на такой глубине, где разрешающая способность томографии с использованием как поверхностных, так и объемных волн невелика. Выход состоит в проведении томографического анализа на основе сочетания обоих типов данных; в частности, может быть полезен анализ тех объемных волн, пути которых проходят лишь через верхнюю мантию — за счет отражения или преломления на границе раздела на глубине 670 км или на других границах.

Хотя полученные нами результаты поразительно отличаются от результатов «обычной» сейсмологии, существ-

ующая редкая сеть цифровых сейсмических станций не позволяет повысить разрешающую способность томографии по поверхностным волнам даже в пределах верхних слоев мантии. Закартированы могут быть лишь те аномалии скоростей, которые либо захватывают очень большие области (радиусом свыше 2000 км), либо выражены очень сильно. Недавно сейсмологи из пятидесяти с лишним университетов образовали Объединенный исследовательский институт по сейсмологии (Incorporated Research Institute for Seismology — IRIS), некоммерческую корпорацию, имеющую целью модернизировать стационарное обеспечение сейсмологических исследований. Помимо других проектов в планы IRIS входит как повышение качества, так и увеличение количества цифровых данных путем увеличения числа цифровых сейсмических станций по крайней мере до 100 с одновременным использованием около 1000 переносных сейсмографов. Детальное изучение зон субдукции с помощью переносных сейсмографов в сочетании с использованием мировой системы стационарных цифровых сейсмометров позволило бы определить, например, в самом ли деле литосферные плиты погружаются в нижнюю мантию. Новые стационарные и мобильные сейсмические станции обеспечат значительно более детальное глобальное изображение мантии и ее течений, формирующих облик Земли.

Хрящ

Хрящ выполняет формообразующую функцию в эмбрионе, а затем опорную функцию в сформированном теле.

В настоящее время его основные свойства — прочность и упругость — можно рассматривать на молекулярном уровне, в свете тонкого строения тканей

АРНОЛЬД И. КАПЛАН

СУЩЕСТВУЕТ ткань, которая выполняет в организме важнейшие функции, хотя лишена большинства признаков, присущих другим тканям: в ней нет ни нервов, ни кровеносных сосудов, ни лимфатической системы. Свойства этой ткани определяются особенностями не составляющих ее клеток, а продуктов их секреции — гигантских молекул, которые накапливаются вокруг клеток, складываясь в сложную сеть, и образуют межклеточное вещество. Некоторые из белков, входящих в его состав, относятся к числу самых больших среди вообще синтезируемых клетками белков. Кроме того, в межклеточном веществе этой ткани много воды и ее свойства в значительной мере определяются именно структурированностью воды.

Эта ткань — хрящ, основной биологический материал, который участвует в создании формы тела, а затем служит в нем опорой. В эмбрионе хрящ образует остов, на котором формируются большие кости тела, за исключением костей черепа. Потом в растущем организме хрящ образует так называемые зоны роста у оснований костей. В этих участках происходит рост костей в длину, что как бы продолжает эмбриональные процессы. В течение всей жизни организма хрящ служит на костях покрытием, которое выдерживает давление и сжатие, а кроме того, обеспечивает беспрепятственное скольжение костей относительно друг друга. Хрящ также играет роль амортизирующей опоры для костей позвоночника. Если же случается перелом кости, то в таком месте сначала образуется хрящ, который лишь через некоторое время заменяется новой костью; это может происходить в любом возрасте и является как бы кратким повторением эмбриональных процессов.

Изучение хряща не только позволит выяснить ход развития отдельных частей тела, но поможет разобраться и в процессе старения, а также в природе таких болезней, как остеоартрит. Один из аспектов исследований — анализ молекулярной структуры хряща. Этот вопрос очень важен, так как функции

хряща — образование остова, заменяемого впоследствии костью, и сочленение костей — могут быть объяснены теперь, хотя бы частично, на молекулярном уровне.

Хрящ состоит из клеток — хондроцитов, в которых синтезируются гигантские молекулы, накапливающиеся в межклеточном пространстве и образующие межклеточное вещество. Химические и физические особенности молекул обуславливают такие свойства хряща, как прочность, т.е. способность распределять нагрузку и не разрываться, и упругость, т.е. способность восстанавливать исходную форму и структуру после деформации. Прочностью хрящ обладает благодаря коллагену — жестким, вытянутым структурам из макромолекул; они имеются помимо хряща в таких органах, как кожа, легкие, глаза. Упругость хрящу придают молекулы, принадлежащие к обширной группе протеогликанов.

Развитие конечности

В эмбрионе хрящ впервые появляется на той стадии, когда начинается рост конечностей. Происходит это точно «по расписанию». В зачатках конечностей куриного эмбриона (куриный эмбрион — наиболее удобный объект для наблюдения) хрящ возникает через четыре с половиной дня после начала инкубации. В этот момент клетки будущих конечностей в мезодерме — среднем эмбриональном слое — необратимо вступают на тот или иной из возможных для них путей развития, каждый из которых ведет к образованию ткани определенного типа — хряща, костной либо соединительной.

Судьба клеток зачатка определяется несколькими (в основном внешними по отношению к самим клеткам) факторами. Некоторые из них обусловлены развитием сосудистой системы. Первоначально зачаток конечности куриного эмбриона снабжается питательными веществами через равномерную сеть капилляров (см. рисунок на с. 32).

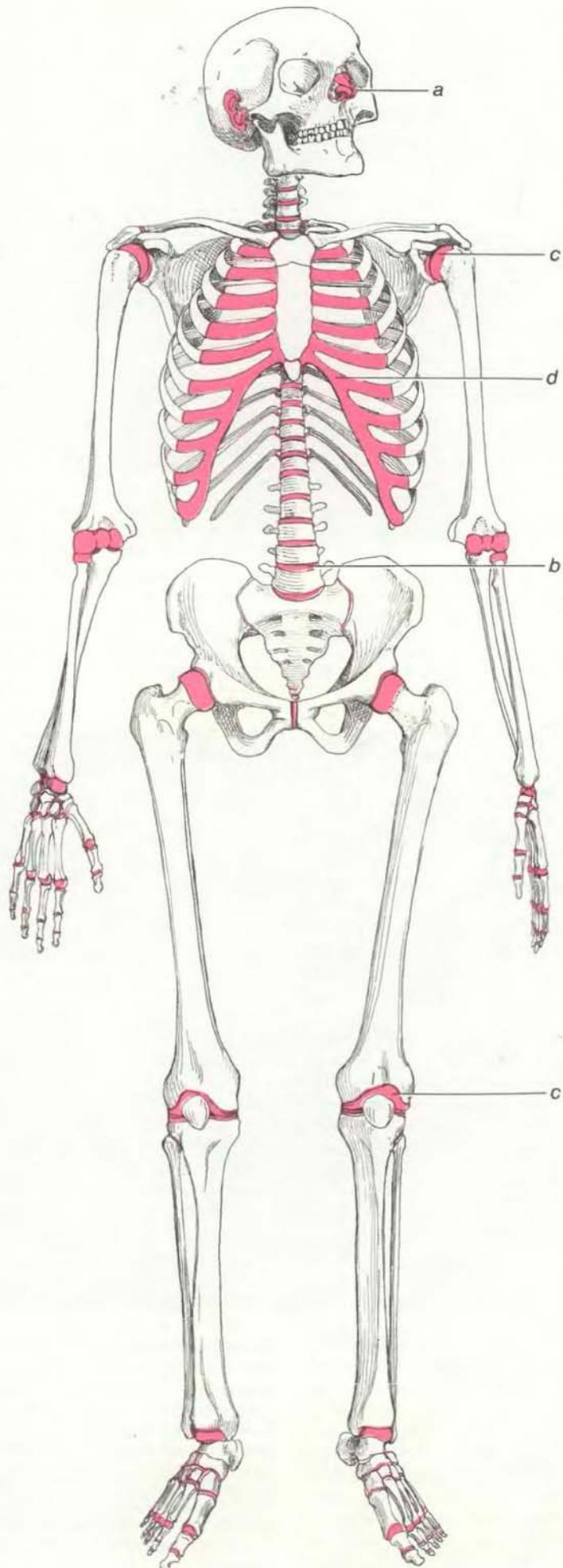
Вскоре, однако, один из капилляров — ближе к центру зачатка — увеличивается. Этот сосуд станет главной артерией конечности. Около него все капилляры исчезают, возможно потому, что клетки здесь выделяют вещество, тормозящее процесс образования сосудов (васкуляризацию). Хрящ, по-видимому, содержит такое вещество в течение всей своей жизни. Исчезновение капилляров в центре зачатка завершается к концу четвертого дня развития эмбриона, за 12 ч до того, как клетки конечности вступают на путь дифференцировки. Главная артерия разветвляется к периферии, образуя сложную сеть капилляров. Таким образом, в зачатке конечности центральные и периферические клетки по-разному снабжаются питательными веществами, кислородом и другими соединениями, циркулирующими в крови. Хрящ развивается в центральной части зачатка, лишенной сосудов.

В 1967 г. Э. Цвиллинг и я, работая в Университете Брандейса, предприняли попытку имитировать «микроокружение», под влиянием которого клетки развивающегося зародыша перемещаются и дифференцируются. Перед нами стояла задача — найти условия, которые способствуют дифференцировке клеток в хондроциты. Было установлено, что если еще недифференцированные мезодермальные клетки зачатка конечности куриного эмбриона «посеять» на культуральные чашки с высокой плотностью (5 млн. клеток на чашку диаметром 35 мм), то большинство клеток превратится в хондроциты. При средней плотности (2 млн. клеток на чашку) хондроцитов почти не образуется. Кроме того, оказалось, что если инкубировать клеточную культуру с высокой плотностью в присутствии большой концентрации кислорода или никотинамида, то это препятствует формированию хряща. Никотинамид интересовал нас потому, что он содержится в эмбрионе. Он хранится в желтке яйца и поступает к конечностям через сосудистую систему. Это соединение влияет на химические реакции как в цитоплазме, так и в ядре мезодермаль-

ных клеток и таким образом воздействует на процесс дифференцировки.

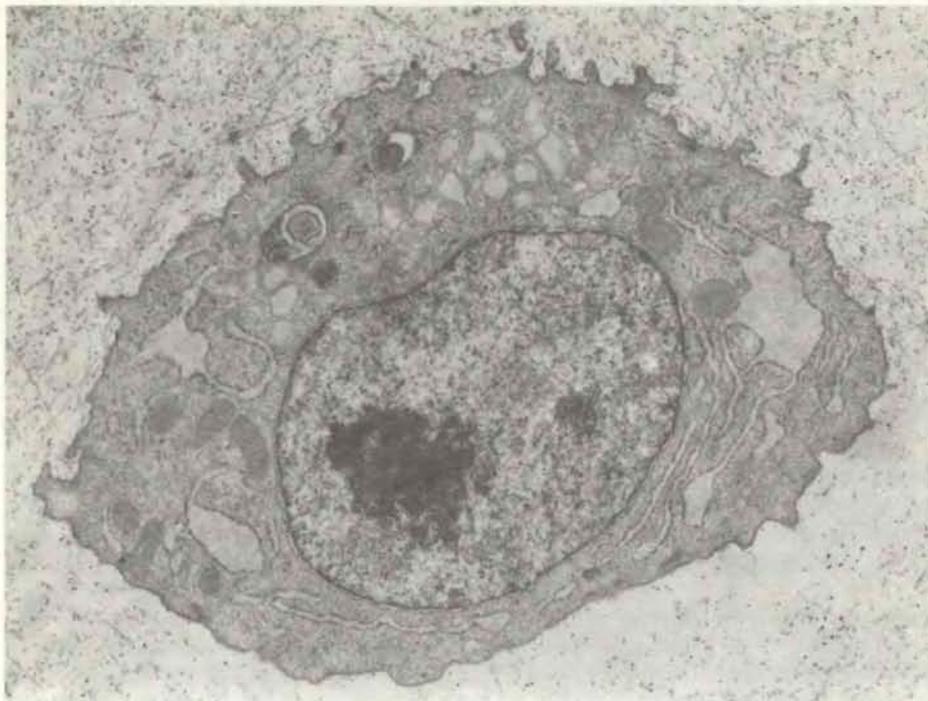
Недавно в моей лаборатории в Университете Кейз-Вестерн-Ризерв был проведен ряд экспериментов на недифференцированных мезодермальных клетках зачатка конечности куриного эмбриона. В одном из этих экспериментов ко дну культуральных чашек была химически присоединена гиалуроновая кислота. Гиалуроновая кислота — важнейший компонент межклеточного вещества эмбриональных тканей. Ее молекула представляет собой длинную цепь из повторяющихся дисахаридных звеньев. В состав каждого звена входят N-ацетилглюкозамин и глюкуроновая кислота. Содержание гиалуроновой кислоты в тканях изменяется по мере развития, что, возможно, связано с превращением недифференцированных структур в дифференцированные ткани и органы. Мы помещали мезодермальные клетки зачатка конечности куриного эмбриона в чашки с гиалуроновой кислотой на дне. Плотность культуры составляла 2 млн. клеток на чашку. В этих условиях большинство клеток превращалось в хондроциты.

Таким образом, для дифференцировки клеток из зачатка конечности в культуре имеют значение такие факторы, как плотность «посева» клеток, свойства подложки, на которой клетки растут, а также состав питательной среды, окружающей клетки. Еще один внешний для клеток фактор был обнаружен в следующем эксперименте. Клетки из зачатка конечности куриного эмбриона в культуре со средней плотностью инкубировали в присутствии деминерализованных костей взрослых животных или экстрактов из них. (Кости деминерализуют, обрабатывая их разбавленным раствором кислоты,

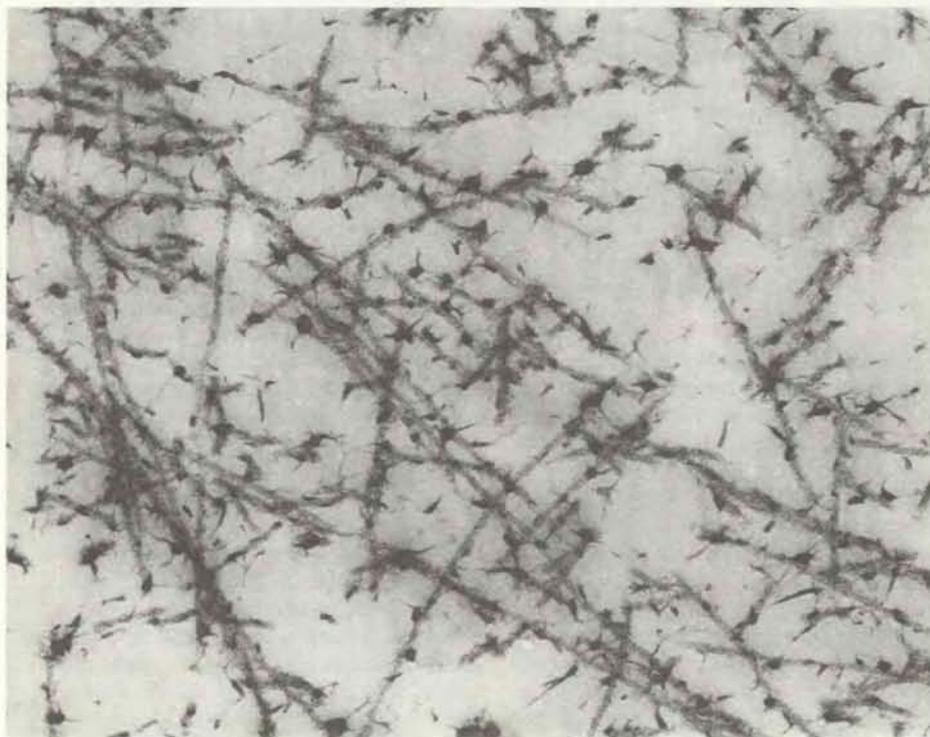


РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХРЯЩА в скелете человека (выделено цветом). Существуют четыре типа этой ткани*. В остов носа входит морфологический хрящ (a); его форма задана генетически и определяет форму всего органа. Для межпозвоночных дисков (b) характерен волокнистый хрящ, отличающийся большой прочностью. Суставы (c) содержат суставной хрящ, который обеспечивает скольжение костей относительно друг друга, а кроме того, обладает упругостью. В передней части грудной клетки имеется эластический хрящ, позволяющий ей немного расширяться при вдохе. Свойства каждого типа хрящевой ткани обусловлены особенностями ее молекулярной структуры.

* Предлагаемая автором классификация хрящевой ткани — не единственная. См., например: Хэм. А., Кормак Д. Гистология. В 5т. — М.: Мир, 1983, т. 3; Гистология. Под редакцией В.Г. Елисева и др. — М.: Медицина, 1972. — Прим. перев.



ХОНДРОЦИТ — клетка хрящевой ткани (электронная микрофотография; увеличение $\times 9000$). Внутри клетки видно ядро округлой формы, а вокруг него — вытянутые, похожие на колбаски образования, называемые эндоплазматическим ретикуломом; именно на них происходит синтез белка. Хондроциты секретируют гигантские молекулы, которые накапливаются вокруг клеток и образуют межклеточное вещество (оно выглядит как войлок, окружающий клетку).



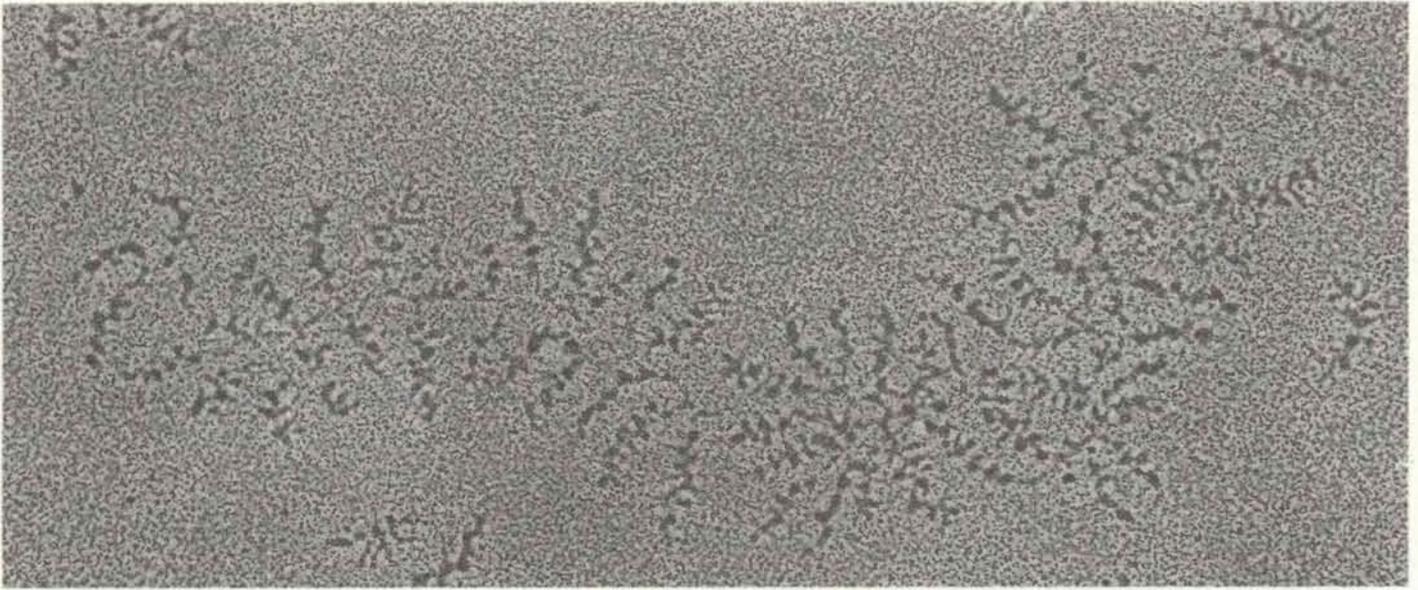
МЕЖКЛЕТОЧНОЕ ВЕЩЕСТВО состоит из гигантских молекул, секретируемых хондроцитами. Вверху — электронная микрофотография (увеличение $\times 61\,000$) межклеточного вещества из культуры хондроцитов куриного эмбриона (препарат окрашен альциановым синим). Прямые линии — это фибриллы коллагена; темные тельца — деформированные массы протеогликана. Слева межклеточное вещество изображено схематически.

в результате чего из них удаляются кальций и фосфаты.) В этих условиях клетки также превращались в хондроциты.

Как можно думать, процесс дифференцировки клеток в хондроциты в культуре под влиянием деминерализованной кости или экстрактов из нее очень близок к тому, что происходит при переломах костей во взрослом организме. В частности, мы предполагаем, что в кости содержатся вещества, которые направляют клетки из кровеносной системы к месту перелома для его очистки, вещества, которые «собирают» недифференцированные клетки в поврежденный участок, чтобы они размножились там, и вещества, которые вызывают дифференцировку этих клеток в хондроциты. Хондроциты затем продуцируют хрящевое межклеточное вещество, которое заполняет перелом и соединяет вместе отдельные фрагменты кости. В дальнейшем, согласно программе развития хряща, межклеточное вещество кальцинируется и затем замещается новой жизнеспособной костной тканью.

Молекулярное строение хряща

Молекулярные компоненты хряща, т.е. вещества, которые, как мы знаем теперь, обеспечивают прочность и упругость этой ткани, изучают уже более 100 лет. В 1837 г. И. Мюллер подвергал хрящ обработке под большим давлением и получил в растворенном виде вещество, которое он назвал хондрином. Спустя полвека К. Крюкенберг выделил основной компонент хондрина и идентифицировал его как хондроитинсульфат. Затем в 1955 г. Э. Дэвидсон и К. Мейер из Колумбийского университета показали, что это вещество является разновидностью полисахарида: молекула хондроитинсульфата представляет собой цепь из повторяющихся дисахаридных звеньев, в ней чередуются глюкуроновая кислота и сульфатное производное N-ацетилгалактозамина. Хондроитинсульфат присоединен одним из концов к длинному белку посредством специального связывающего участка — цепочки из четырех остатков сахаров. В 1964 г. Дж. Грегори, Т. Лорент и Л. Роден из Уппсальского университета установили, что участок связывания состоит из последовательно соединенных ксилозы, которая и взаимодействует с одним из остатков серина молекулы белка, двух молекул галактозы и глюкуроновой кислоты, которая связана с остальной частью молекулы хондроитинсульфата. В 1953 г. Э. Дэвидсоном, К. Мейером, А. Линкером и Б. Вайсманом было охарактеризовано, правда, частично, еще одно вещество из хряща.



ТОНКОЕ СТРОЕНИЕ ПРОТЕОГЛИКАНА (электронная микрофотография; увеличение $\times 57\,000$). Через все поле зрения протянулась цепь гиалуроновой кислоты. К ней присоеди-

нены молекулы центральных, или сердцевинных, белков, от которых в свою очередь отходят многочисленные отростки — полисахаридные цепочки.

Это соединение назвали кератансульфатом, и первоначально считалось, что оно является отдельным компонентом хряща. Позднее, однако, выяснилось, что кератансульфат связан с тем же длинным белком, что и хондроитинсульфат. Кератансульфат — это полисахарид, состоящий из чередующихся молекул галактозы и сульфатного производного N-ацетилглюкозамина.

Важное открытие было сделано в 1969 г. студентами Рокфеллеровского университета В. Хэсколлом и С. Сайдерой. С помощью методов, которыми пользуются при изучении нуклеиновых кислот, им удалось экстрагировать из хряща неповрежденными гигантские макромолекулы, содержащие хондроитинсульфат. Такие соединения называют протеогликанами. О них стоит поговорить особо: стало понятным, каким образом протеогликаны обеспечивают упругость хряща, и это дает нам прекрасный пример взаимосвязи между структурой и функцией.

Структура протеогликанов

Остовом протеогликана в хряще является молекула гиалуроновой кислоты (см. рисунок на с. 30—31). От нее, как от ствола, отходят полипептидные цепи белков. Эти белки относятся к числу наиболее крупных вообще среди синтезируемых в клетках белков: молекулярная масса их — от 250 тыс. до 350 тыс. дальтон. Интересен способ присоединения белков к молекуле гиалуроновой кислоты. Один из концов полипептидной цепи образует глобулу массой 60 тыс. — 90 тыс. Этой глобулой белок и связан с гиалуроновой кис-

лотой, но нековалентно, т.е. химических связей не образуется. Между глобулярным концом белка и участком гиалуроновой кислоты, состоящим из пяти дисахаридных звеньев, имеется стерическое соответствие. Кроме того, есть особый белок с молекулярной массой 40 тыс.—60 тыс., который так и называют связывающим; он взаимодействует и с гиалуроновой кислотой, и с белком, стабилизируя связь между ними.

К каждой длинной белковой молекуле в свою очередь присоединено множество полисахаридных цепей, поэтому эти белки называют центральными, или сердцевинными. У всех центральных белков в молекуле можно выделить три области, которые различаются по присоединенным к ним полисахаридам. Первая область включает глобулярный конец, которым центральный белок соединяется с молекулой гиалуроновой кислоты. С этим участком связано сравнительно мало полисахаридных цепей — в основном небольшие олигосахариды, присоединенные к белку N-гликозидными связями. Они сходны по структуре с теми полисахаридами, которые входят в состав многих других белков, секретируемых клетками. Следующая область гораздо богаче полисахаридами: в ней много кератансульфата и небольших олигосахаридов, соединенных с аминокислотными остатками белка O-гликозидными связями (возможно, это неиспользованные начальные участки для цепей кератансульфата). Каждая полисахаридная цепь присоединена к определенной аминокислоте центрального белка, как правило, к серину или треонину. Третья область — место для хондроитинсульфата. Как уже говорилось, в каждой молекуле хондроитинсульфата

есть особая связывающая цепочка, в состав которой входят ксилоза, взаимодействующая с остатком серина центрального белка, две молекулы галактозы и глюкуроновая кислота.

В синтезе сахаров и в процессах присоединения их к центральным белкам участвует 20—30 различных ферментов. При синтезе хондроитинсульфата, например, присоединение каждой молекулы сахара осуществляется в результате отдельной ферментативной реакции. Один фермент катализирует присоединение ксилозы к серину, другой — галактозы к ксилозе, третий — галактозы к галактозе, а четвертый — глюкуроновой кислоты к галактозе. Так получается связывающий участок. Со следующих двух молекул в последовательности начинается чередование глюкуроновой кислоты и N-ацетилгалактозамина; в этом участвуют два попеременно работающих фермента. Первым присоединяется к связывающему участку N-ацетилгалактозамина, а к нему — глюкуроновая кислота. Механизм окончания синтеза неизвестен. Наконец, «сульфатирующий» фермент заменяет одну из гидроксильных групп (ОН) в каждой молекуле N-ацетилгалактозамина на сульфатную группу SO_4^{2-} . Сульфат может занимать в молекуле сахара либо четвертое положение, либо шестое, и сульфатирующих ферментов два: один катализирует включение сульфатной группы в четвертое положение, а другой — в шестое. В целом к цепи гиалуроновой кислоты может присоединяться до 100 молекул центральных белков. В свою очередь к каждой из них присоединяется около 50 цепей кератансульфата и примерно 100 молекул хондроитинсульфата. Общая молекулярная масса мономера протеогликана, т.е. центрального белка с ко-

валентно присоединенными цепями полисахаридов, составляет от 1,5 до 2,5 млн. дальтон, а общая масса протеогликана, т.е. всего агрегата из мономеров и гиалуроновой кислоты, — десятки миллионов дальтон.

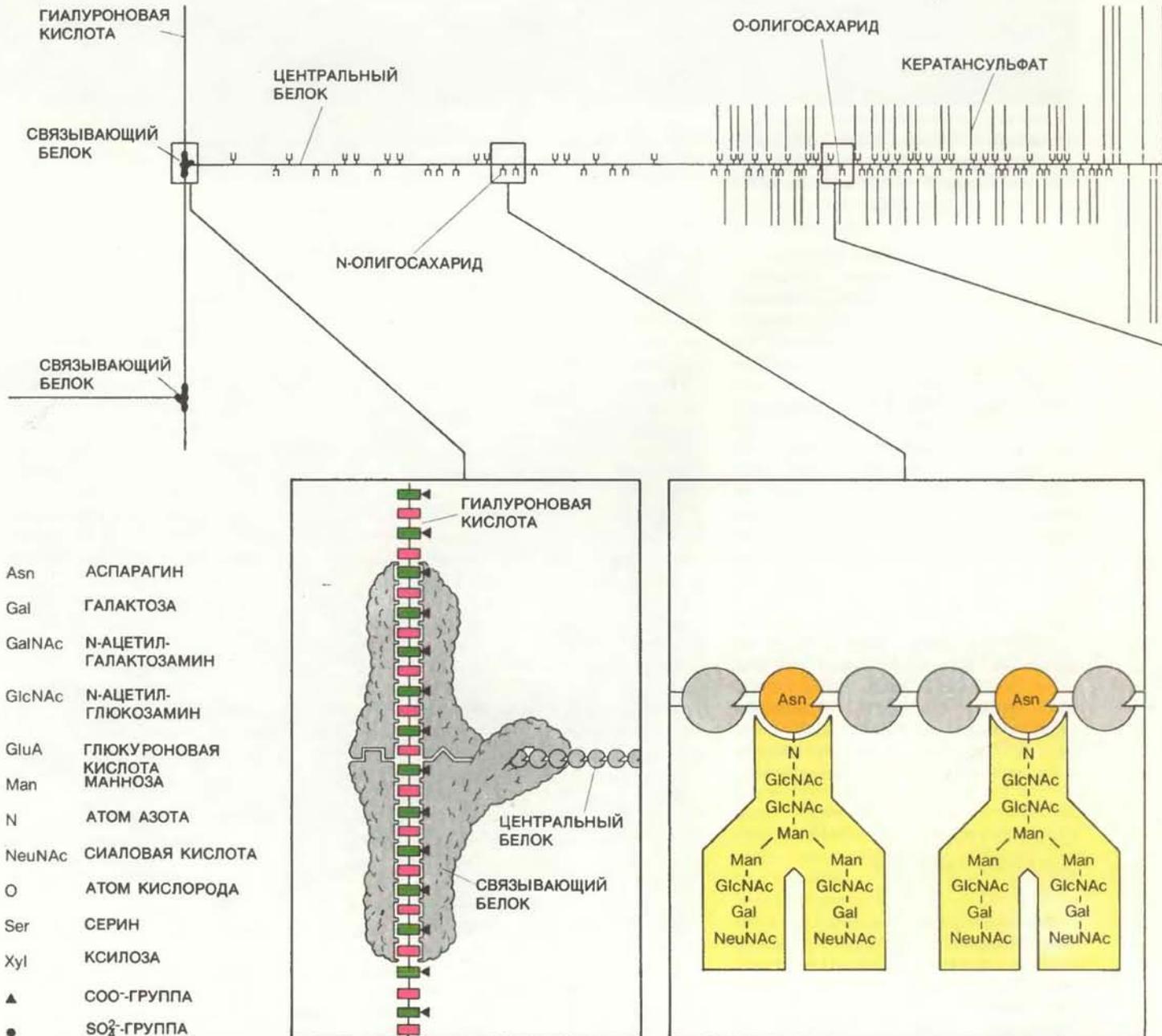
Свойства структурированной воды

Для понимания структуры гигантской сложной сети протеогликана очень важно то, что молекулы сахаров

в цепях кератансульфата и хондроитинсульфата несут отрицательный электрический заряд. В каждом дисахаридном звене хондроитинсульфата, например, один из сахаров, а именно глюкуроновая кислота, содержит карбоксильную группу (COO^-), а другой, N-ацетилгалактозамин — сульфатную (SO_4^{2-}). Таким образом, протеогликан следует рассматривать как очень большую, но высоко упорядоченную область электроотрицательности.

Молекула воды — это небольшой электрический диполь: электроны в ней смещены к атому кислорода, так что

вблизи него сконцентрирован отрицательный заряд, а атомы водорода несут положительный заряд. Электростатические силы притяжения и отталкивания определяют взаимодействие молекул воды между собой, а также с другими заряженными частицами. В частности, вокруг электрического заряда вода образует многочисленные взаимодействующие плоские или сферические слои; их число зависит от величины заряда. Поэтому протеогликан структурирует большой объем воды, по массе намного превышающий его собственную. Кроме того, вода запо-



МОЛЕКУЛЯРНАЯ СТРУКТУРА ПРОТЕОГЛИКАНА обуславливает упругость хряща. На схеме *вверху* изображена центральная цепь протеогликана — гиалуроновая кислота (*слева*). Она состоит из чередующихся остатков глюкуроновой кислоты и N-ацетилглюкозамина. От этой центральной нити отходят полипептидные цепи, называемые центральными,

или сердцевинными белками. Связь между ними и гиалуроновой кислотой нековалентная, она стабилизируется специальным связывающим белком. В сердцевинном белке можно выделить три части. К первой через атом азота присоединяются олигосахариды. Со второй через атом кислорода связаны молекулы кератансульфата, представляюще-

лняет свободные от прочих молекул промежутки в межклеточном веществе хряща, подобно воде в порах губки. Таким образом, протеогликаны как бы организуют воду, и в результате она становится поистине основным компонентом хряща.

Упругость хряща непосредственно связана со структурированностью воды. Когда хрящ испытывает давление, вода вытесняется из областей вокруг сульфатных и карбоксильных групп, где ее удерживал их заряд. Но в результате эти группы сближаются и силы отталкивания между их отрицательны-

ми зарядами препятствуют дальнейшему сжатию ткани. Когда давление исчезает, вода возвращается на прежнее место. Кстати, и питание хряща в суставах тела осуществляется не через кровеносные сосуды — в хряще их нет, а благодаря перемещению пропитывающей его жидкости, происходящему вследствие сжатия и расслабления при движении тела. Неудивительно, что от длительной неподвижности хрящ суставов портится, так как он делается тонким и хрупким.

В состав межклеточного вещества хряща входит не только протеогликан,

но и collagen. Собственно в целом протеогликана в организме содержится меньше, чем коллагена. Хотя оба вещества продуцируются хондроцитами, процессы их синтеза контролируются разными системами.

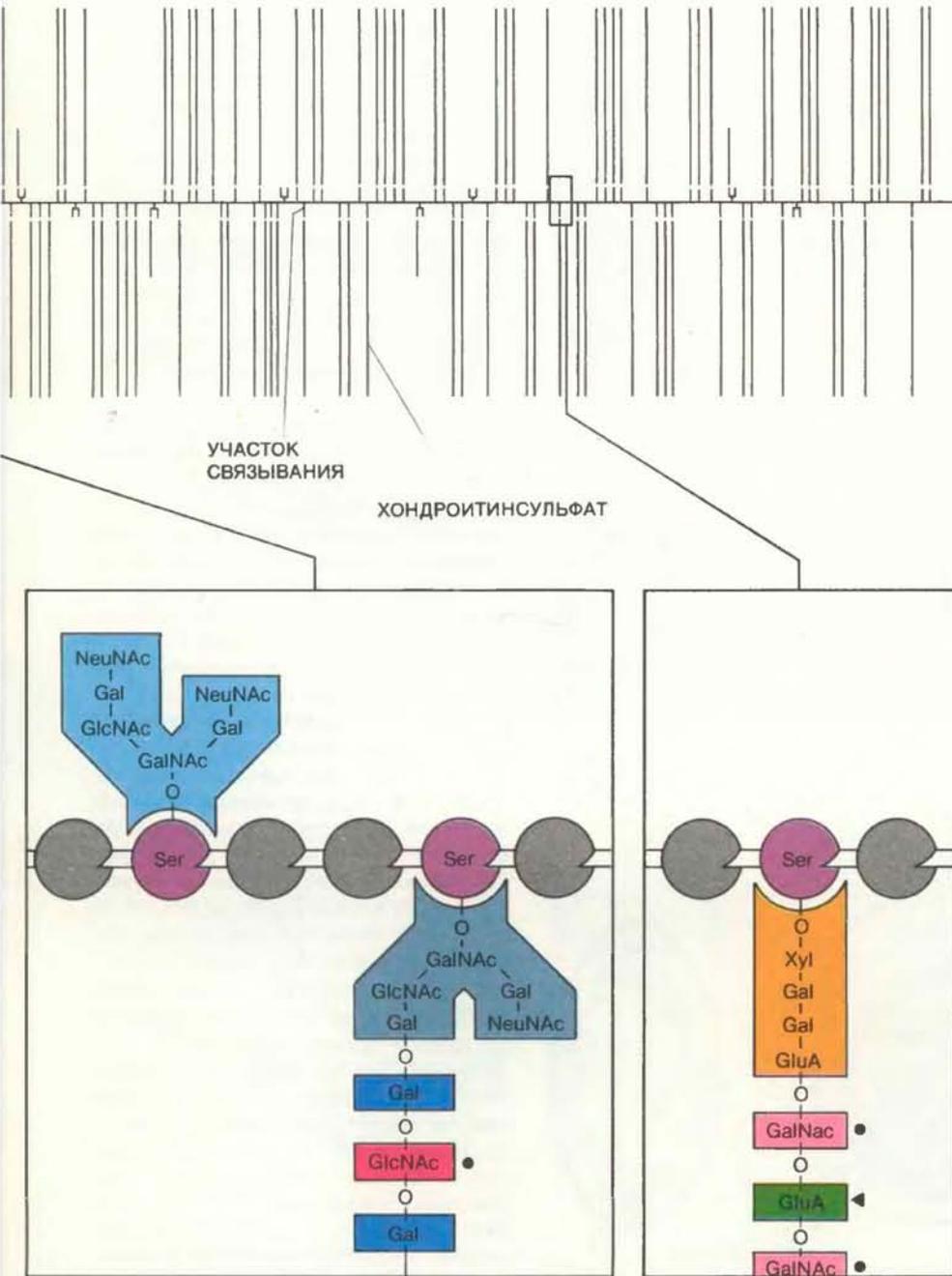
Коллагену всегда предшествует проколлаген. В этом белке, содержащем около 1100 аминокислотных остатков, каждая третья аминокислота — глицин. Примерно треть остальных аминокислот, располагающихся между остатками глицина, составляют пролин и гидроксипролин, которые в других белках встречаются редко. Эти две аминокислоты отличаются компактностью и жесткостью строения и поэтому хорошо подходят для образования туго закрученной спиральной структуры, благодаря чему из проколлагена получается коллаген.

Коллаген формируется так. Вначале проколлаген скручивается в компактную и жесткую левую спираль; затем, в случае того типа коллагена, который входит в состав хряща, три такие спирали объединяются в правую суперспираль. Уже вне клетки концы отдельных проколлагеновых молекул скрепляются. В результате образуется стержнеподобная макромолекула диаметром 1,4 нм и длиной 300 нм. Такие макромолекулы затем соединяются в более длинные и толстые волокна — фибриллы. Их диаметр варьирует от 10 до 200 нм в зависимости от ткани, в которой они находятся.

Прочность хряща обусловлена именно этой фибриллярной организацией коллагена. Сеть коллагеновых фибрилл в хряще выполняет такую же роль, как и стальные перекрытия здания. Между фибриллами располагаются мономерные протеогликаны и связывающие их кислоты они образуют макромолекулярные агрегаты, окруженные водой.

Развитие хряща

До настоящего времени немного было известно о том, какие изменения происходят в хряще в течение жизни и как эти изменения связаны со старением организма, в частности с заболеваниями суставов. Совместно с В. Хэсколлом и его сотрудниками из Национального института стоматологии мы провели исследования, целью которых было изучение структуры секретируемых хондроцитами протеогликанов на разных стадиях развития. Мы работали на культуре клеток из зачатка конечности куриного эмбриона, так как на этом объекте можно было наблюдать появление только что дифференцировавшихся хондроцитов, их развитие, превращение во «взрослые» хондроциты и, наконец, в «старые», или «стареющие». (Эти термины взяты в кавыч-



го собой последовательность чередующихся остатков галактозы и N-ацетилглюкозамина. Третья область — место присоединения цепей хондроитинсульфата (в нем чередуются глюкуроновая кислота и N-ацетилгалактозамин). В целом протеогликан несет большой отрицательный электрический заряд и поэтому структурирует воду. Когда хрящ испытывает давление, вода уходит из ткани; если давление исчезает, вода возвращается и форма структуры восстанавливается.

ки, ведь клетки в культуре «стареют» довольно быстро — в течение двух-трех недель. Кроме того, нельзя считать само собой разумеющимся, что в культуре клеток происходит в точности то же самое, что и в интактной ткани.) Через определенное время после начала культивирования клетки инкубировали в присутствии соединений, содержащих сульфатные группы, меченные радиоактивным изотопом серы ^{35}S . Метка включалась только в синтезируемые клетками протеогликаны.

Таким путем мы проследили процесс синтеза протеогликанов во времени. В только что дифференцировавшихся

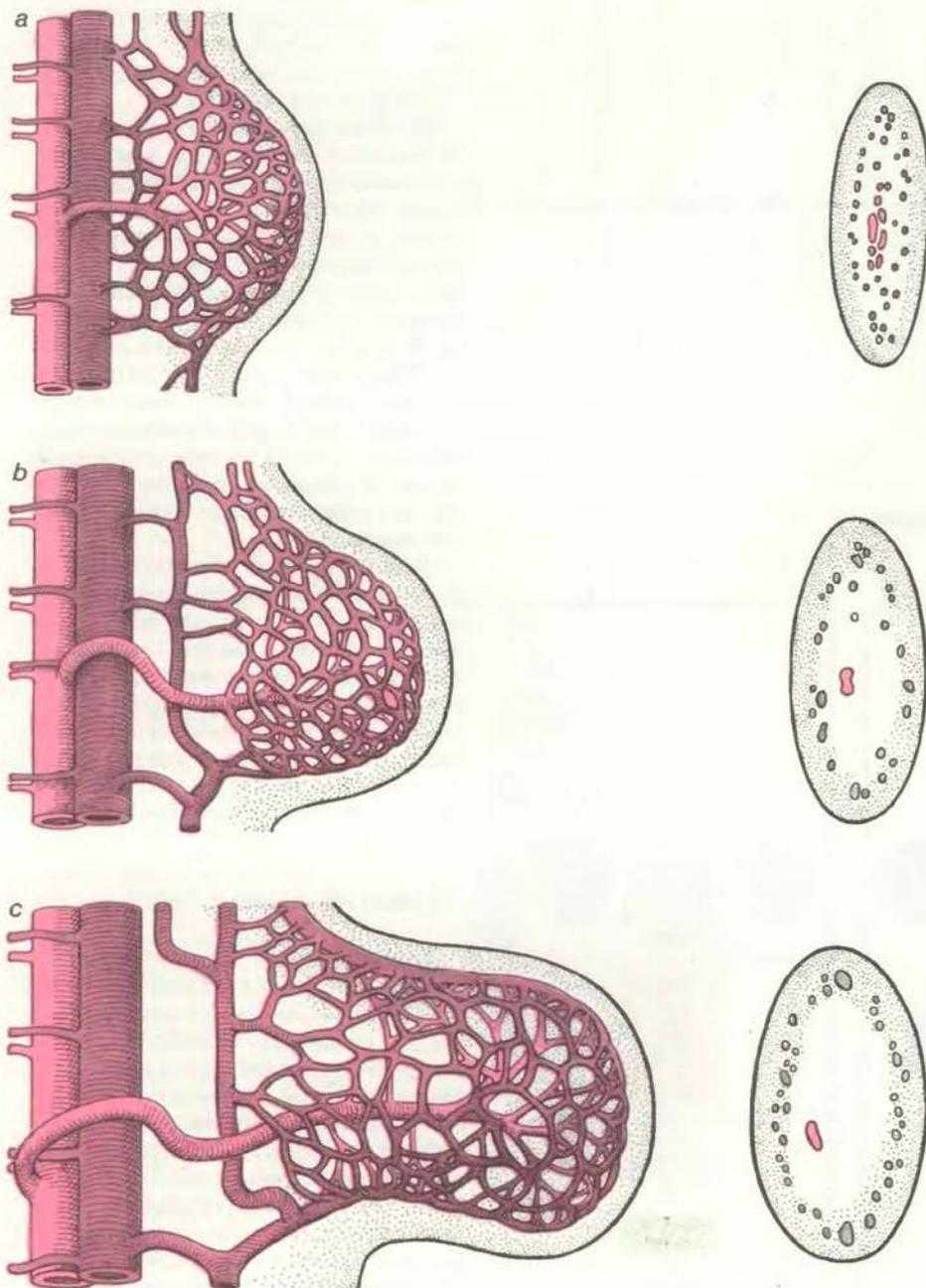
хондроцитах синтезируется протеогликан с очень длинными цепями хондроитинсульфата — в среднем в два раза длиннее, чем в более старых клетках. Кроме того, среди них относительно много хондроитин-6-сульфата. По мере развития доля хондроитин-6-сульфата уменьшается, а хондроитин-4-сульфата соответственно увеличивается. Изменяется со временем и кератансульфат. В молодых клетках его молекулы очень короткие, старые же клетки синтезируют гораздо более длинные цепи кератансульфата. Таким образом, длина и химический состав полисахаридных цепей протеогликана меняются на

протяжении двух-трех недель, в течение которых, согласно своей программе развития, клетки зачатка конечности превращаются из эмбриональных хондроцитов в «стареющие». Другими словами, на разных стадиях развития происходит синтез протеогликанов, химическая структура которых уже изначально различна, а не модифицируется в межклеточном веществе.

В зачатках конечностей эмбриона процесс старения хондроцитов завершается кальцинированием хрящевого межклеточного вещества, гипертрофией и отмиранием хондроцитов, проникновением в ткань кровеносных сосудов и, наконец, заменой хрящевой ткани костными клетками и костным межклеточным веществом, образующимся на месте основы из оставшегося межклеточного вещества хондроцитов. Можно предполагать, что «в предчувствии» замещения гипертрофированные хондроциты синтезируют протеогликан, значительно отличающийся от протеогликана зрелых хондроцитов. Существенно, что есть явная разница между программой замещения и процессом развития и старения хондроцитов в культуре. Действительно, в гипертрофированных хондроцитах цепочки хондроитинсульфата длинные и несут сульфатные группы преимущественно в шестом положении, что характерно для молодых хондроцитов.

Аналогию переходу от «молодых» протеогликанов к «старым», который происходит в культуре клеток из зачатка конечности куриного эмбриона, можно усмотреть в той разнице, которая существует между хрящом молодых и старых быков. Хондроциты, взятые из суставного хряща старых животных, синтезируют более короткие цепи хондроитинсульфата и более длинные кератансульфата. То же наблюдалось и в случае человеческих хондроцитов. Существуют также и «крупномасштабные» различия: у более старых животных протеогликаны меньше по размеру и структурируют вокруг себя меньше воды, в основном потому, что цепи хондроитинсульфата короче.

Я считаю, что это, возможно, одна из причин развития некоторых форм остеоартрита у пожилых людей. В самом деле, протеогликаны, продуцируемые стареющими хондроцитами, меньше структурируют воду, а значит, хрящ становится менее упругим. В результате ухудшается амортизация в сочленениях костей в суставах. А когда давление, испытываемое хрящом, превышает предел его прочности, в точках наибольшего давления он трескается. Это воспринимается иммунной системой как повреждение, и в таких местах начинается воспалительный процесс. В конце концов сустав опухает и появляются болезненные симптомы остеоартрита.



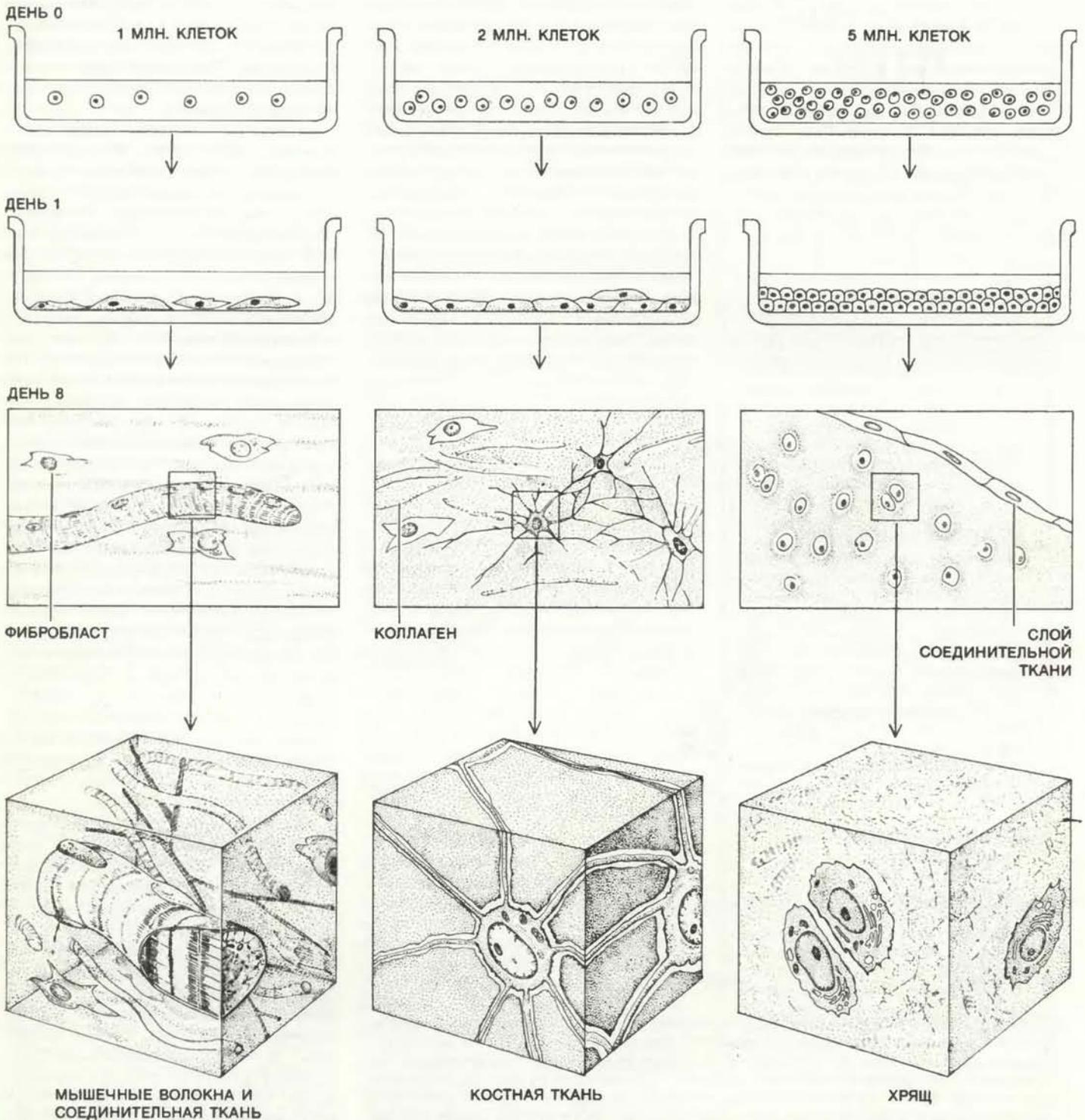
РАЗВИТИЕ ЗАЧАТКА КОНЕЧНОСТИ куриного эмбриона — пример запрограммированной регуляции появления хряща. Первоначально зачаток пронизан равномерной сетью капилляров (а). Затем один из центральных сосудов увеличивается, превращаясь в главную артерию конечности (b), вокруг него сосуды исчезают и сохраняются лишь по периферии (с). Хрящ развивается в центральной, лишенной сосудов области. Процесс развития хряща находится в обратной зависимости от развития системы кровоснабжения.

Можно ли обратить или замедлить развитие остеоартрита, если стимулировать размножение молодых хондроцитов в хряще суставов, ведь в этом случае будут синтезироваться протеогликаны, обладающие прежней способностью структурировать воду? Гипотеза очень привлекательная, но исходит она, к сожалению, из весьма упро-

щенного представления об остеоартрите и развитии хряща. Хотя и удалось разобраться в превращении хондроцита из «молодого» в «состарившийся» в культуре клеток, это вовсе не означает, что мы овладели ключом к пониманию жизненного цикла хондроцитов в организме. Самое главное, до сих пор не известно, сколько поколений хондроци-

тов сменяется в хряще в течение жизни животного.

Но можно утверждать, что изменяющимся характером синтеза протеогликана хондроцитами должны управлять по крайней мере трое различных биологических часов. Говоря о «часах», я имею в виду темпы реализации программы этих изменений либо темпы



ДИФФЕРЕНЦИРОВКА КЛЕТОК В КУЛЬТУРЕ ткани зависит от плотности их «посева» в культуральных чашках. При низкой плотности клетки распластаются по дну (слева) и большей частью не касаются друг друга. Через несколько дней развиваются мышечные волокна и между ними соединительная ткань. При средней плотности посева получает-

ся, что дно чашки выстлано клетками наподобие булыжной мостовой (в центре). В этих условиях развиваются клетки костной ткани и происходит минерализация окружающего их вещества. При высокой плотности клетки наслаиваются друг на друга и дифференцируются в хондроциты (справа).

изменения всей ткани в целом. Регуляторные механизмы, скорее всего, различны. Например, внутриклеточная регуляция синтеза протеогликана хондроцитами и регуляция продолжительности жизни хондроцитов осуществляются, вероятно, разными способами.

Первые часы отсчитывают свое время быстро; они контролируют развитие хрящевой ткани в эмбрионе, которая служит основой и замещается костью. Вторые часы идут медленно; в согласии в них хрящ, находящийся в ростовых пластинках длинных костей тела, обеспечивает их удлинение. У человека они останавливаются на втором десятилетии жизни, так как рост тела заканчивается к 20 годам. Ритм третьих часов — самый медленный; их ходу подчиняется хрящ суставов. Эти часы ведут программу изменений биосинтеза на протяжении всей жизни организма, у человека — до 60 лет и более.

Два эксперимента

Как регулируются сами часы? Пытаюсь обратить их ход и запустить вновь с

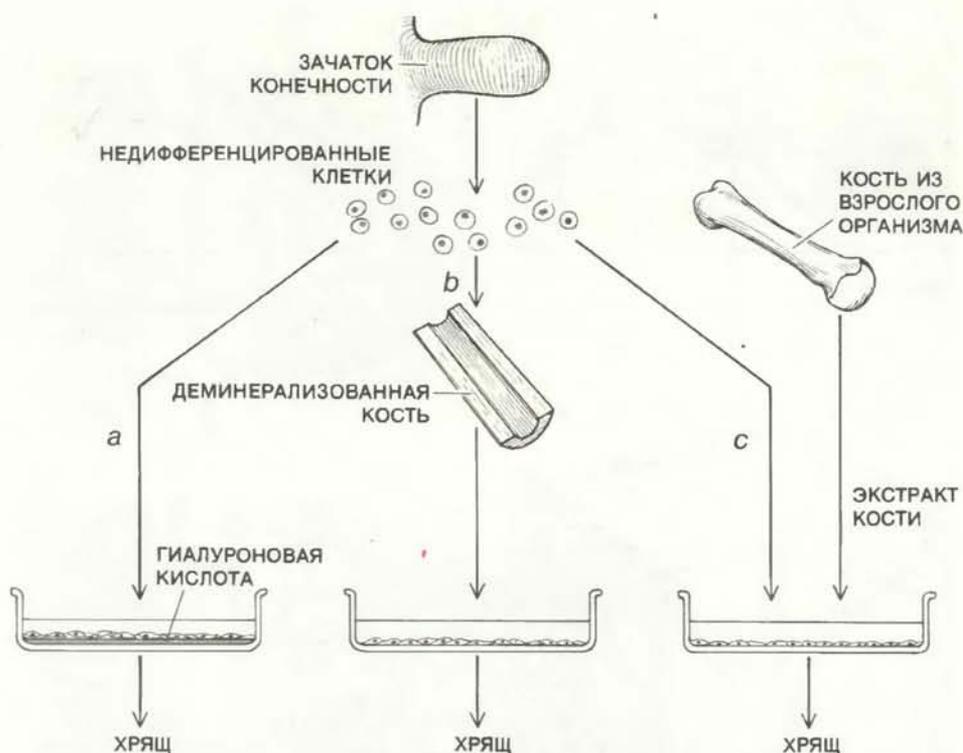
самого начала программу развития хрящевой ткани, мы провели два различных эксперимента. Основанием для первого послужило предположение о том, что межклеточное вещество каким-то образом определяет развитие хондроцитов. Мы взяли восьмидневную с высокой плотностью культуру мезодермальных клеток из зачатка конечности куриного эмбриона и, обработав ферментами, разрушающими белки межклеточного вещества, выделили из нее зрелые хондроциты. Изолированные клетки были посеяны на новые культуральные чашки. Чтобы идентифицировать протеогликаны, клетки инкубировали в присутствии сульфатных групп, меченных ^{35}S . Было показано, что хондроциты продолжают синтезировать такие же протеогликаны, как и до обработки, и продолжают развиваться по своей программе. Значит, отсутствие межклеточного вещества не заставляет часы идти с начала.

Во втором эксперименте мы пытались повлиять на ход часов, изменяя межклеточное вещество. Культуру клеток обработали β -амбеллиферилксилозидом — производным ксилоры,

которое проникает в хондроциты и конкурирует с субстратами фермента, катализирующего присоединение галактозы к ксилозе, за связывание с ним. (Молекула ксилоры в этот момент уже связана с центральным белком протеогликана.) Такая обработка не дает завершиться образованию цепочки из четырех сахаров, которой хондроитинсульфат соединяется с центральным белком. Когда в хондроцит проникает β -амбеллиферилксилозид, цепи хондроитинсульфата связываются с ним, а не включаются в состав протеогликана. Этот хондроитинсульфат можно выделить из среды, окружающей хондроциты.

Результаты оказались очень интересными. Если клетки из зачатка конечности куриного эмбриона, растущие в культуре с высокой плотностью, непрерывно инкубировать с β -амбеллиферилксилозидом, то они дифференцируются в хондроциты, но синтезированные ими протеогликаны оказываются почти совсем лишенными хондроитинсульфата и поэтому гораздо меньше по размеру, чем обычные протеогликаны. И получается, что клетки не разделены нормальной толщиной межклеточного вещества, а наползают друг на друга. В определенный момент, а именно на восьмой день роста культуры, мы удалили из среды β -амбеллиферилксилозид и инкубировали клетки в присутствии радиоактивных сульфатных групп. И опять оказалось, что новосинтезированные протеогликаны не отличаются по структуре от протеогликанов контрольных восьмидневных клеток. А ведь обработанные клетки никогда не синтезировали нормальные протеогликаны и никогда не находились в нормальном межклеточном веществе. Их метаболизм был нарушен необычным воздействием, но часы все равно аккуратно отсчитывали свое время и в синтезе протеогликанов происходили запрограммированные изменения.

Несомненно, хондроциты претерпевают необратимые изменения в ходе развития, так что обычно невозможно ни обратить его программу, ни «включить» ее с какой-то произвольной, не начальной точки. Эффекты талидомида и других тератогенов (веществ, вызывающих дефекты в развитии эмбриона), похоже, подтверждают эту точку зрения. Талидомид вызывает морфологические изменения, однако локальные, т.е. вокруг искаженной структуры прочие структуры остаются нормальными. Например, кисть и плечо могут быть нормальными, а рука между ними — уродливой. Очевидно, закладка руки, согласно программе развития, происходила в тот момент, когда тератоген проник к клеточному аппарату синтеза белка. Действие тератогена затронуло процесс развития руки, но вы-



ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ АГЕНТОВ НА ДИФФЕРЕНЦИРОВКУ клеток в хондроцитах. Клетки из зачатка конечности куриного эмбриона были посеяны на культуральные чашки со средней плотностью. В первом эксперименте (а) дно чашки было покрыто гиалуроновой кислотой; клетки на такой подложке дифференцировались в хондроциты. Во втором эксперименте (b) из кости взрослого животного удалили кальций и фосфаты и клетки зачатка конечности инкубировали с оставшимся костным веществом, прежде чем поместить в культуральную чашку. И в этом случае развивались хондроциты. В третьем опыте (с) культуру клеток обработали экстрактами из кости. Клетки также становились хондроцитами. Без дополнительной обработки клетки зачатка конечности, посеянные со средней плотностью, не дифференцируются в хондроциты. С своей стороны, экстракт из кости может стимулировать две различные клеточные активности: размножение клеток и дифференцировку их в хондроциты.

полнение программы продолжалось, так что, как только тератоген был удален, сформировалась нормальная кисть.

Протеогликианы, синтезированные в тот или иной момент времени, становятся частью хрящевой ткани, вся структура которой также зависит от времени. Это означает, что структура хряща определяется двумя временными параметрами. Значит, мало надежды на то, что развитие остеоартрита можно остановить, если повторно «заселить» коленный сустав молодыми хондроцитами. Новые хондроциты, конечно, синтезировали бы «молодые» протеогликианы, которые могли бы образовать упругое межклеточное вещество. Однако они включались бы в состав уже сложившейся ткани, которая значительно изменилась с тех пор, как сама была «молодой».

Пример такого случая — мутантные мыши, называемые короткопальными. У них дефектен сульфатирующий фермент: он не способен присоединять сульфатные группы, из-за чего в эмбриональных протеогликанах отсутствует полноценный хондроитинсульфат. В результате развивается ненормально маленький плод с уродливыми конечностями. Предположим, у новорожденной мыши появится активный фермент. Он будет присоединять сульфатные группы к новосинтезированным молекулам протеогликана. Но этим молекулам придется включиться в межклеточное вещество, сформировавшееся с мутантными протеогликанами и потому более подходящее для них, а не для нормальных протеогликанов. Чтобы уродство мышей исправилось, нужно найти способ постепенно заменить дефектный фермент на активный.

Влияние хряща на развитие организма

В процессе замены хряща костью в развивающемся организме происходит кальцинирование межклеточного вещества и образование сосудов. Можно думать, что хрящ и костная ткань содержат вещества, глубоко влияющие на другие ткани. Эту идею стоит взять на вооружение для борьбы с различными болезнями. С ее помощью можно также разобраться в порядке развития тканей тела.

Рассмотрим тот поразительный факт, что в нормальном, здоровом хряще отсутствуют сосуды. В курином эмбрионе те клетки, которые станут после дифференцировки хондроцитами, можно идентифицировать потому, что там, где они находятся, — в центре развивающейся конечности — нет кровеносных сосудов. В полностью сформировавшемся организме ситуа-

ция во многом сходная. Сотрудники Медицинского колледжа Раша и Гарвардской медицинской школы К. Кьютнер, Р. Эйзенштейн, Н. Сордженте и М. Фолкман показали, что в хряще действительно содержится какое-то вещество, специфически тормозящее проникновение в ткань кровеносных сосудов. Сосуды только тогда внедряются в хрящ, когда программа его развития выполнена, а хондроциты становятся гипертрофированными и отмирают; васкуляризация предшествует образованию кости.

Природа этого вещества до сих пор не установлена, и исследования продолжают. Например, получают экстракты хрящевой ткани, фракционируют их и каждую фракцию проверяют, чтобы найти ту, которая тормозит васкуляризацию. Идентификация гипотетического ингибитора — очень важная задача, в частности в связи с тем, что для роста опухоли необходимо хорошее снабжение кровью. Быть может, фактор, выделенный из хряща, окажется способным нарушать кровоснабжение растущей опухоли и приводить тем самым к ее гибели. Этим вопросом занимаются лаборатории многих университетов и фирм. Их усилия направлены на выделение и очистку из хряща взрослого организма соединений, которые влияли бы на рост и развитие тканей, а также на патологические процессы в них.

Пока что в результате изучения хрящевой ткани стало ясно по крайней мере одно — и эмбриональное развитие хряща, и возрастные изменения его в сформировавшемся организме зависят от однотипных запрограммированных изменений, которые проявляются в межклеточном веществе, продуцируемом хондроцитами. В частности, развитие и старение хряща отражают изменения синтеза протеогликанов, которые в конечном счете контролируются генетическим аппаратом.

Сейчас в нашей лаборатории исследуются протеогликианы, обнаруженные нами в мышцах и даже в мозгу эмбриона. Мы предполагаем, что эти протеогликианы, так сказать, резервируют пространство, заполняя его структурированной водой, для того, чтобы потом оно использовалось для построения органов и структур нужной формы, точно так же как хрящ заполняет объем, в котором затем формируются длинные кости. Таким образом, изучение хряща привело нас к модели, которая поможет понять механизм, контролирующий развитие в целом.

В настоящее время широко исследуется и проблема старения. Возможно, люди, которые не страдают возрастными заболеваниями суставов, обладают такими наследственными особенностями, которые благотворно влияют на структуру хряща или замедляют

ход часов, определяющих изменения в нем. Поняв структуру и функции хряща на молекулярном уровне, мы, быть может, найдем средство изменить программу развития организма так, чтобы его угасание было менее неприятным.

Издательство МИР предлагает:

А. Козане, Г. Мэтр и др.
ОПТИКА И СВЯЗЬ

Перевод с французского

Книга представляет собой первое в мировой литературе учебное пособие по оптической волоконной связи и оптическим методам обработки информации. Впервые в одной книге с единых позиций рассмотрен весь комплекс вопросов, связанных с этой областью знаний.

Содержание книги можно условно разбить на две части. Первая часть посвящена физике распространения света как в открытом пространстве, так и в направляющих системах, теории голографии и оптической обработке информации с использованием как когерентного, так и некогерентного света, распространению света в оптических волокнах и измерению их характеристик. Во второй части книги рассмотрены физические принципы создания элементной базы оптических систем связи (лазеры, фотоприемники, модуляторы света и др.), а также способы передачи информации оптическими методами с использованием как аналоговых, так и цифровых способов.

Книгу отличает высокий научный и методический уровень. Она будет полезна не только студентам, аспирантам и преподавателям, но и инженерам и научным сотрудникам, работающим в области оптической волоконной связи и оптической обработки информации или желающим ознакомиться с этой новой бурно развивающейся и перспективной областью науки и техники.

1984, 31 л. Цена 2 р. 50 к.



Эпсилон Возничего

Наблюдения излучения этой двойной звездной системы в инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах спектра, проведенные во время последнего затмения, позволяют предположить, что затмевающий объект — это горячая молодая звезда, окруженная большим облаком пыли и газа, которое и породило ее

МАРГЕРИТА ХАК

В КОНЦЕ лета на средних широтах северного полушария над восточным горизонтом можно видеть созвездие Возничего, которое восходит вскоре после заката и лежит к северу от Ориона. При помощи простой звездной карты нетрудно отыскать звезду третьей величины, помеченную в созвездии Возничего буквой «эпсилон», — немного к юго-западу от Капеллы, самой яркой звезды в этой области неба. Осенью 1982 г. внимательный наблюдатель мог заметить, что Эпсилон Возничего начала медленно тускнеть. К декабрю того же года ее исходный блеск уменьшился наполовину, и в течение почти 11 месяцев она оставалась звездой четвертой величины. Затем она постепенно стала ярче и к середине мая 1984 г. снова достигла прежней звездной величины.

Такой цикл ослабления и увеличения блеска повторялся в XX в. четыре раза с одинаковыми интервалами в 27,1 года. Механизм, лежащий в его основе, впервые объяснил в 1904 г. немецкий астроном Г. Людендорф. Это явление — результат затмения первичной, т.е. яркой, видимой звезды невидимым «спутником»; видимая звезда и ее спутник образуют двойную систему, связанную гравитацией. Продолжительность цикла соответствует орбитальному периоду — самому длинному из известных среди затменно-переменных звезд, но труднее всего объяснить его темную стадию. Ее длительность показывает, что затмевающий объект должен быть огромен: размер объекта, способного на почти двухгодичное затмение, должен равняться примерно 1500 солнечным радиусам. Хотя каждое затмение изучалось новым поколением астрономов при помощи новых все более точных наблюдательных методов и на основе все усложнявшейся теории, природа затмевающего объекта остается тайной Эпсилон Возничего.

Затмение 1982—1984 гг. было первым, во время которого звезду можно было наблюдать со спутников; эти наблюдения расширили наши знания

об Эпсилон Возничего в дальней ультрафиолетовой области. Что касается другого конца электромагнитного спектра, то наблюдения в дальнем инфракрасном диапазоне проводились на таких инструментах, как 3-метровый инфракрасный телескоп Национального управления по авиации и исследованию космического пространства (НАСА) на вершине Мауна-Кеа на Гавайских островах. Собранные за время последнего затмения данные еще изучаются и будут обсуждаться на специальной встрече в Тусоне (шт. Аризона) в январе 1985 г. Они подтверждают прежние свидетельства в пользу того, что Эпсилон Возничего — уникальный объект в Млечном пути, и уже позволили отбросить несколько моделей, предложенных ранее для объяснения наблюдений. Тем не менее, развивая и комбинируя некоторые предыдущие модели звезды, теперь можно правдоподобно и довольно подробно расшифровать спектроскопический и фотометрический «код», идущий к нам от звезды с расстояния 1900 св.лет.

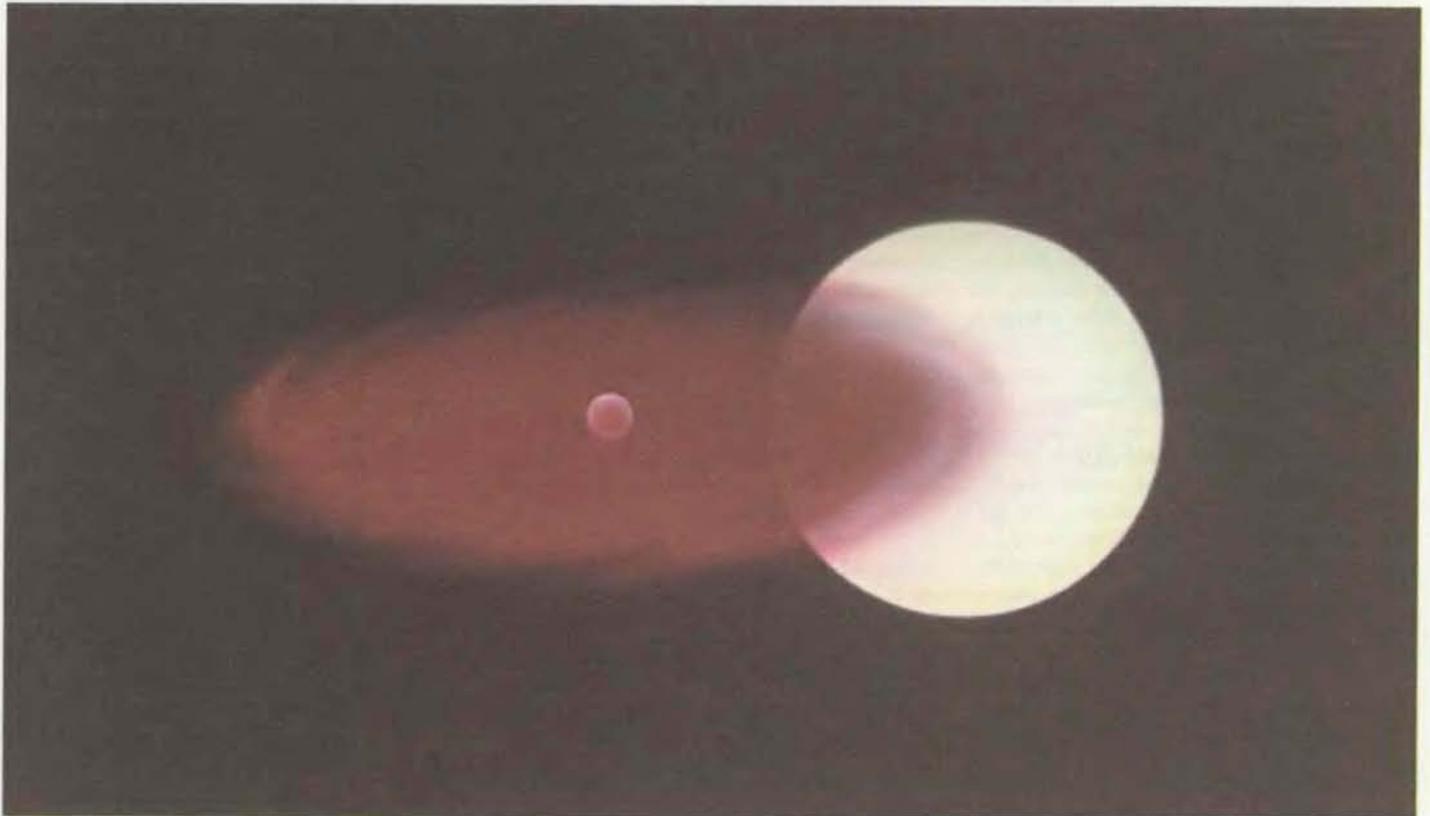
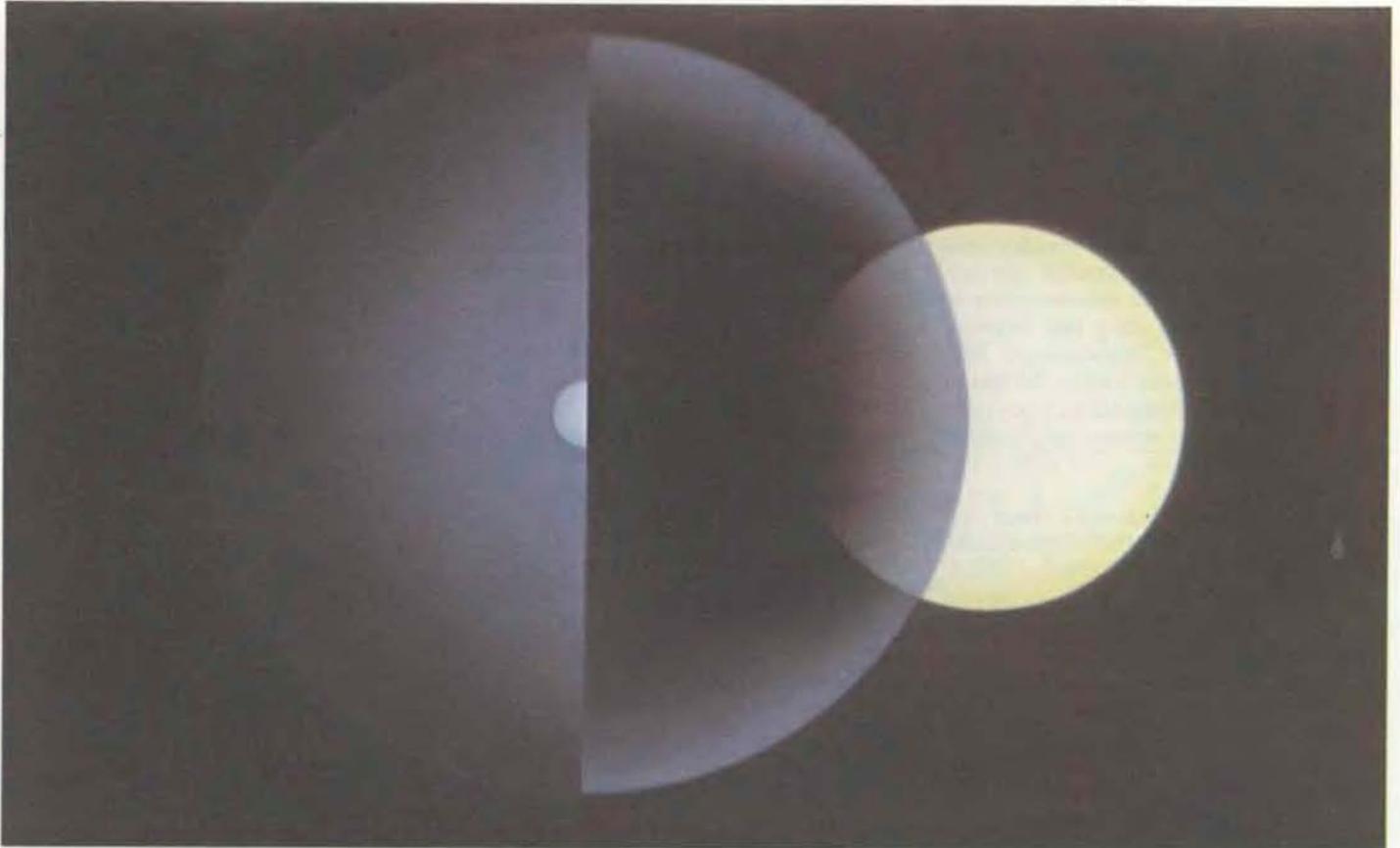
В САМИХ по себе данных визуальных наблюдений затменно-переменной двойной системы нет ничего необычного. По меньшей мере половина звезд в Млечном пути входит в связанные гравитацией двойные системы, а многие из этих систем так ориентированы в пространстве относительно нас, что их звезды периодически затмевают друг друга. Все затменно-переменные системы — слишком удаленные объекты и не разрешаются на отдельные компоненты, поэтому такая система кажется одиночной звездой. Однако затмение в системе может вызывать периодические изменения блеска наблюдаемой звезды подобно тому, как мигают фары встречного автомобиля, когда невидимый ночью пешеход переходит перед ним дорогу.

Ослабление блеска Эпсилон Возничего в течение двух лет стало лишь первым свидетельством необычности

этой системы — полное представление о проблеме могут дать только спектральные исследования. Измеряя доплеровское смещение спектральных линий первичной звезды, можно определить составляющую ее скорости вдоль луча зрения с Земли на звезду. По этой составляющей можно рассчитать орбиту первичной звезды вокруг центра масс системы и оценить сверху и снизу массу спутника. Судя по характеристикам орбиты, масса спутника заключена в пределах от 4 до 15 солнечных масс.

Удивительно, что при такой массе и огромных размерах, определенных по длительности затмения, спутник нельзя увидеть даже с помощью самых больших телескопов. При вторичном затмении спутника первичной звездой можно было бы различить спутник даже на три звездных величины, или в 16 раз более тусклый, чем первичная звезда. Такой чувствительности можно достичь только в том случае, когда плоскость орбиты системы почти параллельна лучу зрения наблюдателя; если наклон орбиты таков, что затмевающая первичная звезда лишь слегка «задевает» диск спутника, то и более яркий спутник может остаться незамеченным. Но в наблюдениях с наземных инструментов спектр спутника и до и после затмения полностью подавляется спектром первичной звезды. Это значит, что спутник слабее первичной звезды по блеску по крайней мере на две звездные величины.

Можно предположить, что спектр спутника удастся получить во время затмения им первичной звезды. То, что наблюдается на самом деле, — одна из самых больших загадок и наиболее ярко выраженных особенностей системы Эпсилон Возничего. Линии в спектре системы во время затмения почти не отличаются от линий, видимых до и после затмения. Это могло бы означать, что оба объекта системы принадлежат к одному и тому же спектральному классу и имеют одинаковую поверхностную температуру, но такое



РАННИЕ МОДЕЛИ затменно-переменной двойной системы Эпсилон Возничего для описания объекта, который способен создавать затмение продолжительностью почти два года, никогда не перекрывая полностью свет от затмеваемой первичной звезды. Необходимо было также объяснить почти одинаковое ослабление света во всем видимом диапазоне. В одной из самых удачных ранних моделей предполагалось, что затмение создается оболочкой из ионизованного газа и свободных электронов, окружающей горячий спутник, который можно наблюдать только в ультрафиолето-

вой области (*вверху*); здесь удалена четверть оболочки и показана половина диска спутника. В другой ранней модели предполагалось, что затмевающее тело — диск из пылинок, средний диаметр которых значительно больше длины волны инфракрасного излучения (*внизу*). Он похож на пылевой диск, из которого развилась солнечная система; в него, возможно, погружена протозвезда. Недавние наблюдения в ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра указывают на то, что ни одна из этих моделей не может полностью объяснить имеющиеся данные.

объяснение не годится потому, что до и после затмения спутник наблюдать не удается.

Другое объяснение состоит в том, что спектр первичной звезды всегда можно наблюдать. Например, диск первичной звезды не полностью закрывается спутником, или ее затмевает облако пыли или газа, через которое проникает излучение первичной звезды. Какую бы из моделей мы ни приняли, ее следует согласовать с тем фактом, что интенсивность излучаемого первичной звездой света падает во время затмения во всех диапазонах и почти не зависит от длины волны, на которой ведется наблюдение.

ЧЕМ ЖЕ можно объяснить такое уникальное сочетание наблюдательных фактов? Людендорф предположил, что спутник не звезда, а «рой» метеоритов, обращающихся вокруг первичной звезды. В несколько измененном виде это предположение снова высказывалось в 60-х годах; но во времена Людендорфа гигантская масса, которую пришлось бы приписать метеоритному облаку, для большинства астрономов казалась неприемлемой.

В 1937 г. Дж. Койпер, О. Струве и Б. Стремгрен из Йеркской обсерватории предложили модель, основанную

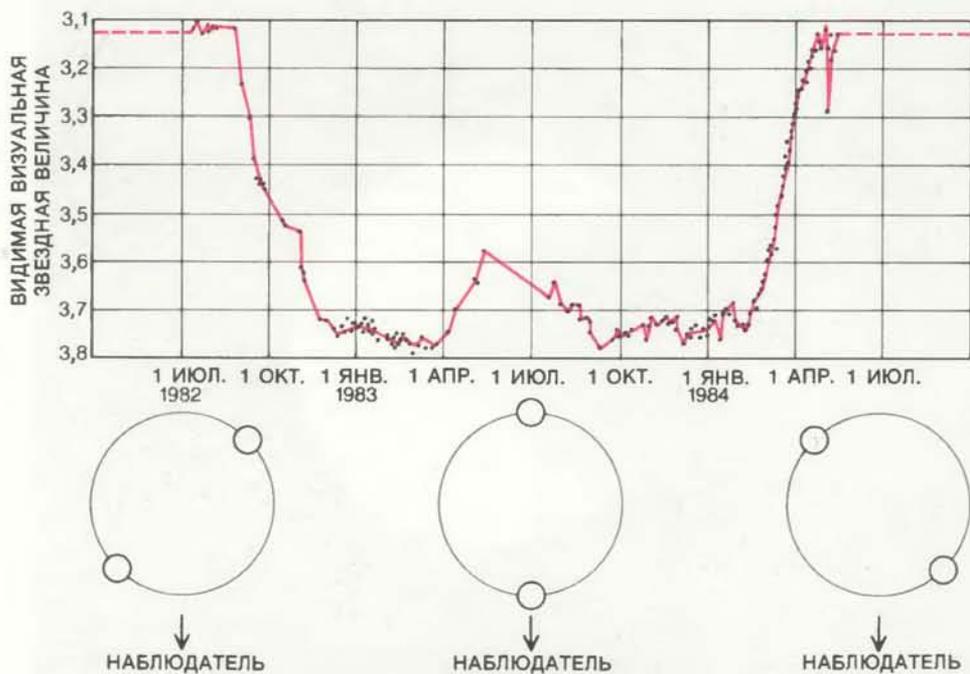
на наблюдениях затмения 1928 — 1930 гг. Согласно их модели, спутник — это огромная, но чрезвычайно разреженная газовая масса, так называемая *I*-звезда, частично прозрачная для света. Для согласия возможной массы спутника с продолжительностью затмения газ должен быть настолько разреженным, что пришлось вводить механизм для уменьшения прозрачности *I*-звезды.

Этот механизм аналогичен тому, который создает земную ионосферу. Атомы во внешних слоях звезды должны быть ионизованы, т.е. лишены одного или нескольких электронов под действием ультрафиолетового излучения первичной звезды. Свободные электроны рассеивают свет независимо от его длины волны. Поэтому, проходя через ионизованный слой *I*-звезды, излучение первичной звезды, видимое из нашей солнечной системы, ослабляется равномерно во всех диапазонах. Предполагалось, что температура *I*-звезды равна примерно 700°C, т.е. слишком мала, чтобы видимое излучение могло быть обнаружено; этим и объясняется тот факт, что спутник не наблюдается.

Один из главных недостатков модели, предложенной в 1937 г., был связан с тем, что даже существование сво-

бодных электронов не может обеспечить уменьшения светового потока во время затмения. В 1954 г. З. Копал из Манчестерского университета предложил заменить затмевающее тело кольцом твердых частиц или пылинок, окружающим невидимую звезду-спутник. Кольцо считается достаточно плоским, таким, что если смотреть на него примерно сбоку, оно заслоняет лишь половину видимого полушария первичной звезды. Позже Копал предположил, что этот диск очень похож на протопланетную туманность — вращающийся диск из газа и пыли, из которого может образоваться планетная система. И в этой модели спектр первичной звезды всегда наблюдаем, а затмевающее тело лишь поглощает ее свет и не вносит заметного вклада в излучение системы.

Почти все астрономы в принципе согласны с геометрической картиной, соответствующей двум последним моделям. Таким образом, затмевающее тело является либо полупрозрачной оболочкой, поглощающей половину света первичной звезды, либо плоским диском, покрывающим лишь половину ее полушария. Однако два главных вопроса — каков состав затмевающего вещества и какова природа невидимого спутника — пока остаются без ответа.



КРИВАЯ БЛЕСКА — график зависимости от времени интенсивности излучения (видимой звездной величины) Эпсилон Возничего. Такая кривая стала первым свидетельством в пользу того, что эта звезда является затменно-переменной. Внизу схематически изображено затмение: часть излучения более отдаленной из двух звезд системы периодически перекрывается объектом, пересекающим луч зрения с Земли на отдаленную звезду. Кривая блеска показывает, что во время затмения полный поток излучения Эпсилон Возничего уменьшается на 0,8 звездной величины, т.е. примерно наполовину по сравнению с ее блеском вне затмения. Каждая частная фаза затмения, вход и выход, длится 192 дня, а полная фаза, т.е. период его наибольшей глубины, продолжается 330 дней. Данные взяты из измерений, сделанных во время затмения 1982—1984 гг. наблюдателями Обсерватории Гопкинса в Фениксе (шт. Аризона) и Астрономической обсерватории в Тьернсланде (Швеция).

ИЗВЕСТНЫ лишь два вида вещества, способного поглощать свет независимо от длины волны. Я уже упоминала, что газ из свободных электронов может одинаково рассеивать свет на всех длинах волн. Вторая «кандидатура» — облако пылинок. Если диаметр каждой пылинки существенно превосходит длины волн инфракрасного и видимого диапазонов, то пылевое облако будет поглощать излучение на всех принимаемых длинах волн. Согласно некоторым моделям Эпсилон Возничего, в геометрии которых сочетаются оболочка и диск, основной причиной затмения служит пыль.

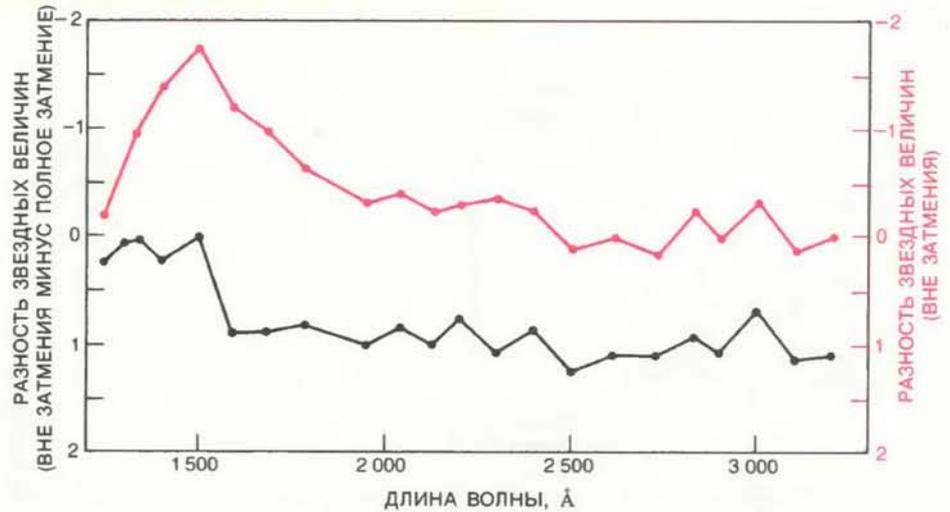
Однако детальное изучение спектров, полученных во время и вне затмения, не соответствует этому предположению. Спектры позволяют провести тонкое, но четкое различие между светом, рассеянным затмевающим телом, и светом, который идет от первичной звезды на Землю беспрепятственно. Спектр первичной звезды представляет собой набор темных линий поглощения на фоне излучаемого света, образующего континуум спектральных цветов. Линии поглощения обусловлены возбуждением атомов фотонами в фотосфере — внешней, видимой оболочке звезды. По законам квантовой механики атомы могут возбуждаться лишь до определенных, дискретных энергетических уровней, так что и расходуемая на их возбуждение энергия должна принимать дискретные значения, соот-

ветствующие допустимым уровням возбуждения. Поэтому фотоны с этими дискретными значениями энергии поглощаются, а остальные пропускаются; в результате возникает спектр поглощения, характерный для атомов, составляющих фотосферу.

Если бы часть излучаемого звездой света проходила через оболочку или диск из пыли, то свет рассеивался бы во всех направлениях. Спектр рассеянного света был бы почти таким же, как и у первичной звезды, наблюдаемой вне затмения. Звезды в двойной системе, как правило, вращаются вокруг своих осей и обращаются вокруг общего центра масс в одинаковом направлении — или по часовой стрелке, или против нее. Если затмевающее тело — оболочка или диск, то оно тоже должно вращаться, и во время входа в затмение непосредственно перед его полной фазой та часть оболочки или диска, которая заслоняет первичную звезду, вращается по направлению от наблюдателя (см. рисунок на с. 40). Поэтому линии поглощения рассеянного света сдвигаются за счет эффекта Доплера к красному концу спектра.

Во время выхода из затмения, непосредственно вслед за его полной фазой, эффект противоположен. Та часть оболочки или диска, которая заслоняет первичную звезду, вращается к наблюдателю, и рассеянный свет испытывает фиолетовое доплеровское смещение. Во время полной фазы смещение отсутствует, поскольку первичную звезду затмевает центральная часть оболочки или диска с нулевой составляющей скорости вращения вдоль луча зрения. Наблюдаемый спектр — результат наложения двух компонентов: спектра рассеянного света и спектра света, достигающего Земли непосредственно от первичной звезды без рассеяния. Поэтому незадолго до и сразу после полной фазы затмения линии поглощения первичной звезды должны быть несколько уширены в направлении доплеровского смещения, а разность интенсивности света в самой темной части линии и в окружающем ее континууме должна уменьшиться.

Если же свет первичной звезды проходит сквозь газ из свободных электронов, то наблюдаемый спектр немного усложняется. Свет не просто рассеивается электронами — он также изменяется, проходя через газ, состоящий из ионизованных атомов. Этот газ и фотосфера первичной звезды состоят примерно из одинаковых атомов; газ тоже поглощает фотоны, длина волны которых соответствует некоторым энергетическим уровням возбужденных атомов. Возникающие при этом линии поглощения накладываются на спектр излучения, достигающего Земли непосредственно от первичной звезды.



РАЗНОСТЬ МЕЖДУ ЗВЕЗДНОЙ ВЕЛИЧИНОЙ Эпсилона Возничего до затмения и во время затмения показана кривой черного цвета. В ближней ультрафиолетовой области между 1600 и 3000 Å эта величина колеблется от 0,8 до 1 звездной величины, т.е. блеск меняется в 2—2,5 раза. Однако в дальней ультрафиолетовой области, на длинах волн короче 1600 Å, она не превосходит 0,2 звездной величины, т.е. блеск меняется примерно в 1,2 раза. На таких коротких волнах излучение первичной звезды незначительно и влияние затмения невелико. При этом наблюдается свет горячего спутника, который во время затмения находится впереди и излучает в основном в дальней ультрафиолетовой области. Показана также зависимость от длины волны разности между звездными величинами, наблюдавшимися в два разных момента перед затмением (*цветная кривая*). На длинах волн больше ~1700 Å блеск системы почти постоянный. Однако на меньших длинах волн звездная величина меняется во времени, что указывает на присущую спутнику собственную переменность.

В результате во время полной фазы затмения линии поглощения в спектре усиливаются (темнеют по сравнению с окружающим континуумом). При входе и выходе из затмения линии поглощения в оболочке или газовом диске, как и при прохождении света через пылевое облако, претерпевают доплеровское смещение. В сочетании с доплеровским смещением усиление линии часто приводит к тому, что она расщепляется на два узких пика. Раздвоенные линии в спектре поглощения свидетельствуют о наличии рассеивающей свет оболочки или диска; смещенные компоненты линий образуют так называемый спектр оболочки.

ЛИНИИ в спектре Эпсилона Возничего, смещенные за счет эффекта Доплера, были замечены Людендорфом в 1901 г. и стали хорошо известны после затмения 1928—1930 гг. Эти линии усилены, что связано со спектром оболочки, а многие из них имеют два узких пика при входе и выходе из затмения. Поэтому предполагалось, что затмение первичной звезды вызывается газом, а не пылью.

Данные о затмении 1928—1930 гг. очень хорошо подтвердили этот вывод. Струве обнаружил, что некоторые линии поглощения, соответствующие возбуждению атомов на более высокие энергетические уровни, не усиливаются при полной фазе затмения и не расщепляются на дублеты во время его част-

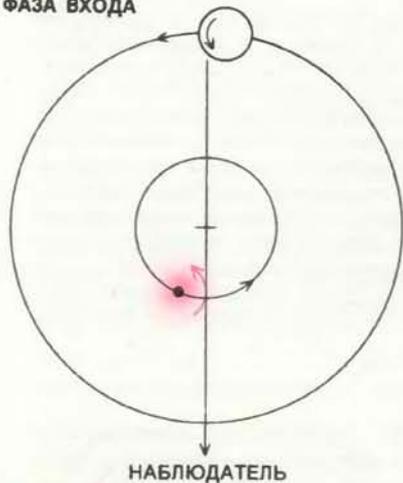
ных фаз. Например, не обнаружилось компонента спектра оболочки у голубой линии с длиной волны 4481 Å однократно ионизованного магния. Если бы затмевающее тело полностью состояло из пыли, то голубая линия магния имела бы доплеровское смещение за счет оболочки или диска и изменение ее формы наблюдалось бы в спектре. Однако если первичную звезду затмевает газ, состоящий из атомов и свободных электронов, объяснить природу голубой линии магния нетрудно. По-видимому, температура и плотность газовой оболочки или диска намного ниже, чем в фотосфере звезды, где эта линия впервые возникает. Поэтому количество фотонов и частиц в оболочке или диске, достаточно энергичных для возбуждения атомов на более высокие уровни, слишком мало, и усиление соответствующих линий поглощения не наблюдается.

В 1954 г. Р. Крафт, в то время молодой сотрудник Струве в Калифорнийском университете в Беркли, обнаружил трудности, связанные с гипотезой о рассеянии на электронах. Струве считал, что источником энергии, необходимой для ионизации атомов в затмевающей оболочке или газовом диске и высвобождения электронов, служит первичная звезда. Однако мощность излучения первичной звезды известна из прямых наблюдений. Температура поверхности звезды около 7500°C, а радиус примерно в 100 раз больше сол-

ВНЕ ЗАТМЕНИЯ

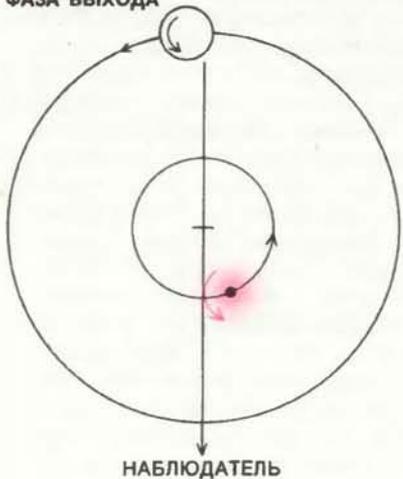


ФАЗА ВХОДА

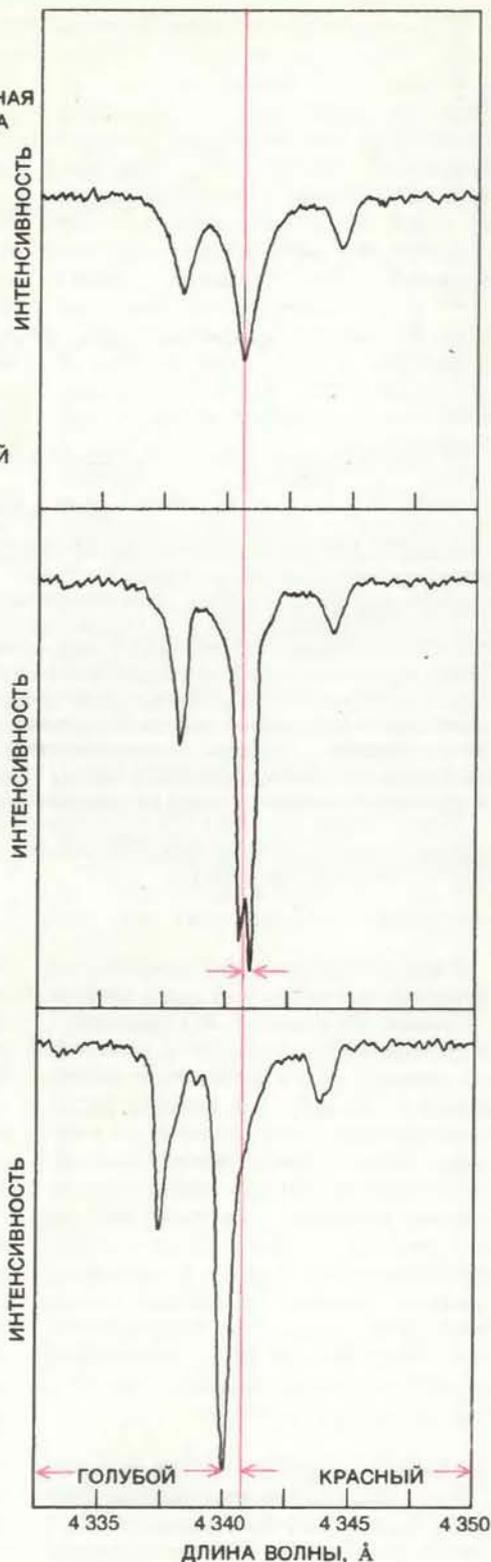


НАБЛЮДАТЕЛЬ

ФАЗА ВЫХОДА



НАБЛЮДАТЕЛЬ



«СПЕКТР ОБОЛОЧКИ» Эпсилон Возничего лучше всего наблюдается во время входа и выхода из затмения. Вверху показана голубая область спектра вблизи от одной из так называемых бальмеровских линий водорода при 4340 Å; эта длина волны соответствует энергии, поглощаемой атомами водорода в фотосфере первичной звезды. На фазах входа и выхода из затмения линия имеет минимум и расщепляется на два пика; это можно связать с дополнительным поглощением, когда часть излучения первичной звезды начинает поглощаться атомами водорода в газовом облаке. Во время входа в затмение вращение облака таково, что газ на луче зрения между Землей и первичной звездой движется от наблюдателя, поэтому линия поглощения за счет эффекта Доплера смещается к красному концу спектра (в середине). Во время выхода из затмения линия поглощения смещается за счет эффекта Доплера к фиолетовому концу спектра, поскольку затмевающая часть облака движется к наблюдателю (внизу). Спектры получены автором статьи с сотрудниками на кудэ-спектрографе 152-сантиметрового телескопа Обсерватории Верхнего Прованса в Сан-Мишеле (Франция).

нечного. Крафт вычислил, что плотность электронов в оболочке или диске вследствие ионизации таким потоком излучения составляет около 100 млн. на 1 см^3 . Это слишком мало — примерно в 1000 раз меньше плотности, необходимой для объяснения глубины затмения. Другими словами, если непрозрачность оболочки или диска связана с рассеянием на электронах, высвобожденных при действии света первичной звезды, то эта непрозрачность оказывается недостаточной для объяснения наблюдений.

Крафт высказал предположение, что непрозрачность газа вызвана присутствием отрицательных ионов водорода. Отрицательный ион водорода — атом водорода, захвативший лишний электрон. Он может образовываться при избытке свободных электронов в газе, который достаточно горяч для ионизации таких атомов, как железо, марганец и хром, и недостаточно — для ионизации нейтрального водорода. В наблюдаемом с поверхности Земли ограниченном спектральном диапазоне поглощение излучения отрицательными ионами водорода почти не зависит от длины волны; поэтому предположение Крафта казалось весьма многообещающим. Однако в ультрафиолетовой области поглощение излучения отрицательными ионами водорода заметно ослабляется, так что и они оказываются слишком прозрачными, чтобы можно было объяснить недавние наблюдения Эпсилон Возничего в ультрафиолетовом диапазоне, проведенные на внеатмосферных приборах.

НАЧАЛА наблюдать Эпсилон Возничего во время затмения 1955—1957 гг., а в 1957 г. получила возможность изучить спектры, сделанные в ходе этого затмения Струве. Разрешение новых спектров было значительно выше, чем тех, которые получены во время предыдущего затмения. Поэтому мне удалось обнаружить некоторые слабые линии в спектре оболочки, такие, как линии нейтральных возбужденных атомов магния и кальция, которые раньше не наблюдались. Измерив интенсивность новых линий и подсчитав число линий в спектре водорода, я смогла получить прямую, не зависящую от источника ионизации оценку плотности электронов в оболочке или диске. Эта плотность оказалась равной примерно 100 млрд. электронов на кубический сантиметр, т.е. в 1000 раз больше плотности, вычисленной Крафтом. В случае оболочки или диска толщиной около 0,7 астрономической единицы такая плотность как раз достаточна для объяснения наблюдаемой глубины затмения при помощи только рассеяния на электронах. (Астрономическая единица — среднее расстояние от Земли до Солнца, примерно равное

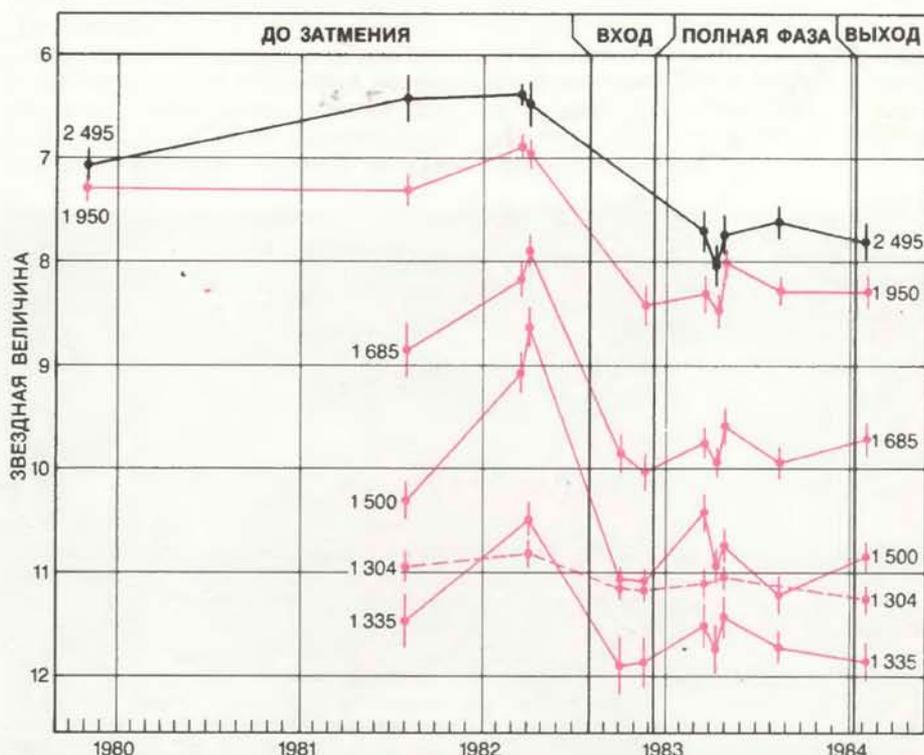
150 млн. км.)

Поскольку Крафт показал, что первичная звезда недостаточно горяча для создания нужной плотности электронов, оставалась основная проблема: каков источник энергии, ионизирующей оболочку или диск? В 1961 г. я высказала предположение, что ионизация вызывается невидимым спутником, окруженным толстой газовой оболочкой. Двигаясь по орбите, спутник увлекает газовую оболочку за собой, и, когда она оказывается между Землей и первичной звездой, наблюдается затмение. По характеристикам спектра оболочки мне удалось рассчитать возможные границы значений температуры и радиуса невидимого спутника. Оказалось, что спутник может быть звездой-гигантом с температурой поверхности $15\,000^\circ\text{C}$ и радиусом в 60 солнечных или горячим субкарликом с температурой около $100\,000^\circ\text{C}$ и радиусом, примерно равным солнечному.

В ТО ВРЕМЯ, когда я высказала свое предположение, возможность обнаружить горячий спутник казалась маловероятной. Хорошо известно, что большую часть своей энергии горячие звезды излучают в ультрафиолетовой области спектра и что такое излучение почти полностью поглощается земной атмосферой. Чтобы подтвердить наличие горячей звезды в Эпсилон Возничего, надо было подождать результатов наблюдений со спутников в ультрафиолетовом диапазоне между 1000 и 3000 Å.

Впервые эту звезду пытались наблюдать на телескопе, построенном в Принстонском университете и установленном на спутнике НАСА «Коперник», а также при помощи спектрометра, созданного астрономами из Бельгии и Великобритании и установленного на спутнике *TD-1* Европейского космического агентства. Принстонский телескоп, предназначенный для получения спектров с высоким разрешением от горячих звезд ярче пятой величины, не дал никаких свидетельств в пользу существования горячей звезды. Бельгийско-британский спектрометр, предназначенный для получения спектров с низким разрешением от горячих звезд ярче седьмой величины, дал несколько неопределенных результатов. По некоторым данным ультрафиолетовое излучение Эпсилон Возничего превосходило то, которое можно было ожидать от одной лишь первичной звезды.

В январе 1978 г. был запущен спутник *IUE* (International Ultraviolet Explorer), который после нескольких месяцев испытаний на орбите стал доступен для наблюдений. Спутник *IUE* создан по совместному проекту НАСА и Европейского космического агентства для получения спектров с высоким разре-



КРИВЫЕ БЛЕСКА В УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ ОБЛАСТИ спектра показывают изменение во времени интенсивности излучения Эпсилон Возничего на некоторых длинах волн. В ближней ультрафиолетовой области при 2495 Å (сплошные черные линии) интенсивность приблизительно постоянна перед затмением и плавно снижается за время входа в затмение до наименьшего значения при его полной фазе. Однако на длинах волн меньше ~ 1950 Å интенсивность в определенные моменты полной фазы затмения выше, чем во время входа в него (сплошные цветные линии). Поэтому большая часть излучения на таких коротких волнах обусловлена спутником, который находится впереди и не затмевается. Изменения в кривых блеска до затмения вызваны собственной переменностью спутника. Интенсивность эмиссионной линии нейтрального кислорода при 1304 Å (пунктирные цветные линии) приблизительно постоянна как во время, так и вне затмения — это показывает, что она образуется в газовой оболочке, окружающей всю двойную систему. Данные получены со спутника *IUE* К. Бемом, С. Ферлугой и автором статьи на Астрономической обсерватории в Триесте.

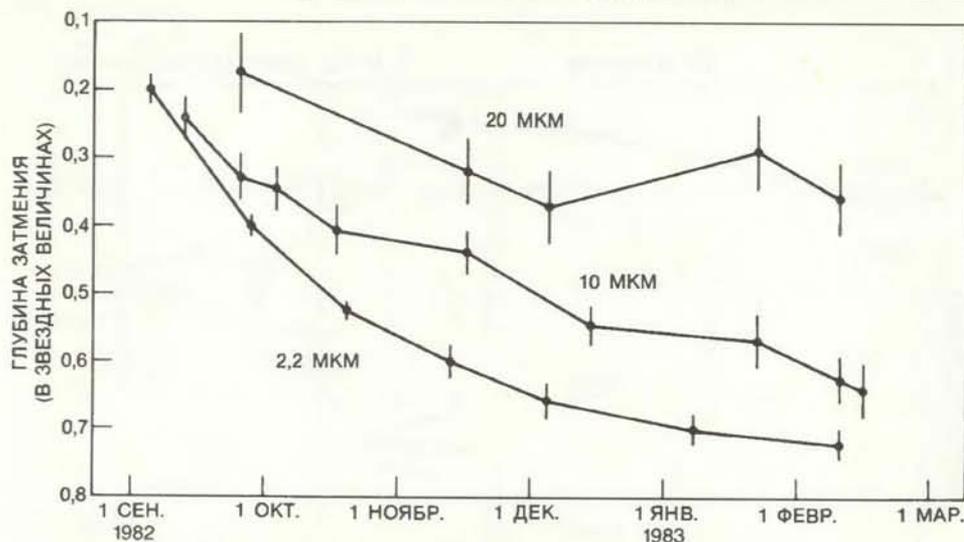
шением от звезд вплоть до 10-й величины, а с низким разрешением от звезд вплоть до 13-й величины. 19 апреля 1978 г. мой коллега П. Селвелли на Европейской станции наблюдения *IUE* близ Мадрида и я наблюдали спектр Эпсилон Возничего с низким разрешением на экране видеотерминала. Это был первый сигнал от двойной системы в дальней ультрафиолетовой области на длинах волн вплоть до 1300 Å. Наличие ранее незамеченного спутника было подтверждено.

С тех пор мы провели еще несколько наблюдений вне затмения, а двое моих коллег К. Бем и С. Ферлуга из Астрономической обсерватории в Триесте и я получили возможность наблюдать Эпсилон Возничего в ультрафиолетовом диапазоне в ходе последнего затмения. Полученные данные подтверждают существование горячего спутника, изучение которого преобладает на длинах волн короче 1550 Å. Точнее, в видимой и ультрафиолетовой областях вплоть до 1600 Å потемнение системы во время затмения составляет

от 0,8 до 1 звездной величины, тогда как в дальней ультрафиолетовой области (от 1240 до 1550 Å) признаков затмения почти нет. Поскольку в дальней ультрафиолетовой области излучение сравнительно холодной первичной звезды пренебрежимо мало, в этом спектральном диапазоне наблюдается излучение горячего спутника, который во время затмения расположен впереди.

НЕСМОТРЯ на впечатляющие данные новых наблюдений, они не позволили детально обосновать модель, которую я предложила в 1961 г. Ультрафиолетовый спектр спутника показывает, что он не так горяч, как я предсказывала. Температура его поверхности около $10\,000^\circ\text{C}$, а радиус составляет от трех до пяти солнечных.

Оказалось, что инфракрасный спектр горячего спутника не согласуется с ультрафиолетовым. Наблюдения Эпсилон Возничего в инфракрасном диапазоне на длинах волн до 20 мкм проводили до и во время затмения



КРИВЫЕ БЛЕСКА ЭПСИЛОН ВОЗНИЧЕГО в инфракрасном диапазоне. В ближней инфракрасной области, например при 2,2 мкм, их интенсивность уменьшается во время затмения примерно так же, как и для кривых видимого блеска. Однако при больших длинах волн эффект гораздо слабее; например, при 20 мкм интенсивность излучения снижается всего на 0,3 звездной величины, т.е. блеск уменьшается в 1,3 раза. Эти данные, по-видимому, противоречат интерпретации кривых блеска в ультрафиолетовой области: судя по ним, затмевающий объект в Эпсилон Возничего — относительно холодный, а не горячий. Наблюдения в инфракрасном диапазоне провели Д. Бэкман, Э. Беклин, Д. Круикшэнк, Т. Саймон и А. Токунага из Гавайского университета в Маноа и Р. Джойс из Национальной обсерватории в Китт-Пик.

Д. Бэкман, Э. Беклин, Д. Круикшэнк, Т. Саймон и А. Токунага из Гавайского университета в Маноа и Р. Джойс из Национальной обсерватории в Китт-Пик. Эти исследователи обнаружили, что на длинах волн от 1 до 4,8 мкм излучение во время затмения уменьшается примерно на 0,7 звездной величины, что, по грубой оценке, соответствует глубине затмения для видимого света. Однако на более длинных волнах глубина затмения слабее, и на длине волны 20 мкм она равна лишь 0,3 звездной величины, т.е. блеск уменьшается примерно в 1,3 раза. Из этих наблюдений Бэкман и его коллеги сделали вывод, что затмевающее тело — холодный объект, излучение которого преобладает в дальней инфракрасной области; они получили температуру поверхности около 200°С и радиус 10 астрономических единиц.

Данные наблюдений в инфракрасном диапазоне не согласуются с моей моделью 1961 г. В полностью ионизованной газовой оболочке происходит процесс так называемого тормозного излучения, который порождает сильный поток в инфракрасном диапазоне. Когда свободный электрон пролетает в газе вблизи протона или положительного иона, он легко отдает часть своей энергии в виде «инфракрасного» фотона; чем больше число электронов и чем больше энергии поглощено газом от внешнего источника, тем вероятнее этот процесс. Наблюдаемый инфракрасный поток можно было бы частично объяснить тормозным излучением в

газе, окружающем спутник. Однако этот поток гораздо слабее, чем ожидаемый за счет тормозного излучения в такой широкой оболочке, как предполагалось в моей ранней модели.

Как же построить модель, объясняющую столь разные и на первый взгляд противоречивые данные? Температуру спутника в моей ранней модели подогнать под наблюдаемую сравнительно просто. Высокие температуры были введены для ионизации оболочки. В начале 60-х годов считалось, что преобладающий, а возможно и единственный, источник ионизации — это излучение звезды. Но с тех пор в ультрафиолетовых спектрах некоторых звезд не наблюдались линии многократно ионизованных атомов, которые не могут порождаться только за счет излучения фотосферы звезды. Это явление называется сверхионизацией; оно служит подтверждением того факта, что ионизация газа может быть связана с другими эффектами механического или магнитного происхождения. Если причиной ионизации затмевающей оболочки в Эпсилон Возничего является сверхионизация, то непрозрачность ионизованной оболочки может определяться относительно низкой, 10 000-градусной, температурой спутника.

ОДНАКО данные наблюдений в инфракрасном диапазоне приводят к более существенным изменениям в модели. Инфракрасное излучение, которое в моей модели порождается тормозным процессом, можно снизить до

наблюдаемого, если соответственно уменьшить постулированную толщину газовой оболочки. Но тогда наблюдаемую при затмении непрозрачность уже нельзя объяснить только наличием газовой оболочки. Наиболее подходящим выходом из этого положения представляется модель, в которой сочетаются элементы двух наиболее популярных моделей 50-х годов: той, в которой постулировался пылевой диск, и моей, в которой постулировалась газовая оболочка.

В новой модели главной причиной затмения является кольцо из крупных пылевых частиц, которое поглощает половину излучения первичной звезды. Горячий спутник погружен в это кольцо и кажется менее ярким, чем на самом деле, поскольку оно частично поглощает его излучение. Кольцо слегка разогревается спутником и испускает часть наблюдаемого инфракрасного потока в виде теплового излучения. Для объяснения спектра оболочки и его несколько более раннего появления по сравнению с началом затмения в модели постулируется газовая оболочка, окружающая пылевое кольцо. Газовая оболочка ионизируется излучением горячего спутника, испускаемым в направлении, перпендикулярном плоскости кольца, и состоит из вещества, которое либо вытекает из горячего спутника, либо переносится с первичной звезды. Теперь газовая оболочка не такая широкая, как в моей прежней модели, но простирается на расстояние до 10 астрономических единиц от горячей звезды.

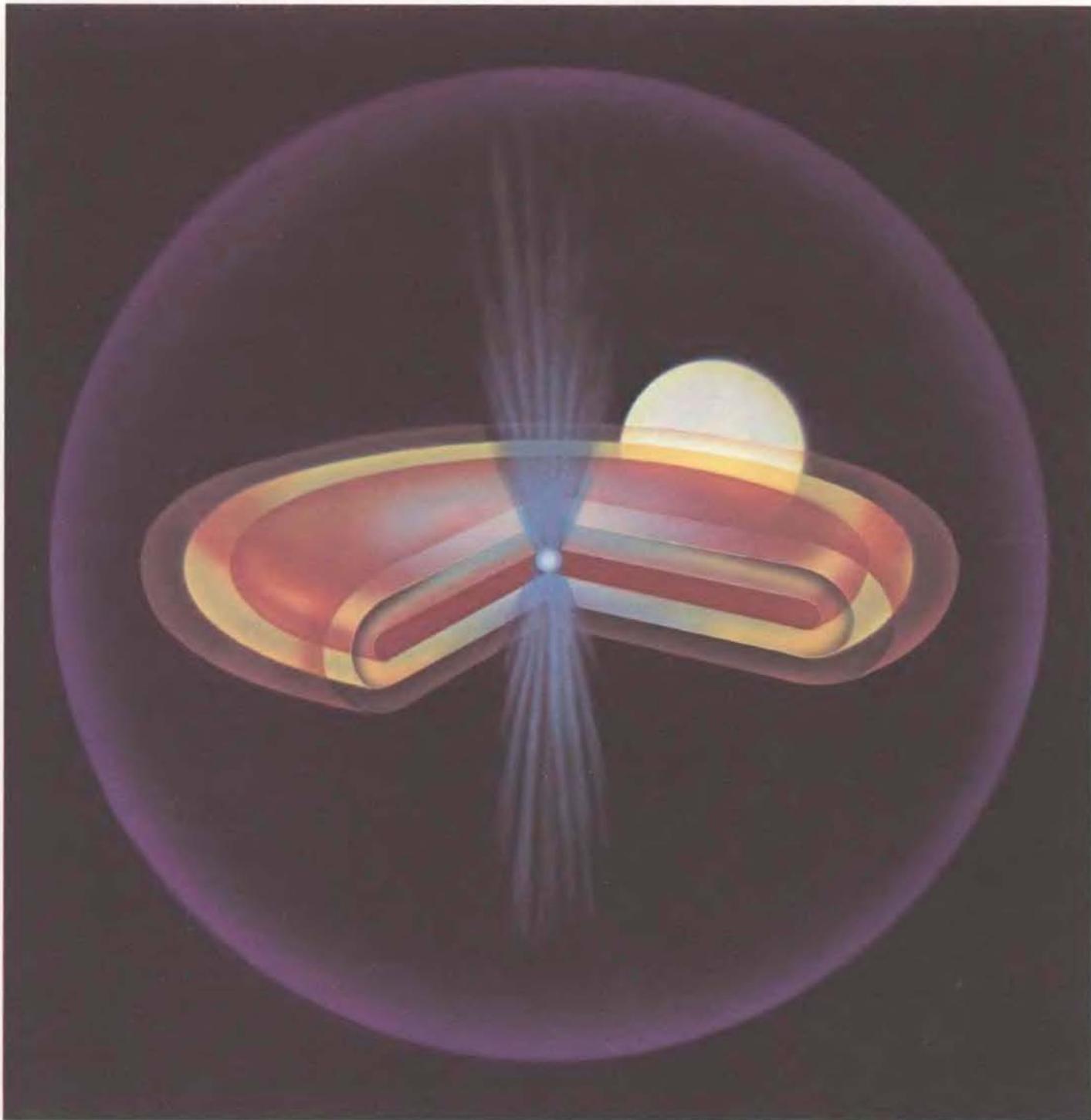
В новой модели можно учесть по крайней мере две другие наблюдаемые особенности системы Эпсилон Возничего. Протяженная оболочка из ионизованного газа должна порождать не только наблюдаемый при затмении спектр поглощения, но и спектр излучения в отсутствие затмения. В видимом диапазоне эмиссионные линии не наблюдаются, возможно, потому, что они слабее континуума, излучаемого первичной звездой. Однако несколько эмиссионных линий можно наблюдать в ультрафиолетовой области: нейтрального кислорода при 1304 Å и однократно ионизованного магния при 2795 и 2802 Å. Интенсивность линий почти одинакова как во время, так и вне затмения. Такие линии должны возникать либо в той части затмевающей газовой оболочки, которая не перекрывает свет первичной звезды, либо в протяженной газовой оболочке, окружающей всю двойную систему.

Вторая особенность может указывать на стадию эволюции, на которой находится система Эпсилон Возничего. Наблюдения в ультрафиолетовой области показывают, что спутник является переменной звездой; в дальней ультрафиолетовой области перемен-

ность составляет от 1 до 1,5 звездной величины, т.е. блеск меняется в 2,5—4 раза. Эта величина близка к переменности редкой группы звезд того же спектрального класса, что и спутник, носящих название «переменные Хербига» (по имени Дж. Хербига из Калифор-

нийского университета в Санта-Крус). Переменные Хербига всегда расположены в молодых звездных скоплениях и характеризуются большими нерегулярными изменениями светимости. Считается, что сами эти звезды все еще сжимаются из газо-пылевого облака.

Многие переменные Хербига окружены облаками пыли, размеры и температура которых похожи на те, которые были постулированы Бэксманом и его коллегами для объяснения данных инфракрасных наблюдений объекта Эпсилон Возничего.



МОДЕЛЬ ЭПСИЛОН ВОЗНИЧЕГО, в которой делается попытка объединить результаты наблюдений в инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом диапазонах, дает возможную картину затмения. Поверхность первичной звезды-сверхгиганта частично заслоняется пылевым кольцом и несколькими сплюснутыми газовыми оболочками, которые окружают спутник — голубую карликовую звезду. Часть затмеваемого объекта удалена; показано его сечение. Самое внутреннее пылевое кольцо в наибольшей степени ослабляет излучение первичной звезды при затмении. Красно-коричневым цветом изображено инфракрасное излучение

пылевого кольца. Окружающие газовые оболочки со все более низкой плотностью выглядят как гало светло-желтого цвета. Поскольку у полюсов спутника пыли меньше, интенсивность его излучения там наибольшая и оно может возбуждать и ионизовать газ. Красноватое свечение самых далеких от спутника участков газовых оболочек — излучение, возникающее при деактивации водорода. Сферическая внешняя газовая оболочка порождает некоторые эмиссионные линии в ультрафиолетовой области; она изображена в виде полупрозрачной фиолетовой сферы, окружающей двойную систему.

ЕСЛИ спутник в Эпсилон Возничего — молодая звезда, то легко понять, почему не наблюдаются другие аналогичные двойные системы. Ближайшие известные «сородичи» — это долгопериодические затменно-переменные звезды 31 Лебеда, 32 Лебеда, Дзета Возничего и VV Цефея. Во всех четырех системах сравнительно горячая звезда связана гравитацией с холодным гигантом или сверхгигантом. Однако нет никаких указаний на то, что в какой-либо из этих систем горячая звезда окружена такой протяженной пылевой оболочкой, как наблюдаемая в Эпсилон Возничего. Разница, как я предполагаю, состоит в том, что Эпсилон Возничего — такая же система на другой стадии своего развития.

Первичная звезда в Эпсилон Возничего — сверхгигант, но он горячее, чем сверхгиганты в других упомянутых мною четырех системах. Его поверхностная температура и спектральный класс показывают, что он претерпевает быструю эволюцию и, возможно, недавно (в пределах миллиона лет) прошел стадию сильной потери массы. Спутник может быть очень молодой звездой, еще не обладающей устойчивой конфигурацией и по-прежнему погруженной в остатки пылевого облака, из которого она образовалась. Время жизни пылинок вблизи горячей звезды не превосходит 10 000 лет; если они не пополняются извне, то за этот небольшой срок облако исчезнет. Этой краткостью жизни облака и той стадии звездной эволюции, какую проходит сейчас первичная звезда, и объясняется, почему не известно ни одной другой системы с характеристиками Эпсилон Возничего: она олицетворяет собой крайне миомлетную стадию в эволюции двойной звездной системы.

ЧТОБЫ эти предположения о природе спутника и стадии эволюции системы подтвердились, необходимы более точные измерения массы обоих компонентов. Такие измерения должны стать возможными после 1986 г., в котором запланирован запуск космического телескопа. Разрешение его спектрографа будет гораздо выше, чем у инструмента, установленного на борту спутника *IUE*. Ультрафиолетовый спектр звезды-спутника должен обладать небольшим доплеровским смещением, поэтому спектр высокого разрешения позволит измерить ее радиальную скорость, какой она наблюдается из Солнечной системы. Если наблюдать за звездой по нескольку часов в год на протяжении 14 лет, то можно определить ее среднюю радиальную скорость за половину орбитального периода. По этим данным можно вычислить массы обеих звезд в системе. К 2000 г. тайна Эпсилон Возничего может быть полностью раскрыта.

«Энергетический кризис»

КТО ИЗ НАС, едва оправившись от гриппа или другой вирусной инфекции, не испытывал тягостной усталости, которая не исчезает в течение нескольких дней или даже недель. Иногда в наиболее тяжелых случаях недомогание длится месяцы или даже годы. Как сообщают Дж. Радда и его коллеги из Оксфордского университета в журнале «The Lancet», судя по их данным, такие последствия заболевания связаны с вызванным вирусной инфекцией нарушением обмена веществ в мышцах.

Необходимую для работы энергию мышца может получать двумя путями. В обычных условиях высокоэнергетическое соединение — аденозинтрифосфат (АТФ) — образуется из аденозиндифосфата (АДФ) за счет энергии, которая освобождается при окислении углеводов и жирных кислот. От АТФ, который при этом гидролизуется до АДФ, энергия передается сокращающимся мышечным волокнам. В условиях же кислородного голодания АТФ синтезируется в клетках мышц в результате менее эффективного анаэробного процесса — гликолиза.

В нормальной мышце гликолиз «включается» в моменты чрезвычайно большой мышечной нагрузки, например при спринтерском беге, езде на велосипеде или игре в теннис. Однако долго работать за счет энергии гликолиза мышца не может: синтез АТФ сопровождается образованием молочной кислоты, накопление которой приводит к утомлению мышцы и вызывает боль. По мнению исследователей из Оксфордского университета, вирусная инфекция каким-то образом «запускает» гликолиз без нужды, когда мышцам это вовсе не требуется. Более того, вступив на гликолитический путь, мышечная клетка еще долго не может переключиться на обычный тип обмена.

Радде и его коллегам удалось экспериментально зарегистрировать нарушение обменных процессов в мышце руки человека, который за четыре года до этого переболел ветряной оспой. После болезни пациент постоянно чувствовал себя усталым и страдал от мышечных болей, которые возникали даже при незначительных нагрузках. Выявить нарушения метаболизма ученым помог замечательный спектральный метод — ядерный магнитный резонанс (ЯМР).

Возможность использования ЯМР-спектроскопии для изучения обмена веществ в живой ткани обусловлена тем, что многие атомы, например водород, углерод-13 и фосфор, которые обычны в органических молекулах, обладают магнитным моментом. В сильном внешнем магнитном поле ядра этих

атомов ориентируются таким образом, что их магнитные моменты направлены вдоль силовых линий поля. В радиодиапазоне электромагнитных колебаний при определенной для каждого атома частоте происходит переориентация магнитного момента ядра от параллельного к антипараллельному. Этот процесс сопровождается резонансным поглощением электромагнитной энергии. По частоте поглощенного излучения можно идентифицировать различные элементы и соединения, а по интенсивности поглощения можно судить о количестве того или иного компонента.

Радда и его коллеги провели следующий эксперимент: руку больного помещали в ЯМР-установку и просили его сжимать резиновую грушу. Оказалось, что в клетках сокращавшейся мышцы предплечья содержание АДФ и фосфокреатина (вещества, за счет которого АДФ превращается в АТФ) соответствовало норме. Однако по мере работы мышцы в ней быстро накапливалось большое количество молочной кислоты. Сейчас Радда и его коллеги с помощью ЯМР исследуют обменные процессы в работающей мышце у больных гриппом; в этом случае также обнаружено ненормальное накопление молочной кислоты.

Экстрактор генов

ВАРСЕНАЛЕ молекулярных биологов появилось новое мощное оружие — фермент, способный разрезать ДНК клетки на отдельные гены. С помощью этого фермента можно значительно усовершенствовать процедуру выделения генов.

Новый фермент, на который ученые возлагают большие надежды, обнаружен в растениях маша (золотистой фасоли), поэтому и получил название нуклеазы из маша. Уникальное свойство фермента — способность разрезать ДНК на отдельные гены — было впервые обнаружено Т. Мак-Катченом из Национального института аллергии и инфекционных заболеваний. Группа, возглавляемая Мак-Катченом, ведет совместные исследования с группой Л. Миллера (Национальные институты здоровья); их цель — создать вакцину против малярии.

В ходе работы потребовалось выделить из малярийного паразита *Plasmodium falciparum* белок клеточной поверхности спорозонта, так называемый белок CS. Оказалось, что для получения гена этого белка применение нуклеазы из маша имеет целый ряд преимуществ по сравнению с классическим методом, который основан на использовании информационной РНК (мРНК) в качестве матрицы для синте-

за нужного гена. Исследователи под руководством В. Ингеа и Р. Нуссенцвейг из Медицинского центра Нью-Йоркского университета проклонировали ген, кодирующий белок CS, традиционным методом — используя мРНК. Но поскольку спорозоиты невозможно вырастить в лабораторных условиях, накопление мРНК в количестве, достаточном для выделения гена, было и остается длительной и трудоемкой работой. Исследователям из Нью-Йоркского университета понадобилось два года, чтобы накопить мРНК для клонирования гена белка CS.

Нуклеаза из маша позволяет существенно ускорить получение гена белка CS, так как фермент «вырезает» гены прямо из ДНК. А следовательно, нуклеазу можно применять для выделения белка CS на той стадии развития паразита, когда его можно культивировать в лаборатории. С помощью нуклеазы из маша Мак-Катчену и его коллегам удалось проклонировать ген белка CS примерно за восемь месяцев.

По мнению Мак-Катчена, нуклеаза из маша найдет широкое применение не только в научных исследованиях, но и в медицинской практике. Фермент можно использовать для того, чтобы получить полную «библиотеку» генов какого-нибудь организма. Удобен он и для исследования изменений в геноме, приводящих к нарушениям обмена веществ и другим патологиям.

В заключение Мак-Катчен отмечает: «Нуклеаза из маша — необычайно интересный фермент. Узнав, как он работает, мы получим новую информацию о ДНК. Например, возможно, что сигнал к расщеплению полинуклеотидной цепочки ДНК по концам генов играет какую-то роль в регуляции экспрессии генов».

Пока неизвестно, способен ли фермент специфически расщеплять на гены ДНК многоклеточных организмов, ведь гены многоклеточных и одноклеточных устроены несколько по-разному. Учитывая большой интерес, который фермент представляет для научных исследований, можно надеяться, что этот и подобные ему вопросы будут решены в ближайшем будущем.

Будьте спокойны, «луддиты»

КАК БУДУТ обстоять дела со спросом на рабочую силу в США, когда почти все процессы в промышленности и сфере услуг будут полностью автоматизированы.

На основании результатов исследований, проведенных недавно Институтом экономического анализа (IEA) при Нью-Йоркском университете, можно сказать, что «луддиты» могут быть спокойны. Автоматизация не сможет полностью заменить труд человека. С

увеличением масштабов автоматизации растет число людей умственного труда и инженерно-технических работников, а административно-управленческий аппарат сокращается. Предполагается, что занятость в промышленном производстве по отношению к общей занятости сохранится на прежнем уровне.

Прогноз был разработан группой ученых, сотрудников IEA, во главе с В. Леонтьевым и Ф. Дачин и основывался на модели межотраслевого баланса, учитывающей комплексные взаимосвязи в американской экономике. Модель охватывала 89 отраслей промышленности США, причем по каждой отрасли такие показатели, как численность работающих, объем товаров и услуг, необходимые для сохранения достигнутого объема производства, учитывались отдельно от ресурсов, требуемых для роста капитала.

В качестве исходной информации использовались таблицы межотраслевого баланса за 1963, 1967, 1972 и 1977 гг., составленные бюро экономического анализа при министерстве торговли США, а также данные о ценах, основных производственных фондах, межотраслевых связях и занятости.

Были составлены три сценария возможных научно-технических изменений, а затем на основании модели с учетом каждого сценария были разработаны три варианта прогноза потребности в рабочей силе (по 53 профессиям) для каждой отрасли. В первом («опорном») сценарии S1 допускалось, что никаких научно-технических изменений после 1980 г. не произойдет. Второй сценарий S2 был основан на допущении, что темпы модернизации в сфере промышленного производства будут умеренными. При составлении третьего сценария S3 авторы исходили из самых оптимистических предположений, считая, например, что к 1985 г. электронные печатающие устройства и автоматизированные рабочие места полностью заменят машинисток. Во всех трех случаях предполагалось, что независимо от темпов внедрения научно-технических новшеств спрос на товары и услуги как у населения, так и у государства будет постепенно расти.

По мнению Леонтьева, результаты проведенных исследований «доказали, что использование подробной информации позволяет получить детальный прогноз». Быстрые темпы автоматизации (сценарий S3) позволят США к концу нынешнего столетия производить такое же количество товаров, как сейчас, при общей занятости на 10% меньше. Но общее число рабочих мест останется все же высоким, поскольку увеличение спроса на товары и услуги, как это было допущено в сценарии, потребует создания новых рабочих мест, и заполняться они будут людьми, высвобождаемыми в результате автоматизации.

Одновременно отмечается, что существенно изменится структура занятости. Доля профессиональных работников в общем числе занятых возрастет и составит в 2000 г. почти 20% по сравнению с 15,6% в 1978 г. Наибольшее увеличение будет наблюдаться в численности инженеров и ученых в области кибернетики. Число же конторских служащих, наоборот, уменьшится: к концу столетия их будет 11,5% по сравнению с 17,8% в 1978 г. Сокращение этой категории работников произойдет за счет внедрения автоматизированных систем, переговорных устройств, машин с распознаванием речи и другой подобной техники.

Когда ЭВМ будут выполнять операции, связанные с делопроизводством и обработкой информации, отпадет необходимость в управляющих среднего звена. На смену многим производственным рабочим, занятым на поточных линиях, придут промышленные роботы и станки, оснащенные устройствами программного управления, а сверхточность, гарантируемая при автоматизированной машинной обработке, исключит потребность в большом числе контролеров.

Как следует из прогноза, расширение масштабов автоматизации замедлит тенденцию увеличения рабочих мест в сфере услуг за счет их сокращения в сфере производства, наблюдаемую в американской экономике на протяжении послевоенных десятилетий. Даже если внедрение средств автоматизации приведет к сокращению рабочих мест во многих отраслях промышленности, рост спроса на самую вычислительную технику и устройства автоматизации вызовет необходимость в создании новых рабочих мест в сфере производства.

Оптимистические выводы в отношении сокращения занятости основаны на неполном учете факторов будущего прогресса. Исследователи рассмотрели лишь те последствия, которые можно ожидать в результате современных научно-технических достижений; они не учитывали возможность внедрения многих технических средств, создание которых не предполагается в ближайшем будущем. Кроме того, исследование ограничилось изучением последствий автоматизации на базе ЭВМ, в то время как на наличие или отсутствие рабочих мест немалое влияние могут оказать научно-технические достижения и в других областях, например в сельском хозяйстве или в производстве новых материалов. Даже если число рабочих мест в стране останется большим, изменение в их структуре потребует значительных усилий, связанных с подготовкой кадров, чтобы в экономике не сложилась такая ситуация, при которой бы наблюдались излишек рабочих мест для традиционных профессий и нехватка работников новых специальностей.

Помутнение хрусталика

Ежегодно миллионы людей теряют зрение
в результате помутнения хрусталика.

Катаракта не обязательно приходит с возрастом —
заболеванию ей способствуют и другие причины

ОТТО ХОКВИН

СЕГОДНЯ наиболее распространенной причиной потери зрения у людей является помутнение хрусталика. По оценкам специалистов, более чем у миллиона человек ежегодно возникает катаракта, значительно ухудшающая зрение. Особенно подвержены этому заболеванию пожилые люди. Однако было бы неправильно утверждать, что помутнение хрусталика, ведущее к слепоте, является прямым следствием пожилого возраста или старения.

Как показали обширные исследования в США, изменения хрусталика свойственны прежде всего пожилым людям: они были обнаружены у 27% лиц моложе 65 лет и у 65% лиц старше 75 лет. Но лишь у немногих развивается зрелая катаракта, сопровождающаяся потерей зрения. В Центральной Европе примерно каждый двадцатый из семидесятилетних и каждый десятый из восьмидесятилетних вынужден идти на операцию катаракты. Соответствующие показатели для других регионов земного шара гораздо выше.

Что такое катаракта?

Вместе с роговицей, водянистой влагой и стекловидным телом хрусталик образует оптическую систему человеческого глаза (см. рисунок на с. 48). Из общей оптической силы глаза в 59 диоптрий на долю хрусталика приходится примерно 19 диоптрий. Хрусталик обычно прозрачен; в глазе он выполняет ту же функцию, что и объектив в фотокамере. В результате изменения его формы в процессе аккомодации на сетчатке глаза, которую можно сравнить с фотопленкой, возникает сфокусированное изображение. Нарушения в механизме аккомодации хрусталика приводят к близорукости или дальнозоркости, которые можно компенсировать очками.

Наиболее серьезным изменением хрусталика, ведущим к заболеванию, является уменьшение его прозрачности, или светопропускающей способности. Офтальмологи называют уменьшение прозрачности хрусталика катарактой. Речь при этом идет о помутне-

нии либо изменении цвета тела хрусталика, которые могут затронуть некоторые области хрусталика или все его тело (см. рисунок на с. 47). Зрение ухудшается в зависимости от области и степени помутнения хрусталика. В некоторых случаях в результате этого заболевания наступает слепота.

Выделяют три принципиально различных механизма, приводящих к подобным нарушениям зрения (см. рисунки на с. 50 и 51). Помутнение может сузить оптическую область глаза, т.е. действовать подобно диафрагме. Помутневший хрусталик может также поглощать свет, в особенности в определенном участке спектра. Следствием этого является ложное цветовосприятие, уменьшение контрастности и разрешающей способности. Подобные симптомы часто наблюдаются при изменении цвета ядра хрусталика, так называемом склерозе ядра старческой катаракты. Наконец, ухудшение зрения может вызвать рассеяние света на краях помутневших зон либо на точечных помутнениях.

До XVIII в. господствовало мнение, что катаракта представляет собой белесую мембрану в зрачке. Считалось, что жидкость, образующая мембрану, стекает подобно водопаду (катаракте) из мозга. Но и после того, как были изучены истинные причины заболевания, выражение «катаракта» осталось для обозначения болезни.

Старение — причина «старческой катаракты»?

Факторы, влияющие на помутнение хрусталика, необычайно многообразны. Известны случаи помутнения хрусталика в результате физических воздействий (тепло вызывает термическую катаракту, или катаракту стекловидного тела, ионизирующее излучение порождает лучевую катаракту), а также под действием химикатов, к которым относится часть медикаментов. Различные помутнения развиваются при общих заболеваниях (тетания, сахарный диабет), а также в связи с различными заболеваниями или повреждениями глаза. Кроме того, известны так-

же случаи врожденных помутнений, которые могут возникнуть в результате травм в период внутриутробного развития, а также случаи наследственных катаракт.

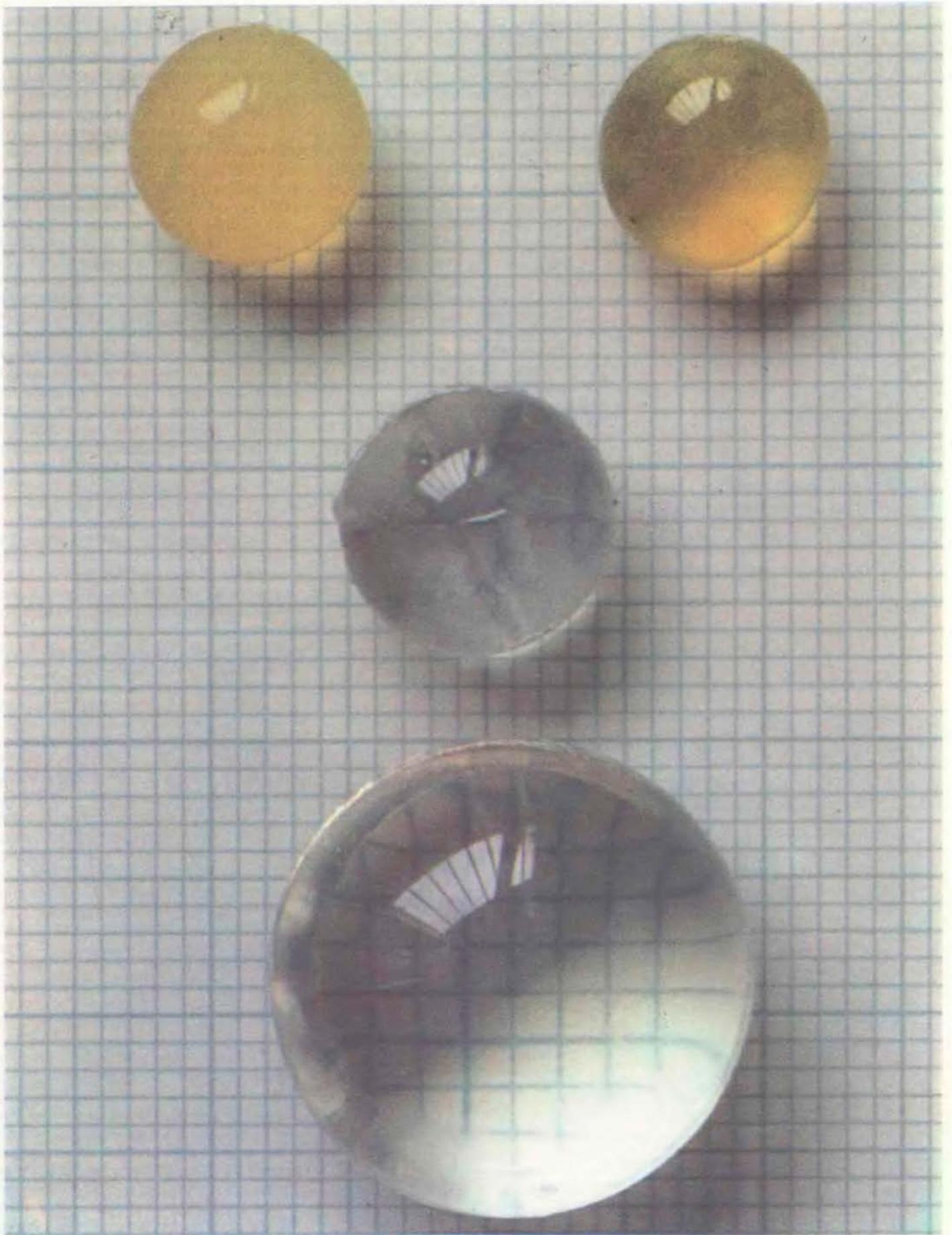
Чаще всего помутнение хрусталика происходит в результате старения. Оно получило название «*Cataracta senilis*», или «старческая катаракта». Как уже отмечалось, с возрастом число лиц, теряющих зрение в результате катаракты, увеличивается. Это наглядно иллюстрирует статистика операций в глазных клиниках по удалению помутненного хрусталика, составленная в зависимости от возраста пациентов.

Сравнение данных по странам (см. верхнюю таблицу на с. 49) показывает, что большинство операций на катаракте в Испании и Панаме приходится на возраст 51—70 лет, в ФРГ, ГДР, Швейцарии и США — на возраст 61—80 лет. Причинами такого смещения на 10 лет могут быть климат, продолжительность солнечного дня (количество ультрафиолета) и неполноценное питание (недостаток протеинов).

Результаты исследований старческой катаракты в Израиле и Англии (Оксфорде) (см. нижнюю таблицу на с. 49), сгруппированные по полу и по странам, заметно варьируют в зависимости от места жительства, расы и пола. Как показывают эти результаты, женщины страдают катарактой чаще, чем мужчины.

По немногим достоверным данным для Индии, Пакистана, Бангладеш и Индонезии заболеваемость катарактой в этих странах еще выше. Там существуют районы, около 30% населения которых в возрасте от 40 до 50 лет либо ослепли в результате катаракты, либо были оперированы.

От географического фактора часто зависит вид помутнения хрусталика. Исследования в Рочестере (США, шт. Нью-Йорк), Тампе (США, шт. Флорида) и Маниле (Филиппины) свидетельствуют, что вблизи экватора — Манила расположена на 15° северной широты — катаракты в результате изменения цвета ядра хрусталика вплоть до темно-коричневого встречаются гораздо чаще, чем помутнения сумки или ядра. В Рочестере, расположенном на 43°



КАРТИНА ТИПИЧНОГО ПОМУТНЕНИЯ и изменения цвета хрусталика человеческого глаза, пораженного катарактой (вверху). Хрусталики были удалены оперативным путем после потери зрения. Ниже — хрусталик глаза кролика с по-

верхностными помутнениями. Прозрачный хрусталик глаза коровы (внизу) дает представление об его оптической силе по степени увеличения сетки. По этой фотографии можно оценить степень прозрачности различных хрусталиков.

северной широты, изменения цвета ядра хрусталика — самый редкий тип катаракты. Параллельно в этих исследованиях было установлено, что труд на открытом воздухе, например в сельском хозяйстве, способствует помутнению ядра хрусталика.

Из вышесказанного едва ли можно сделать вывод, что причина частой заболеваемости пожилых людей катарактой кроется лишь в старческих изменениях хрусталика. Конечно, учитывая географический фактор, можно возразить, что люди в различных регионах мира стареют по-разному.

Однако как объяснить тот факт, что во всех регионах сравнительно молодые люди страдают от потери зрения или слепоты, наступающих в результате старческой катаракты (офтальмологи называют подобные изменения «преждевременной катарактой»), и то, что среди лиц пожилого возраста далеко не все жалуются на катаракту? Говорят, что возраст проявления катаракты, колеблется в широких пределах.

Но не только возраст проявления катаракты, но и морфологические особенности изменения хрусталика в пожилом возрасте сильно колеблются.

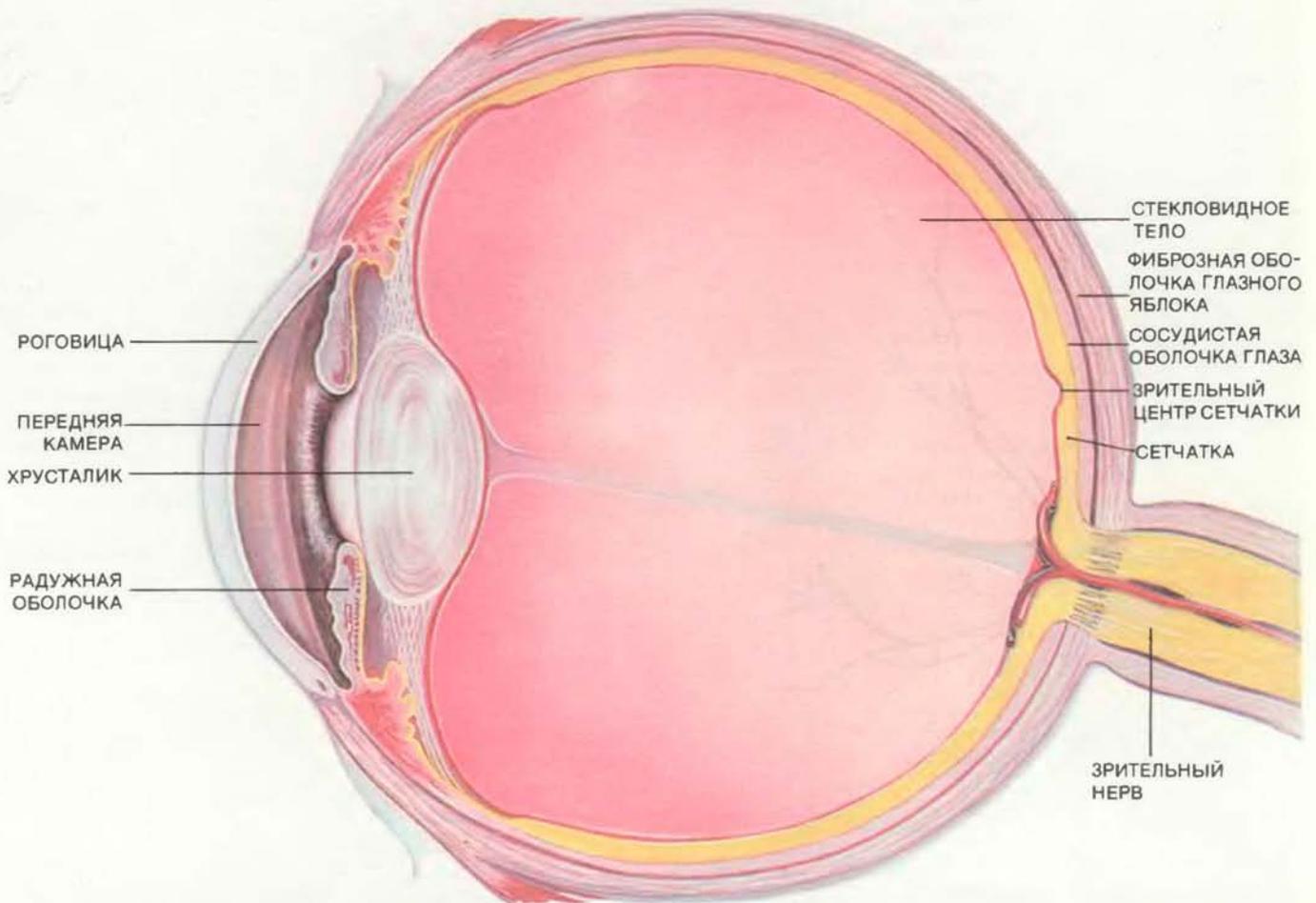
Волокна хрусталика развиваются аппозиционно, т.е. наслоением новых клеток на старые. Таким образом самые старые участки находятся в ядре хрусталика (см. рисунок на с. 52). Примечательно, что именно в этой части хрусталика значительно реже проявляется расстройство зрения в результате потери прозрачности, нежели в гораздо более молодой коре хрусталика. Эти изменения в коре опять же проявляются различным, но всякий раз характерным образом, например в виде сверхнуклеарных изменений, в виде помутнений за счет проникновения белковой жидкости и вакуоли, в виде клиновидных помутнений или субкапсулярных, которые наблюдаются в передней коре чаще, чем в задней.

Изменение свойств хрусталика

Ученые давно пытались понять, меняются ли физические и химические свойства хрусталика с возрастом, а если да, то как. При этом они надеялись найти ответ на вопрос, почему катаракта часто возникает в пожилом воз-

расте и какие механизмы действуют в этом случае? Из множества имеющихся данных следует воспользоваться лишь немногими, представляющими особый интерес в связи с вопросом — является ли старение причиной «старческой катаракты»?

Уже более ста лет назад было обнаружено увеличение веса и объема хрусталика вследствие аппозиционного роста. Исследования светопропускаемости в зависимости от длины волны, однако, показали, что уменьшение трансмиссии не может быть объяснено увеличением толщины хрусталика (см. рисунок на с. 53). Графики трансмиссий, составленные в 1980 г. С. Лерманом, профессором-офтальмологом Университета Эмори в Атланте (США, шт. Джорджия), отчетливо показали, что в молодых хрусталиках трансмиссия ультрафиолетового излучения в диапазоне от 300 до 400 нм очень скоро исчезает. Одновременно ядро хрусталика окрашивается в желтоватый цвет. Это ведет к тому, что трансмиссия света в видимой области спектра снижается в старых хрусталиках, поскольку с возрастом свет все сильнее поглощается этими «красителями», интенсив-



РАЗРЕЗ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ГЛАЗА. Хрусталик находится в переднем разделе глаза между водянистой влагой и стекловидным телом. Края его прикрыты радужной оболочкой, которая реагирует на свет подобно автоматической диафраг-

ме в фотокамере. Хрусталик отбрасывает резкое изображение на сетчатку заднего раздела глаза. В зависимости от удаленности предмета наблюдений хрусталик изменяет свою форму.

ность образования которых с возрастом увеличивается. В результате наступает фильтрующий эффект.

Новый метод измерения рассеяния света

Как уже упоминалось, хрусталик не однороден по светопропускным свойствам. Это легко установить при исследовании рассеяния света. Если пустить через хрусталик тонкий луч света, то его ход можно проследить по месту появления рассеиваемого света. Офтальмолог использует для этого специальный прибор — щелевой ламповый микроскоп. Современные приборы для фотодиагностики переднего раздела глаза, работающие по принципу Шеймпфлюга (глубокое резкое отображение наклонных объектов за счет придания плоскости пленки и объектива V-образной формы), позволяют сфотографировать хрусталик в полном объеме и измерить таким образом рассеяние луча света на отдельных слоях. Анализ негативов с помощью микроденситометра заключается в определении почернения пленки в результате рассеяния света. Поскольку рассеянный свет сам по себе не имеет значения для зрительного процесса, то из этих измерений можно получить косвенные данные о прозрачности отдельных слоев хрусталика. Чем сильнее рассеяние света на отдельном слое, тем чернее будет соответствующее место на негативе (см. верхний рисунок на с. 54).

Вместе с В. Драгомиреску мы создали новую камеру, позволяющую получить в клинических условиях достоверные воспроизводимые результаты. Метод особенно пригоден для наблюдений за развитием процесса. Этим была создана возможность для измерения прогрессивного помутнения хрусталика у отдельных пациентов. С тех пор появлялось немало приборов для данного фотометода, которые применяются в различных офтальмологических центрах мира, а исследование катаракт может отныне опираться на объективируемые клинические наблюдения.

При графическом анализе фотографий Шеймпфлюга с помощью микроденситометра определяют структурное расположение отдельных слоев хрусталика. Разделив негатив на множество линейных плоскостей измерения, можно продемонстрировать объемное рассеяние света в сфотографированном разделе хрусталика и оценить изменения светопрозрачности таких участков, которые обычно прикрываются радужной оболочкой, т.е. непосредственно не участвуют в зрительном процессе и тем самым не вызывают ухудшение зрения (см. нижний рисунок на с. 54).

Этот метод применялся нами и для

исследования здоровых пациентов различного возраста. При этом было установлено, что рассеяние света в ядре хрусталика и на его коре сильнее у пожилых людей, чем у молодых. Исследования этого рассеяния в зависимости от длины волны падающего света показали, что изменения ядра качественно отличаются от изменений коры хрусталика.

Химия хрусталика

Прозрачность ткани или рассеяние проходящего света тесно связаны с химическим составом и пространственным расположением отдельных ее частей. Следовательно, для объяснения изменения физических параметров необходимо принимать во внимание химические изменения в хрусталике.

Хрусталик глаза содержит 35% протеинов. Ни в одном другом органе нашего тела не содержится столько белка (см. рисунок на с. 55). Протеины, синтезированные самим хрусталиком, называются кристаллинами и обычно не встречаются в других тканях и жидко-

стях нашего тела, поэтому их считают специфическими для данного органа. Кроме того, в хрусталике содержится 1—2% органических веществ и 60—65% воды. Протеины подразделяются на растворимые в воде (кристаллины) и нерастворимые (альбуминоиды). По величине молекул растворимые в воде протеины подразделяются на α -, β - и γ -кристаллины.

В результате особого расположения молекул протеина возникает плотноупакованное прозрачное вещество. Протеин и вода (в свободной и связанной форме) находятся в фазовом равновесии. Обменные процессы, особенно разложение углеводов, обеспечивают энергию, необходимую для поддержания биологического равновесия при сохранении прозрачности хрусталика. В случае смещения равновесия, например при накоплении воды в определенном месте или при изменении плотности упаковки молекул протеина, изменяется и светопроводность, поскольку возрастает рассеяние света. Прозрачность может уменьшиться и в результате недостаточного выделения химической энергии при обмене веществ.

ЧАСТЬ НАСЕЛЕНИЯ (В ПРОЦЕНТАХ), ОПЕРИРОВАННАЯ ПО ПОВОДУ СТАРЧЕСКОЙ КАТАРАКТЫ

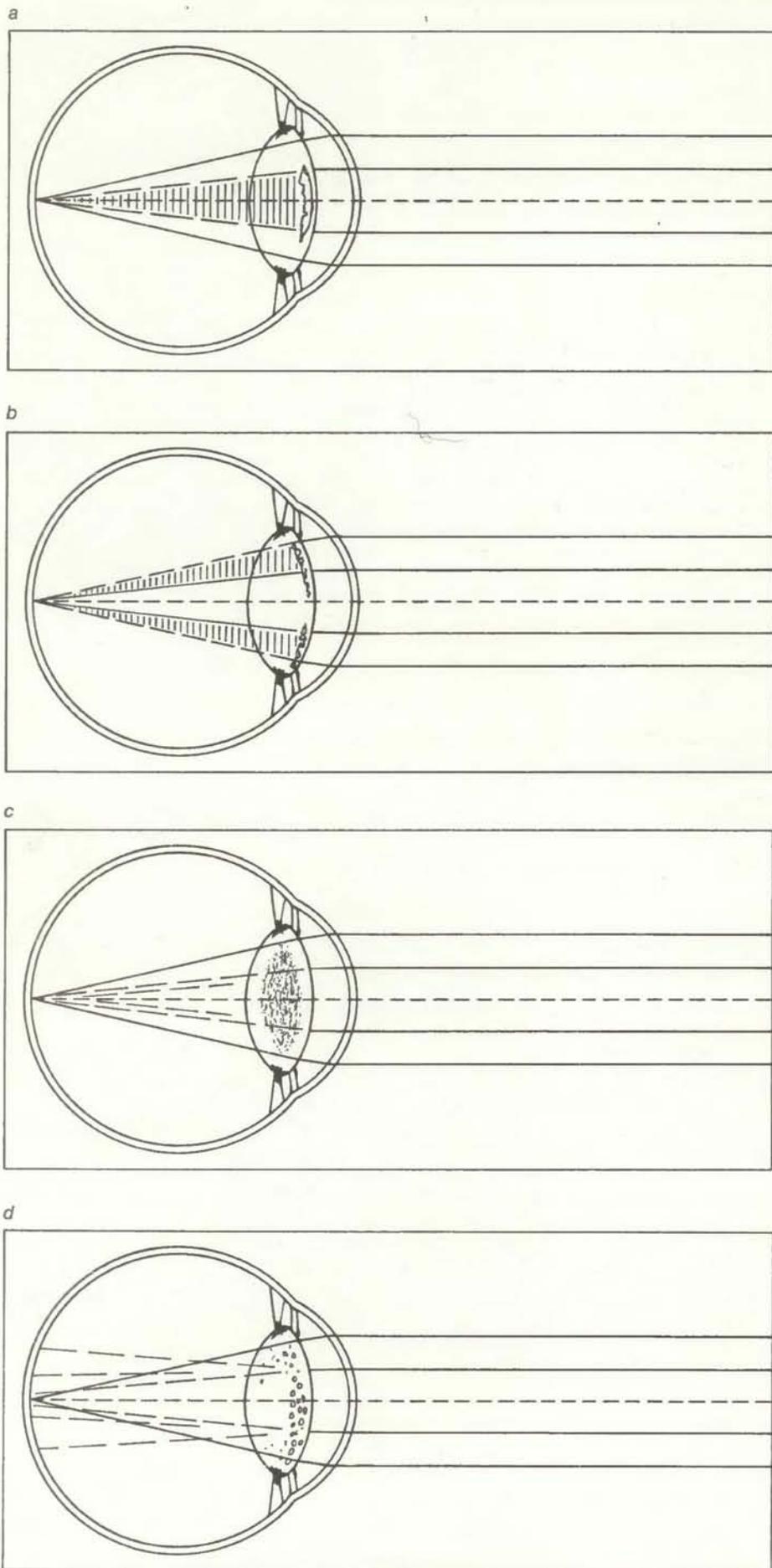
ВОЗРАСТ В ГОДАХ	ИСПАНИЯ	ПАНАМА	ФРГ (БОНН)	ГДР (ЛЕЙПЦИГ)	ШВЕЙЦАРИЯ	США
31—40	4,5	5,3	—	0,2	3,5	0,8
41—50	15,4	10,8	5,9	1,2	7,0	5,5
51—60	31,7	26,3	12,9	13,7	16,2	13,9
61—70	32,4	35,5	37,5	29,8	33,2	36,7
71—80	15,8	16,4	34,5	44,3	31,1	34,6
СВЫШЕ 80	0,8	5,7	8,5	10,7	9,0	8,5

КАК ПОКАЗЫВАЕТ СТАТИСТИКА операций катаракты, число лиц, страдающих ею, увеличивается с возрастом. Однако из приведенных здесь данных видно, что большинство операций катаракты проводится в Испании и Панаме в среднем на десять лет раньше, чем в других странах.

ЧАСТОТА ВОЗНИКНОВЕНИЯ КАТАРАКТЫ НА 10 ТЫС. ЧЕЛОВЕК

ВОЗРАСТ В ГОДАХ	МУЖЧИНЫ			ЖЕНЩИНЫ		
	ИЗРАИЛЬ ВЫХОДЦЫ ИЗ СТРАН ЕВРОПЫ	ИЗРАИЛЬ ВЫХОДЦЫ ИЗ СТРАН ВОСТОКА	ОКСФОРД	ИЗРАИЛЬ ВЫХОДЦЫ ИЗ СТРАН ЕВРОПЫ	ИЗРАИЛЬ ВЫХОДЦЫ ИЗ СТРАН ВОСТОКА	ОКСФОРД
40—49	1,42	3,76	0,28	1,30	4,54	0,09
50—59	4,50	15,75	2,29	5,49	15,09	2,40
60—69	16,68	32,73	7,07	21,93	29,57	8,80
СВЫШЕ 70	40,36	63,30	19,70	38,33	50,31	24,70

ДЛЯ МНОГИХ РЕГИОНОВ ЗЕМЛИ до сих пор отсутствуют достоверные сведения об образовании старческой катаракты. Однако данные по Израилю и Оксфорду (Великобритания) указывают на то, что география возникновения катаракты очень неравномерна.



ТИПЫ УХУДШЕНИЯ ЗРЕНИЯ в результате катаракты. На верхних рисунках показано уменьшение оптического сечения за счет помутнений в различных областях хрусталика: *a* — в центральной области, *b* — в краевых областях. В случае *c* хрусталик окрашен и выступает в роли фильтра. В случае *d* свет рассеивается на точечных помутнениях.

Возрастные изменения обмена веществ в хрусталике

Неудивительно, что процессы обмена веществ в хрусталике и его химический состав, в частности структура протеинов, изучаются уже с давних пор. Исследовать причины, вызывающие катаракту, можно на основе комплексного биохимического анализа процессов обмена веществ.

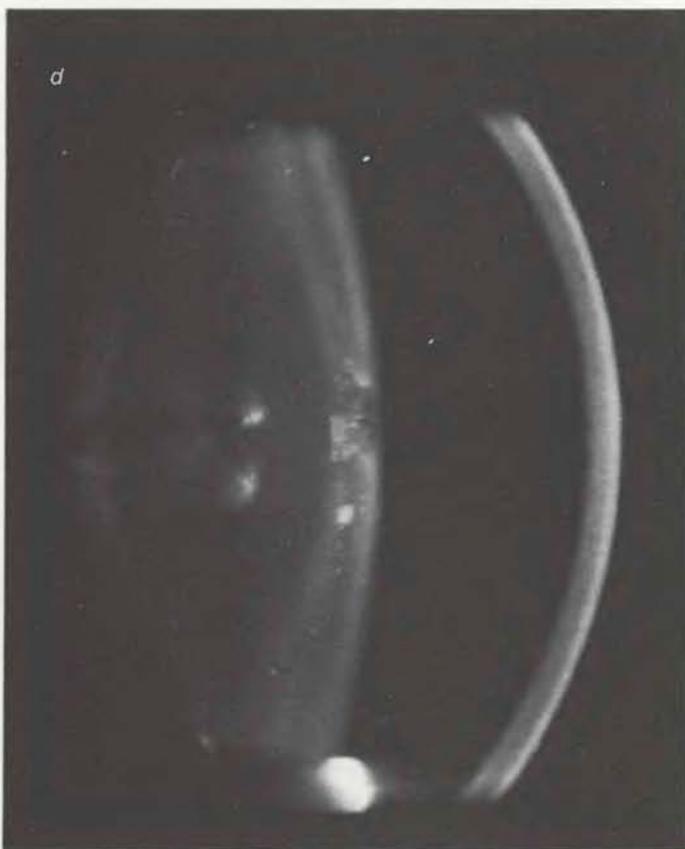
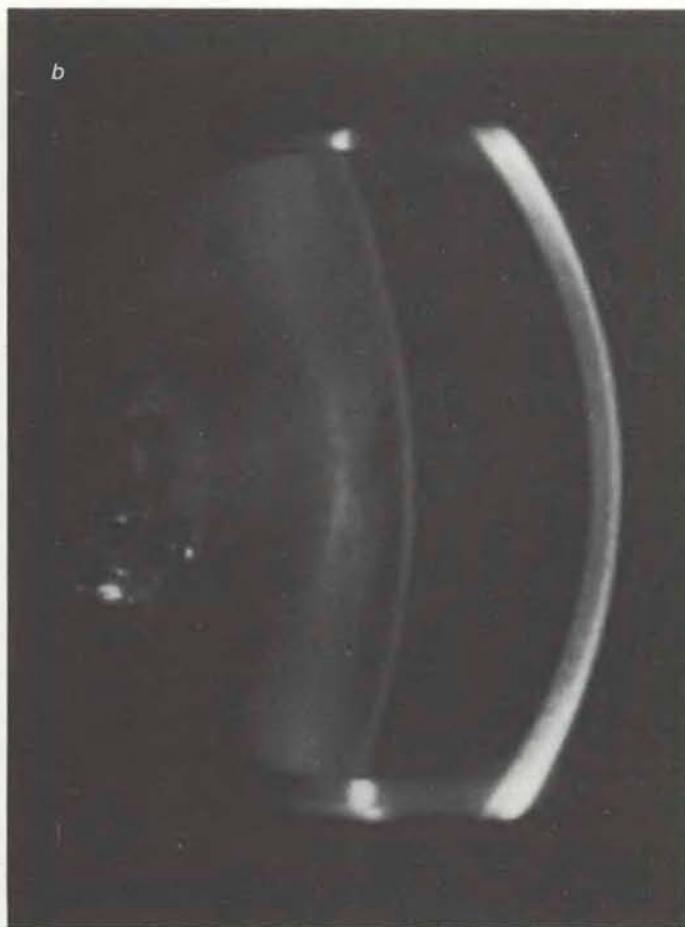
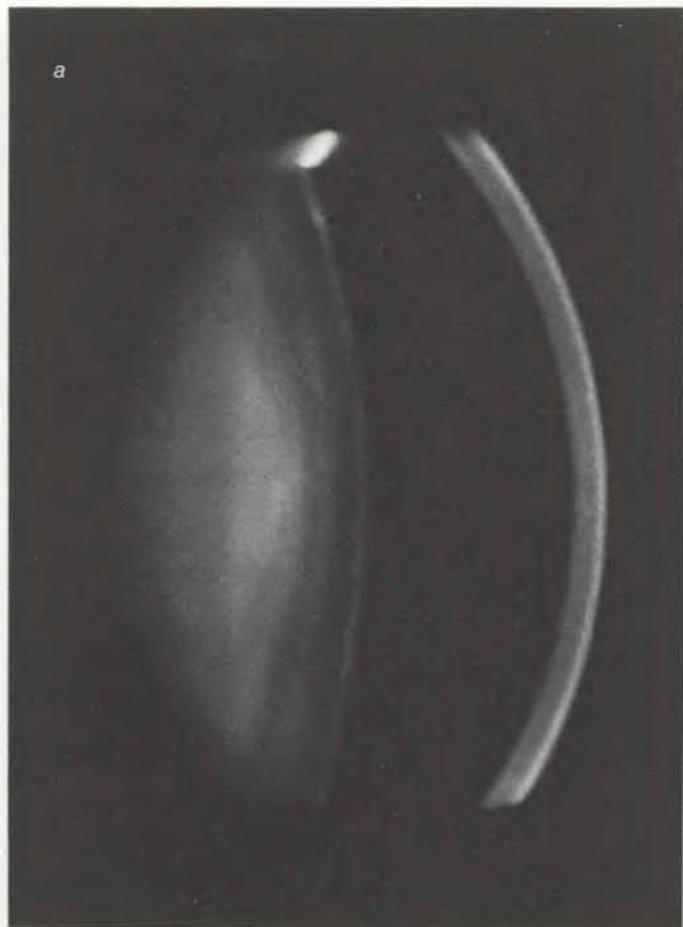
Старение организма обусловлено старением его клеток. Если мы хотим понять механизм старения хрусталика, то необходимо знать, как изменяются со временем его клетки.

Волокна хрусталика — уже не способные к делению (постмитотические) клетки без ядра с очень большой продолжительностью жизни; к этому же типу клеток, но с меньшей продолжительностью жизни (примерно 100 дней) относятся эритроциты.

Образование волокон хрусталика начинается с эпителиальных клеток в экваториальной области, которые там дифференцируются и вырастают до длинных гексагональных волокон протяженностью от полюса до полюса. С достижением волокон хрусталика полной длины синтез протеинов заканчивается, ненужные больше ядра клеток рассасываются. Свойства, обретенные волокнами хрусталика к концу синтеза кристаллинов, определяют дальнейшее существование волокон — они ведут себя потом так же, как и другие безъядерные, не способные к делению клетки.

Качество начального исполнения, заложенного в ядре клетки и варьирующего под действием среды, определяет продолжительность физиологического состояния кристаллиновых молекул. Ведь многогранные взаимоотношения с молекулярным окружением не остаются без последствий — в результате их все в большей степени наступает продолжительность физиологическая трансформация такого рода после закончившегося синтеза называется постсинтетическими изменениями. Содержание так называемых ошибочных протеинов увеличивается.

Другие типы клеток способны разлагать ошибочные протеины путем протеолиза и выводить их из клеток. Хотя протеолитическая активность должна быть зафиксирована, в хрусталике это не достигается; кроме того, этому препятствует аппозиционный рост. Отдельные молекулы в хрусталике скорее собираются в агломераты молекул, которые все более увеличиваются. Они образуют высокомолекулярную компоненту хрусталика. Наконец, они становятся нерастворимыми в воде и исключаются из биологических клеточных процессов, идущих в водном рас-



РЕЗКИЕ ГЛУБИННЫЕ СНИМКИ переднего раздела глаза. Справа налево: роговица, передняя камера и хрусталик (зрачок максимально расширен с помощью медикаментов). Показаны различные формы помутнений в результате «старческой катаракты». Помутневшие или окрасившиеся участки выглядят более светлыми на позитиве: *a* — измене-

ния в ядре хрусталика, *b* — точечные помутнения в задней коре хрусталика, *c* — прогрессирующее помутнение определенного слоя коры, наступающее с краю, *d* — помутнение в передней коре; кроме того, имеются две зоны помутнения в ядре. Снимки сделаны примерно при семикратном увеличении.



СХЕМАТИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ХРУСТАЛИКА, поясняющий его постоянный аппозиционный рост. Лежащие с краю клетки эпителия начинают расти в длину и размещаются на имеющихся волокнах. Выросшее волокно простирается от центра передней поверхности до центра задней. После этого синтез белка заканчивается, ядро клетки рассасывается. Образование новых волокон происходит аналогично нарастанию новых годовых колец на дереве. Таким образом, самые молодые белковые образования размещаются непосредственно под капсулой хрусталика, которая растягивается с увеличением объема.

творе. Чем «старше» молекула, тем больше вероятность ее изменения в результате постсинтетических процессов.

Важно отметить, что каждые две примерно из ста молекул белка имеют как энзимы особое «задание». С помощью активного места их пространственной структуры они облегчают ход химических реакций между определенными реагентами. Но изменения протеина затрагивают и такие энзимы. Именно этим процессом обусловлены гораздо более серьезные последствия, чем те, которые вызываются изменением структурных протеинов. Старение выражается в том, что протекание определенных реакций затрудняется, так как у соответствующих катализаторов снижается каталитическая активность или они становятся совершенно пассивными. Очевидно, некоторые энзимы могут быть сильнее затронуты этим процессом, чем другие, став таким образом ключевыми энзимами.

В течение последних десяти лет вместе с профессором К. Орлоффом, а также коллегами из Парижа и Бостона мы установили два таких ключевых энзима

в стареющем хрусталике: гексокиназу и фосфофруктокиназу. Оба энзима обеспечивают фосфорилизацию молекул глюкозы. Возрастные изменения в них все сильнее препятствуют углеводному обмену, из которого хрусталик «черпает» свою энергию.

Уменьшение энергетического резерва в любом случае ослабляет иммунные свойства хрусталика. Тем самым возрастает предрасположенность к потере хрусталиком своей прозрачности при различных нарушениях.

Некоторые группы исследователей, в частности в Нидерландах, Англии, США и Австралии, внесли особый вклад в изучение структурных изменений, обусловленных постсинтетическими трансформациями молекул. Они считают, что от аминокислот аспарагина и глутамина без участия групп энзимов отщепляются аминогруппы (NH_2), обе молекулы превращаются при этом из нейтральных в кислые. Кроме того, такие аминокислоты, как цистеин, содержащие группу SH , могут вступать в протеиновой цепи в новую ковалентную связь. При этом окисляется обе группы SH , так что возникает дисульфидный мостик. Если это происходит между двумя различными цепочками протеинов, то возникает ковалентный агрегат. До этого момента молекула протеина многократно разворачивается.

Пространственная структура отдельных аминокислот также может измениться. Встречаются аминокислоты двух стереоизомерных (зеркальных) форм, которые ведут себя по отношению друг к другу как правая и левая рука и обозначаются как L- и D-форма. В природе обычно встречается лишь L-форма. В ходе постсинтетических трансформаций L-аминокислоты могут частично превращаться в D-изомеры. В этом случае говорят о расемизации. Структура протеинов может измениться еще и за счет того, что энзимы подключают к ним остаточный сахар или группы фосфатов.

Поскольку собственная иммунная система хрусталика в процессе старения ослабевает, окисление начинает играть все более важную роль. Это окисление вызывают прежде всего химически ненасыщенные высокоактивные радикалы перекиси, которые возникают либо энзимным путем в присутствии кислорода, под действием света, либо «сами по себе» (аутоокислено). Так как в стареющих хрусталиках отсутствуют подходящие «ловители радикалов», то радикалы перекиси представляют собой крайнюю опасность.

Поскольку постсинтетические трансформации молекул протеинов в хрусталике протекают по биологическим законам, было бы поспешным объявлять их прямой причиной помутнения хрусталика. Кроме того, подобные изме-

нения (как кристаллинов, так и энзимных протеинов) наиболее велики в самой старой части хрусталика — в его ядре. Это тоже противоречит тому, что они вызывают помутнение в случае так называемой «старческой катаракты». Напротив, описанные изменения прекрасно объясняются рассеиванием света, которое, как было видно из снимков методом Шеймпфлюга, проявляется в слоях примерно равного возраста. Если, кроме того, учесть данные исследований эпидемиологических и расовых факторов и воздействия окружающей среды, возможность влияния общих заболеваний, например сахарного диабета, или таких специфических глазных болезней, как воспаление или повышенное глазное давление, то следует сделать вывод, что «старческая катаракта» вызывается многими причинами. Биологическое старение, конечно, вносит существенный вклад в этот процесс, но вклад этот не единственный. Значение его, однако, повышается из-за увеличения предрасположенности хрусталика к потере прозрачности в случае других нарушений.

Помутнение хрусталика — следствие суммы нарушений

К началу 60-х годов были накоплены данные о возникновении «преждевременных» форм помутнения хрусталика в результате длительного нарушения режима питания. Поскольку до тех пор господствовало мнение, что недостаточное или неправильное питание взрослых не имеет прямого катарактогенного воздействия, большинство офтальмологов не желали видеть здесь причинно-следственных связей.

В то время мною совместно с Т. Окamoto (стипендиатом фонда Александра фон Гумбольдта) и Хансом Рейнхардом Кохом были начаты исследования нарушений хрусталика, считающихся недостаточными для образования катаракты, которые накапливаются и могут проявиться вместе с другими, более поздними нарушениями. Мы назвали подобное помутнение в результате суммирования эффектов «слабительной катарактой» и обнаружили, что взаимодействия различных нарушений хрусталика могут быть разными: под «кокатарактогенезом» понимается усиление одного катарактогенного фактора вторым, незначительным; в результате помутнение возникает и развивается быстрее. При «синкатарактогенезе» одновременное появление двух нарушений, каждого из которых по отдельности было бы недостаточно, вызывает возникновение катаракты.

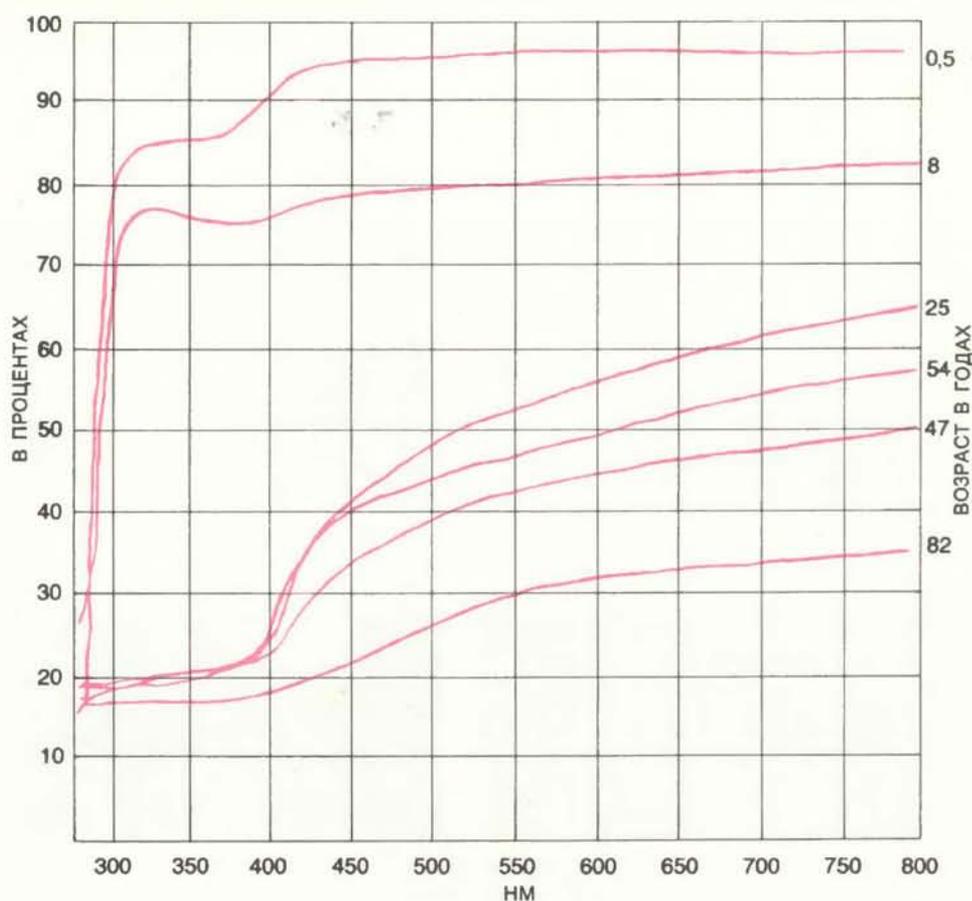
Необходимы дальнейшие исследования для выяснения того, какой из обоих механизмов вызывает «старческую катаракту». В любом случае гипотеза, что лишь старение есть причина возникновения катаракты, больше несостоятельна — ведь изменения в обмене веществ в хрусталике, вызванные старением, не могут более рассматриваться как непосредственно катарактогенные. Мультифакторальный генезис частых заболеваний катарактой в пожилом возрасте объясняет, почему катарактой заболевают люди самых разных возрастов, и то, почему помутнения возникают различным образом*. Сюда же, к числу прочих уже названных факторов, относятся и генетические.

Новые пути лечения катаракт

Большинство людей в течение некоторого времени мирятся с заболеванием катарактой. Когда же помутнение хрусталика настолько ухудшит зрение, что пациент уже не в состоянии ориентироваться без посторонней помощи, облегчение ему может принести лишь оперативное удаление катарактного хрусталика. Сегодня это, как правило, микрохирургическая операция, при которой врач выполняет отдельные действия под операционным микроскопом.

После удаления хрусталика необходимо откорректировать преломляющую силу глаза. Для этого используют специальные катарактные очки либо контактные линзы на роговице глаза. В последнее время появились пластиковые хрусталики, которые могут при операции вставляться в глаз.

Сама операция проходит практически без осложнений. Пациентам гораздо труднее приспособиться к искусственным средствам зрения, да и качество зрения может измениться. Иногда через несколько недель или месяцев после операции возникают осложнения. Для пожилых людей к тому же психо-



КРИВЫЕ ИЗМЕРЕНИЙ светопропускающей способности нормальных хрусталиков разного возраста в зависимости от длины волн показывают возрастание фильтрующего эффекта. (Возраст указан в годах.) Эти кривые были получены Сиднеем Лерманом в 1980 г.

логически непросто решиться на операцию на глазах. Пациенты очень часто выражают желание лечить заболевание медикаментозным путем.

Если вспомнить описанные процессы син- и кокатарактогенеза, т.е. совместное действие процессов старения и дополнительных факторов риска, то становится понятно, что медикаментозное вмешательство, направленное на исключение какого-то фактора риска, вполне возможно. Конечно, речь при этом идет не о попытке восстановить с помощью лекарства прозрачность уже помутневшего хрусталика — здесь может помочь лишь хирургическое вмешательство. Речь идет и не о том, чтобы предотвратить или задержать старение хрусталика — подобный подход был бы заранее обречен на неудачу, поскольку потребовал бы изменения биологических законов.

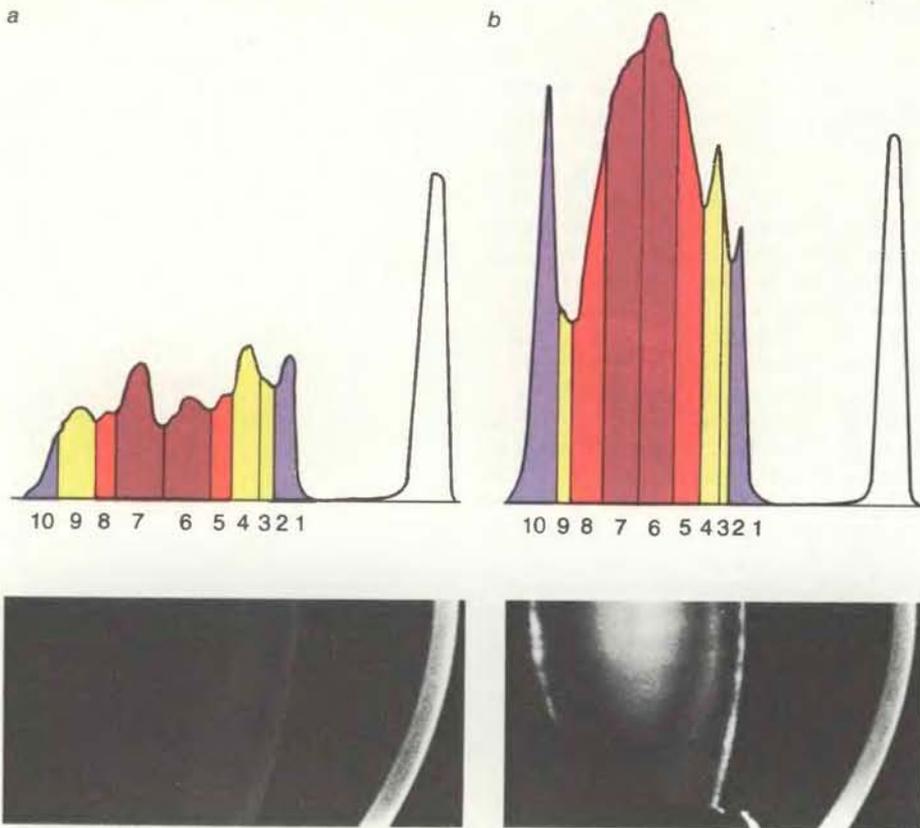
Если помутнение является следствием дополнительного фактора при старческих изменениях обмена веществ в хрусталике, то предотвращение действия подобного фактора могло бы надолго оттянуть потерю прозрачности или даже позволило бы избежать ее. Но, как было уже показано ранее, факторов риска может быть немало и они

способны вызвать различные типы помутнений. При этом следует исходить из того, что одно специальное лекарство не может эффективно использоваться против всех (неоксидативных) катарактогенезных воздействий.

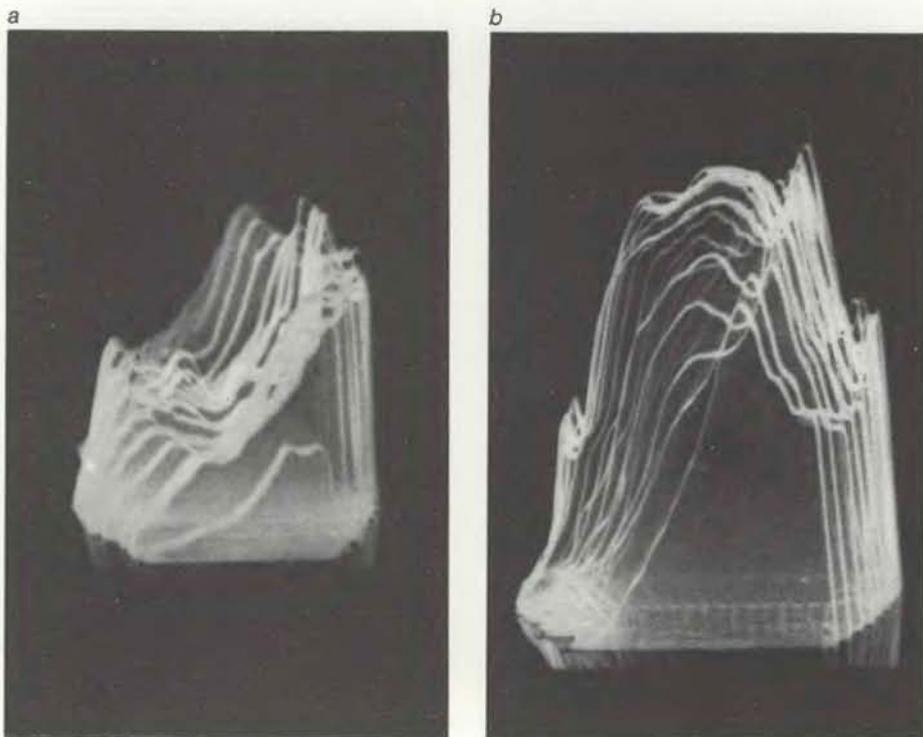
Современная фармакология имеет в своем распоряжении целый ряд препаратов. Однако их эффективность по современным научным меркам в большинстве своем не доказана. Как правило, для таких медикаментов лишь делаются предположения о принципе их действия, а экспериментальные доказательства отсутствуют. Сообщения о таких препаратах чаще появляются на страницах иллюстрированных и популярных журналов, нежели в научной прессе. Путаницу в этот вопрос вносят и высказывания известных представителей народной медицины об отсутствии объективных показателей эффективности в этой области. Все эти сопутствующие явления выставили в ложном свете истинные попытки медикаментозного лечения помутнений хрусталика.

Тем не менее намечается бесспорный прогресс в медикаментозном влиянии на процессы, вызывающие помутнение хрусталика. Недавно стал известен

* Исследования, проведенные в течение последних лет в Московском НИИ глазных болезней им. Гельмгольца, дают основания считать, что у больных старческой катарактой (наиболее часто встречающейся поражением хрусталика) основным патогенетическим фактором является усиление процесса перекисного окисления липидов (ПОЛ). Существуют веские основания полагать, что ПОЛ имеет значение не только для развития старческой катаракты, но и является в известном смысле универсальным механизмом, приводящим к помутнениям хрусталика другой этиологии. В указанных исследованиях отмечено наличие корреляции между степенью помутнения хрусталика и содержанием в нем продуктов ПОЛ. — *Прим. ред.*



ДЕНСИТОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ измерений светопрозрачности вдоль оптической оси. Высота денситометрической кривой соответствует потере прозрачности в результате рассеивания света. Ход кривой выявляет отдельные слои хрусталика, окрашенные на рисунке в разные цвета: 1, 2 и 10 соответствуют капсуле с поверхностными слоями коры; 3, 4 и 9 — коре хрусталика; 5 и 8 — супернуклеарной зоне; 6 и 7 — ядру хрусталика. Сравниваются фотографии и денситометрический анализ нормального хрусталика 25-летнего испытуемого (а) и хрусталика, пораженного катарактой (зона помутнения вдоль капсулы, изменения в ядре, а также рассеивание света на глубоком 4-м слое передней коры) (b).



ЕСЛИ ПОВТОРИТЬ ДЕНСИТОМЕТРИЮ, как на предыдущем рисунке, во многих параллельных к оптической оси плоскостях, то можно измерить прозрачность всего раздела хрусталика. В первом случае (а) получается картина сходная со схемой а на рисунке вверху, во втором (b) — аналогичная результатам на схеме b рисунка вверху, причем помутнение вдоль капсулы хрусталика становится менее сильным.

пример того, как химическая ответная реакция может предотвратить образование катаракты: при избытке углеводов, как в случае сахарного диабета, часть их разлагается путем гликолиза. При этом из альдозы (например, глюкозы) в присутствии коэнзима NADPH образуется полиол (сорбит). Полиол накапливается в волокнах хрусталика, поскольку лишь с трудом может проникать через клеточную мембрану. Он все больше смещает осмотическое равновесие: внутрь устремляется вода и волокна набухают, пока наконец не рвется мембрана, в результате чего наступает помутнение хрусталика. Если при подобных начальных условиях предотвратить накопление полиолов (что можно осуществить дезактивацией энзимов или улавливанием коэнзимов), то процессы, ведущие к помутнению, приостановятся. Именно это и происходит при лечении диабета путем регуляции содержания сахара в крови.

Это возможно и в случае других факторов риска, особенно таких, которые проявляются в окислительной реакции (например, под действием перекисных радикалов аутоокислительного, энзимного или фотохимического происхождения). Мы уже вышли по этому пути за стацию экспериментальных работ. После клинических испытаний может оказаться, что вещества, защищающие от окисления, дают положительный эффект при определенных типах помутнений.

По-видимому, можно улучшить энергетический баланс обмена веществ в хрусталике путем изменения образца энзимов. Для этого необходимо ввести такие субстраты и реагенты, дальнейшее разложение которых может быть, например, предотвращено потерей активности упомянутых выше ключевых энзимов.

Ужасающие прогнозы...

Успехи современной медицины увеличили общую продолжительность жизни. Даже в развивающихся странах заметна эта тенденция. В результате, однако, увеличилось число людей, которым грозит слепота в результате катаракты.

Не означает ли это, что успех в борьбе с ранней смертностью будет сопровождаться устрашающим увеличением числа ослепших людей? Всемирная организация здравоохранения делает ужасающие прогнозы на ближайшие двадцать лет, особенно для тех стран, в которых сегодня уже ощущается дефицит хирургической помощи пациентам с катарактой: число больных катарактой в развивающихся странах может увеличиться в 4—5 раз. Эта большая медико-социальная проблема требует не только клинических, но и

экспериментальных исследований хрусталика.

...и виды на помощь

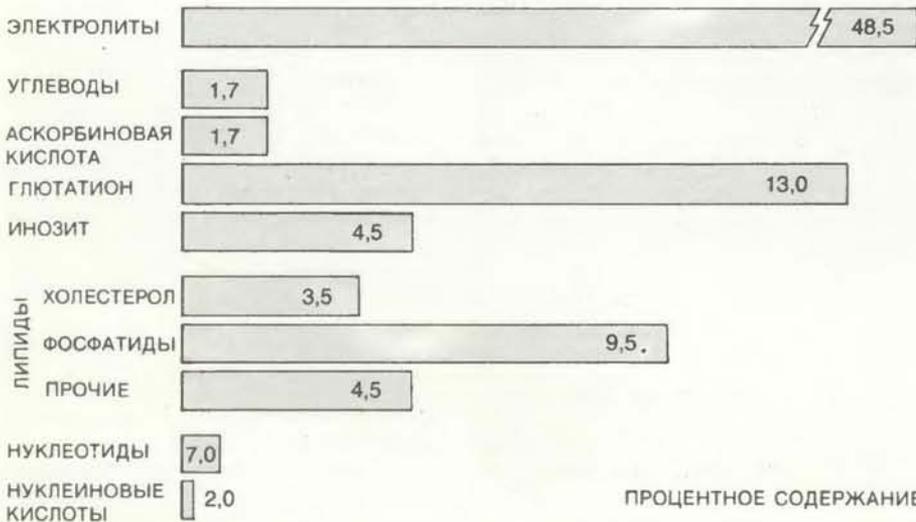
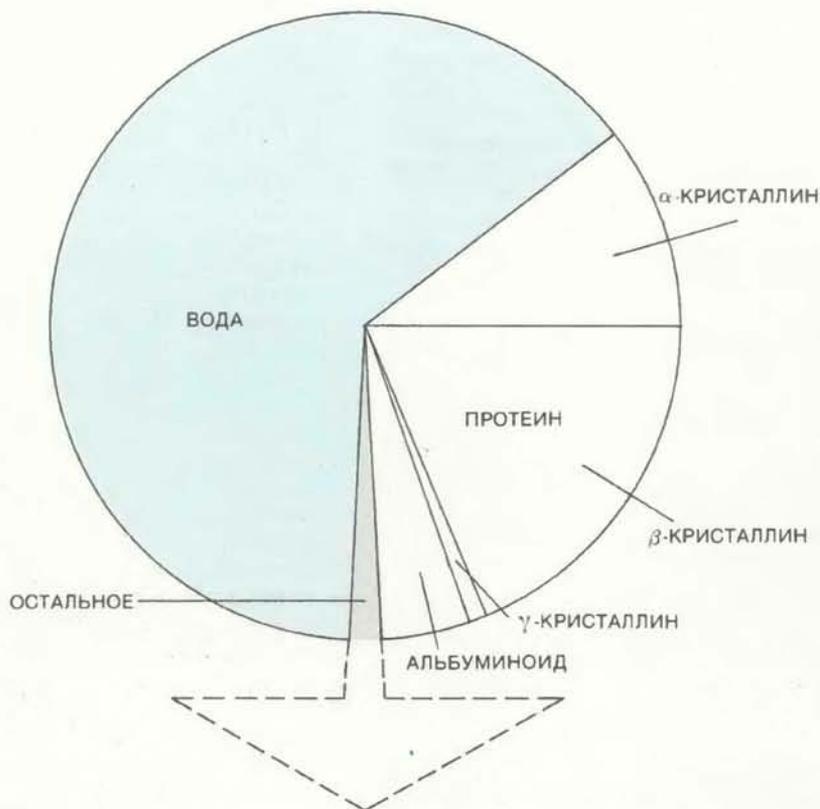
Во многих странах в последние годы на исследование катаракт затрачивались немалые средства. Немецкие ученые внесли большой вклад в изучение клеточной биологии и энзимологии стареющего хрусталика в рамках исследовательской программы «Биология старения». Начиная с 1978 г. Европейское экономическое сообщество (ЕОС) поддерживает научную программу по геронтологии, в которой

участвуют офтальмологи из Англии, Нидерландов, Бельгии, Франции, Италии и ФРГ, занимающиеся клиническими и биохимическими исследованиями. Европейское сообщество поддержало план продления программы. В Соединенных Штатах и Японии начаты подобные совместные работы. К тому же сегодня уже достигнута договоренность о совместной работе американской научной группы по исследованию катаракты и группы европейских институтов в рамках ЕОС.

Целью всех этих работ является в конечном счете предотвращение слепоты в результате катаракты. В соответствии с современной научной кон-

цепцией это означает распознавание и исключение факторов риска, способствующих возникновению катаракты.

Конечно, для этого необходимы годы, и в ближайшем будущем без операций катаракты не обойтись. Но совместными усилиями мы должны помочь сохранить все большему числу пожилых людей почти нормальное зрение.



ПРОЦЕНТНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

ХРУСТАЛИК на 35% (по весу) состоит из протеинов. Кроме того, он имеет высокое содержание глутатиона и аскорбиновой кислоты. Оба эти вещества входят в систему защиты от окисных влияний, которые все сильнее проявляются с возрастом.

Издательство
МИР
предлагает:

ЭВОЛЮЦИЯ ГЕНОМА

Под редакцией Г. Доувера, Р. Флейвелла

Перевод с английского

Коллективная монография, написанная известными специалистами на основе трудов Кембриджского симпозиума по эволюции генома.

Содержание: Пути эволюции генома («эгоистичная» ДНК; мигрирующие последовательности ДНК в геноме эукариот; изменения ДНК в клетках, устойчивых к метотрексату; структура и эволюция генома у приматов). Проблема эволюции «семейств» генов (эволюция генов глобина, актина, антител; экспрессия генов у полиплоидных организмов). Строение ядра клеток и вариации содержания ДНК (пространственная организация хромосом у эукариот; повторяющиеся последовательности в ядерной ДНК; исследование фенотипического проявления изменений количества ДНК). Эволюция генома и видообразование (амплификация, делеции и перестановки нуклеотидов в ДНК; гипотеза «молекулярного привода» эволюции). Нерешенные проблемы эволюции.

Книга предназначена для молекулярных биологов, биохимиков, генетиков, эволюционистов. 1985, 23 л., цена 3 р. 20 к.



Квантовая химия глубокого холода

Благодаря специфически квантовому явлению —
туннельному эффекту — химические реакции
могут идти даже при температурах,
близких к абсолютному нулю

В. И. ГОЛЬДАНСКИЙ

В 1889 г. шведский ученый Сванте Аррениус, один из основоположников физической химии, вывел свою знаменитую формулу, характеризующую зависимость скорости химической реакции от температуры. Согласно закону Аррениуса, при абсолютном нуле скорость всякой химической реакции также равна нулю (никакие реакции не идут). С увеличением температуры скорость реакции растет, и темпы этого роста определяются одной важной характеристикой, называемой энергией активации.

Чтобы понять физический смысл этой характеристики, представим себе, как зависит внутренняя потенциальная энергия вступающих в химическую реакцию молекул от пространственного расположения составляющих их атомов. Каждая такая молекула первоначально как бы находится в энергетической «яме». Испытать химическое превращение, т. е. перестройку связей между атомами, связанную с их перемещением, означает для молекулы перескочить в соседнюю яму. Для этого молекуле надо перебраться через энергетический барьер (см. рисунок на с. 59).

В тепловом равновесии подавляющее большинство молекул располагает энергией, которая при комнатной температуре в десятки, а при температуре жидкого гелия (4,2 К) в тысячи раз меньше высоты активационного барьера. Поэтому для того чтобы преодолеть этот барьер, молекуле надо одолжить энергию у многих своих соседей. Картина в известной мере похожа на лотерею: прежде чем выиграть, надо «собрать средства» на лотерейный билет. Таким образом, согласно классическим представлениям, чем меньше температура, т. е. чем меньше средняя энергия молекул, тем меньшая их часть может преодолеть энергетический барьер. При абсолютном нуле энергия всех молекул равна нулю: молекулы оказываются на дне энергетических ям и химическая реакция становится невозможной. В этом состоит сущность закона Аррениуса.

Квантомеханические представления, развитые в первой трети XX в., вносят важные коррективы в эту картину. Согласно законам квантовой ме-

ханики, всякая частица обладает одновременно волновыми свойствами. Соответствующая частице волна называется волной де Бройля по имени французского физика, который ввел это понятие. Длина дебройлевской волны обратно пропорциональна массе частицы m и ее скорости v : $\lambda = h/mv$, где коэффициентом пропорциональности h служит важнейшая константа квантовой механики — постоянная Планка (около 10^{-34} Дж·с).

Наличие волновых свойств у частицы объясняет одно исключительно важное явление, недопустимое с точки зрения классической физики: частица может проходить из одной энергетической ямы в другую, не поднимаясь на разделяющий эти ямы перевал. Частица проходит сквозь него как бы через туннель. Возвращаясь к сравнению с лотереей, можно говорить о выигрыше, для получения которого не требуется даже приобретать лотерейный билет. Такое сугубо квантовое явление называется туннельным эффектом, или туннелированием.

Другое важное следствие квантовой механики заключается в том, что колебательная и вращательная энергия молекул может принимать только определенные дискретные значения, а значит и меняться может только скачком. Более того, вопреки представлениям классической физики, при абсолютном нуле не происходит полного замораживания всех движений: молекулы обладают энергией, располагаясь в энергетических ямах на уровнях так называемых нулевых колебаний.

В 1928 г. Г. Гамов, а затем Р. Гэрни и В. Э. Кондон впервые применили теорию туннельного эффекта для объяснения загадочной зависимости между энергиями α -частиц, излучаемых природными радиоактивными изотопами, и периодами полураспада этих изотопов. Энергия α -частиц изменяется в узком диапазоне значений — от 4 до 10 МэВ, в то время как соответствующие периоды полураспада различаются на 24 порядка — от 10 млрд. лет до десятимиллионных долей секунды!

Выяснилось, что процесс α -распада радиоактивных изотопов представля-

ет собой туннельное проникновение α -частицы через энергетический барьер (покинуть ядро изотопа α -частице мешают ядерные силы притяжения). Высота барьера составляет 24 МэВ и, таким образом, на 14—20 МэВ превышает энергию вылетающих α -частиц, а его ширина в 3—8 раз больше, чем радиус ядер α -излучателей.

К типично туннельным процессам относится и так называемый двупротонный распад. Его существование и свойства были предсказаны автором статьи в 1960 г., а первое экспериментальное наблюдение осуществлено в США Дж. Черны с сотрудниками лишь совсем недавно — в конце 1982 г. При таком распаде ядро покидает частица, не существующая в свободном виде. Это дипротон, или иными словами, сверхлегкий гелий — ${}^2\text{He}$. В таком виде частица входит в туннель. Выходят же из туннеля — вдали от ядра — уже два независимых протона, между которыми действуют кулоновские силы отталкивания.

Где и как расстается находившаяся первоначально в одном купе поезда пара пассажиров? Туннель скрывает это событие от наших глаз. Каким именно образом — резко или постепенно — взаимное притяжение двух протонов за счет ядерных сил сменяется их кулоновским отталкиванием? Ответ на этот вопрос должны дать будущие исследования двупротонной радиоактивности, в особенности наблюдения энергетической и угловой корреляции вылетающих из ядра протонов.

На представлениях о туннелировании во многом основывается современная теория аморфного состояния, в частности находит свое объяснение (оно было предложено Ф. Андерсоном с сотрудниками и В. Филлипсом) необычная линейная зависимость теплоемкости стеклообразных тел от температуры вблизи абсолютного нуля. Речь здесь идет о туннелировании тяжелых частиц — атомов или групп атомов — между двумя соседними потенциальными ямами. При условии резонанса, т. е. совпадения уровней энергии в исходном и конечном состояниях в обеих потенциальных ямах, такие переходы происходят без каких-либо трудно-

стей. В противном случае необходимо отдать избыточную или получить недостающую энергию. В таком переходе участвуют кванты колебаний твердого тела — фононы. Испускание и поглощение фононов приводит к тому, что потенциальные ямы как бы «дышат», меняя свою глубину и форму, и могут перемещаться друг относительно друга. В ходе этих измерений устанавливается и вновь пропадает резонанс между соседними ямами, возникает кратковременная возможность перескока атомов из одной ямы в другую.

БЫЛО бы совершенно удивительно, если бы такое яркое следствие волновых свойств материи, как туннельный эффект, обошло стороной химию. Уже в 1929 г. Д. Бурген в США высказал предположение о возможности туннельного преодоления активационного барьера химических реакций. Особенно большой вклад в изучение туннельного эффекта в химической кинетике — главным образом применитель-

но к реакциям переноса протона в растворах — внес англичанин Р. П. Белл.

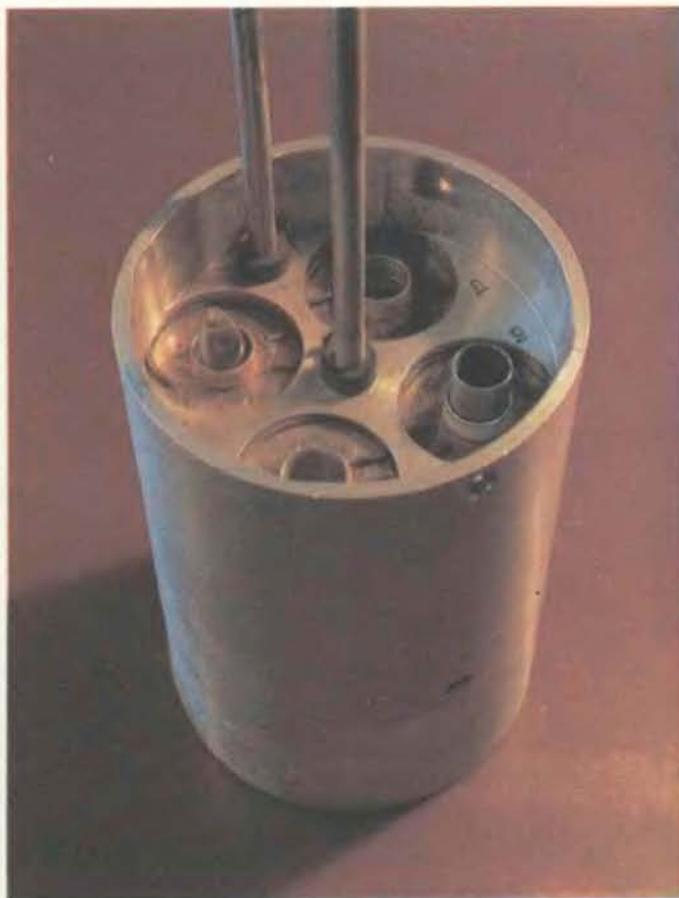
Однако экспериментальные поиски проявлений туннельного эффекта в химической кинетике долгое время велись лишь при относительно высоких температурах, в жидкой фазе. Между тем, легко убедиться, что для получения условий, при которых квантовое (туннельное) проникновение сквозь активационные барьеры преобладало бы над классическими (аррениусовскими) переходами поверх барьеров, необходимо идти в сторону низких температур.

При температуре, близкой к абсолютному нулю, большинство молекул оказываются расположенными на уровнях нулевых колебаний. Поэтому при понижении температуры вероятность туннелирования стремится к конечной, уже не зависящей от температуры величине и скорость химической реакции достигает квантового низкотемпературного предела.

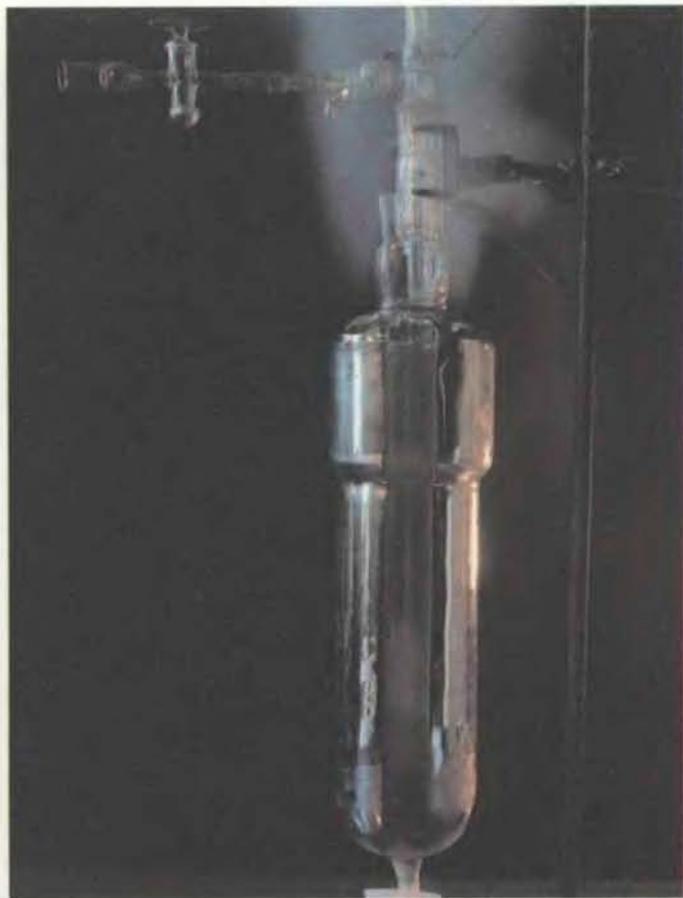
Проблема существования такого предела была теоретически поставлена и

рассмотрена автором статьи в 1959 г., причем был введен критерий «температуры туннелирования», ниже которой подбарьерные, туннельные, переходы начинают преобладать над надбарьерными, аррениусовскими, и классическая кинетика уступает место квантовой.

Качественный вывод этого критерия весьма прост. Волновые свойства частицы начинают проявляться тогда, когда длина присущей ей дебройлевской волны λ становится сравнимой с классическим размером системы — в данном случае шириной барьера d . Отсюда следует требование $\lambda/d = h/mvd \geq 1$. Вместе с тем классические надбарьерные переходы вообще маловероятны, когда высота активационного барьера E значительно превышает среднюю энергию теплового движения молекул $K_B T$ (здесь K_B — константа Больцмана). Поэтому, чтобы обеспечить преобладание туннелирования, достаточно потребовать выполнения более мягкого условия



ПО СКОРОСТИ ТЕПЛОТЫДЕЛЕНИЯ в процессе химической реакции можно судить о скорости самой реакции. Слева — калориметрический блок, использованный для определения скорости полимеризации формальдегида при низких температурах. Опыты были проведены под руководством автора в Институте химической физики АН СССР. Ампула с мономером (видна на фотографии) помещается в одну ячейку калориметра; ячейка, в которой находится образец сравнения, служит для компенсации шумов и позволяет повысить чувствительность прибора до $4 \cdot 10^{-6}$ Вт. (Две пары ячеек дают возможность одновременно исследовать две реак-



ции.) Калориметрический блок размещался в сосуде Дьюара над уровнем жидкого азота и использовался для измерений в интервале температур от 80 до 350 К. При более низких температурах (вплоть до температуры жидкого гелия — 4,2 К) применялся микрокалориметр другой конструкции. Он помещался в стеклянный криостат (справа), наружный объем которого заполнялся жидким азотом, а внутренний — жидким гелием. (Часть поверхности стеклянной колбы оставлена непосеребренной для контроля за уровнем гелия.) Калориметры разработаны И. М. Баркаловым, А. М. Капланом и Д. П. Кирюхиным.

$\hbar/d > K_B T/E$, откуда и получается величина для температуры туннелирования: $T_t = (\hbar/K_B \sqrt{2d}) \sqrt{E/m}$.

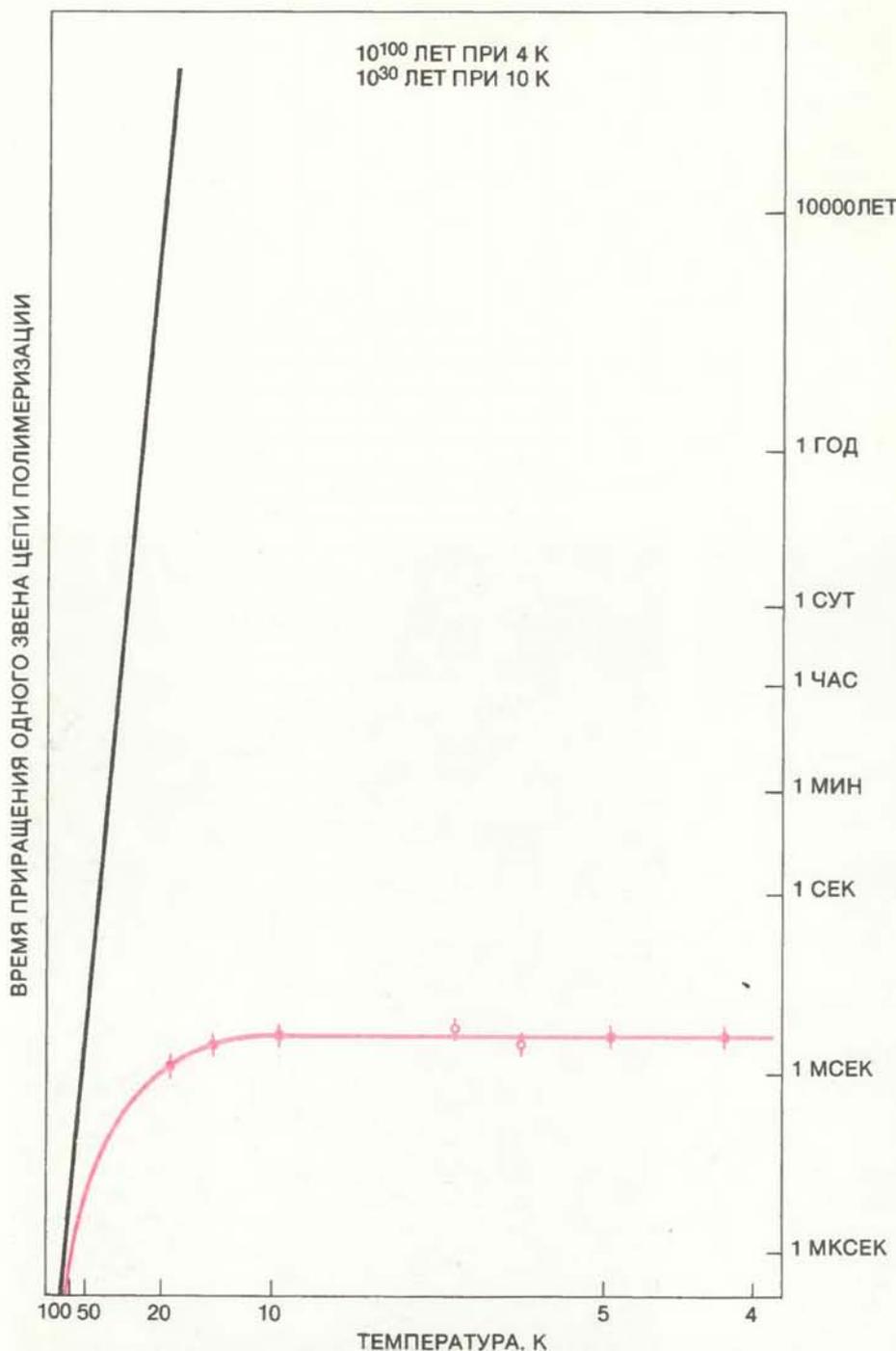
Примем высоту активационного барьера $E = 0,4$ эВ (величина, характерная для многих химических реакций), а

ширину барьера $d = 2 \text{ \AA}$. Тогда температура туннелирования для атомов водорода будет близка к 160К, а для атомов тяжелого изотопа водорода, дейтерия, составит около 120К. Для более тяжелых атомов или молекул эта тем-

пература еще ниже, поскольку она убывает пропорционально квадратному корню из массы частицы. Вот почему для полноценного наблюдения туннельного эффекта в химических реакциях нужно идти в область глубокого холода.

Расчеты различных вариантов конкуренции надбарьерных и туннельных переходов в химической кинетике, выполненные автором, позволили убедиться в том, что при снижении температуры вероятность туннелирования (а с ней и скорость химических реакций) может стремиться к конечному пределу, причем решающую роль в появлении такого предела для некоторых активационных барьеров должно играть наличие уровня нулевых колебаний.

Если вспомнить теперь о связанной с ролью фононов проблеме обязательного обеспечения резонанса, т.е. совпадения энергетических уровней в реагентах и продуктах реакции, в исходной и конечной потенциальных ямах (см. рисунок на с. 59), то можно сформулировать одно очень важное положение: хотя туннелирование сквозь энергетический активационный барьер еще не обязательно приводит к появлению низкотемпературного предела скорости химической реакции, наличие такого предела является лучшим доказательством преобладания квантовой кинетики над классической, говорит о решающей роли туннельного эффекта.



СКОРОСТЬ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ (k) зависит от температуры (T). Согласно классическому закону Аррениуса, зависимость k от T выражается прямой линией в так называемых аррениусовских координатах ($1/T, \log k$). Из закона Аррениуса следует, что при абсолютном нуле температуры реакция не идет ($k = 0$). В действительности же при стремлении температуры к нулю скорость реакции стремится к конечному пределу. На рисунке приведена температурная зависимость величины τ_0 — среднего времени приращения одного звена цепи полимеризации твердого формальдегида: рассчитанная по закону Аррениуса (серая линия) и измеренная на опыте (цветная линия). (Величина τ_0 обратно пропорциональна скорости реакции.) При уменьшении температуры τ_0 стремится не к бесконечности, а к конечному пределу ($\sim 10^{-2}$ с). Значение τ_0 , рассчитанное по закону Аррениуса для $T = 4,2$ К (температура жидкого гелия), оказывается на 110 порядков (!) большим — около 10^{100} лет. Измерения проведены в лаборатории автора.

ОБРАТИМСЯ к частице, чье поведение составляет предмет древнейшей главы химии — изучения окислительно-восстановительных процессов. Речь идет об электроны. Восстановители в химической реакции — это электрон-доноры, а окислители — электрон-акцепторы.

Таким образом, все множество процессов окисления и восстановления может быть схематически описано как переход электрона от восстановителя к окислителю. Из приведенных выше соотношений следовало бы ожидать, что для электрона температура туннелирования составит около 6700 К(!). Отсюда можно было бы заключить, что все окислительно-восстановительные процессы определяются исключительно туннельным механизмом. Если бы это было так, то изучение явлений переходов электронов в химии, вероятно, могло бы (кто знает!) оказаться тем экспериментальным полем, которое, вместо того чтобы быть возделанным квантовой механикой, само породило бы эту новую область науки.

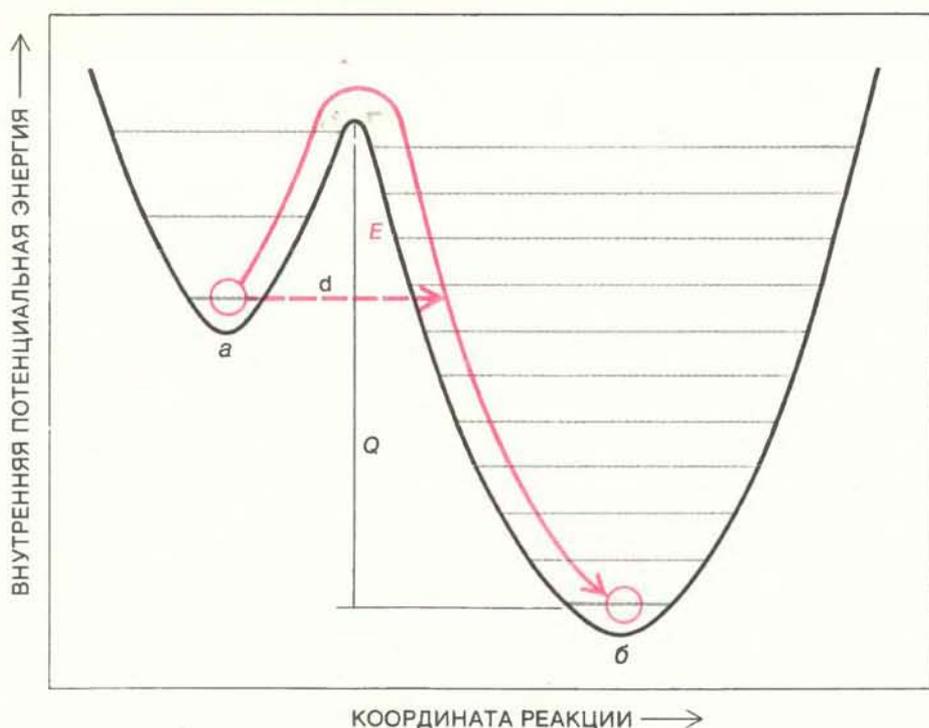
Причина, по которой это не произошло, заключается в одном простом обстоятельстве: в отличие от переноса электронов в сверхпроводниках, металлах и полупроводниках (процессов, изучаемых физикой и электроникой твердого тела) переходы электронов в

окислительно-восстановительных химических реакциях практически неотделимы от движения атомных ядер.

Полная вероятность некоторого процесса перехода представляет собой произведение двух сомножителей — так называемого гамовского фактора, описывающего вероятность подбарьерного перехода электрона как такового, и фактора Франка—Кондона, который учитывает одновременное перемещение ядер.

Существует два основных типа такого рода процессов. Один из них получил название электронно-ядерного туннелирования. Перемещение частиц при таком процессе можно уподобить движению легкого паровоза и тяжелого вагона, соединенных друг с другом эластичной, легко растягивающейся сцепкой. «Паровозом» служит электрон, а «вагоном» — ядро. Ясно, что в таком поезде паровоз может уйти от вагона на очень большое расстояние, в то время как вагон лишь чуть-чуть сдвинется с места. Температура туннелирования при этом попадает уже в криогенную область. Это связано в основном с огромными (десятки ангстрем) перемещениями электрона, а также с температурной зависимостью фактора Франка — Кондона.

В другом типе процессов, который характерен для низкотемпературной квантовой химии и часто именуется молекулярным туннелированием, поезд состоит из тяжелого паровоза (атом или группа атомов) и легкого вагона-электрона, соединенных короткой и жесткой сцепкой. В данном случае перемещения электрона и ядра попросту равны друг другу. Процессы такого типа уже не сводятся к окислительно-восстановительным, они охватывают все великое многообразие химических превращений.



ЗАВИСИМОСТЬ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ молекулы от пространственного расположения составляющих ее атомов, меняющегося в ходе химической реакции, характеризуется наличием так называемых потенциальных ям. Химической реакции соответствует переход молекулы из одного устойчивого состояния в другое, т.е. из одной потенциальной ямы в другую. За координату реакции часто принимают расстояние между какими-либо соседними атомами. Переход из ямы *a* в яму *b* сопровождается выделением тепла *Q* (экзотермическая реакция); обратный переход возможен только при поглощении того же тепла *Q* (эндотермическая реакция). Согласно закону квантовой механики, энергия колебаний атомов в молекулах-реагентах и продуктах химической реакции может принимать только дискретные значения (тонкие серые линии). При абсолютном нуле температуры заселен только уровень энергии нулевых колебаний (толстая серая линия). Переходу из одной ямы в другую препятствует энергетический барьер (красная линия), высота которого и определяет энергию активации *E*. Согласно классическим представлениям, переходы между ямами могут происходить только поверх барьера, который абсолютно непроницаем для частиц, имеющих энергию меньше чем *E*. В квантовой механике возможен туннельный переход (красная пунктирная линия) сквозь барьер, реализуемый даже при самых низких температурах.

ПЕРВЫЙ пример низкотемпературного плато скорости окислительно-восстановительных процессов удалось наблюдать в 1966 г. американским ученым Б.Чансу и Д. де Волту. Они исследовали реакцию окисления цитохрома-С хлорофиллом. Скорость этой реакции выходила на постоянный уровень при температуре около 120К и оставалась неизменной вплоть до нижней границы интервала наблюдений — температуры жидкого гелия (4,2К).

Расчеты дали для высоты активационного барьера значение около 0,14 эВ, расстояние туннелирования электрона было оценено в 30 Å, что близко к линейным размерам белковой глобулы. (Последующие вычисления, в которых были приняты во внимание небольшие перемещения атомов, т.е. учтены факторы Франка — Кондона, уменьшили оценку расстояния туннелирования примерно вдвое). Открытие Чанса и де Волта стало первой бесспорной де-

монстрацией решающей роли туннельного эффекта в кинетике криохимических превращений.

Обширный круг окислительно-восстановительных превращений с туннельным переходом электрона между разными ионами на расстояния в десятки ангстрем был обнаружен и изучен в процессах радиолитического замораживания водных и спиртовых щелочных растворов. Первой работой этого направления стало осуществленное в 1971 г. К. И. Замараевым, А. И. Михайловым, Р. Ф. Хайрутдиновым и автором данной статьи исследование рекомбинации электронов и анионов кислорода O^- с образованием ионов O^{2-} в застеклованных водных растворах едкого натра.

Захваченные первоначально различными «ловушками», электроны «гибли» в результате последующего их перехвата ионами O^- . Этот процесс регистрировался по убыванию интенсив-

ности соответствующих обоим реагентам сигналов электронного парамагнитного резонанса. Было обнаружено, что скорость убывания совпадает для электронов и ионов кислорода (свидетельство того, что они гибнут именно за счет рекомбинации друг с другом) и не меняется в интервале температур от 120 до 4,2К. Такое постоянство скорости реакции продемонстрировало туннельный характер этого процесса. Расстояние туннелирования было оценено в 30 — 40 Å.

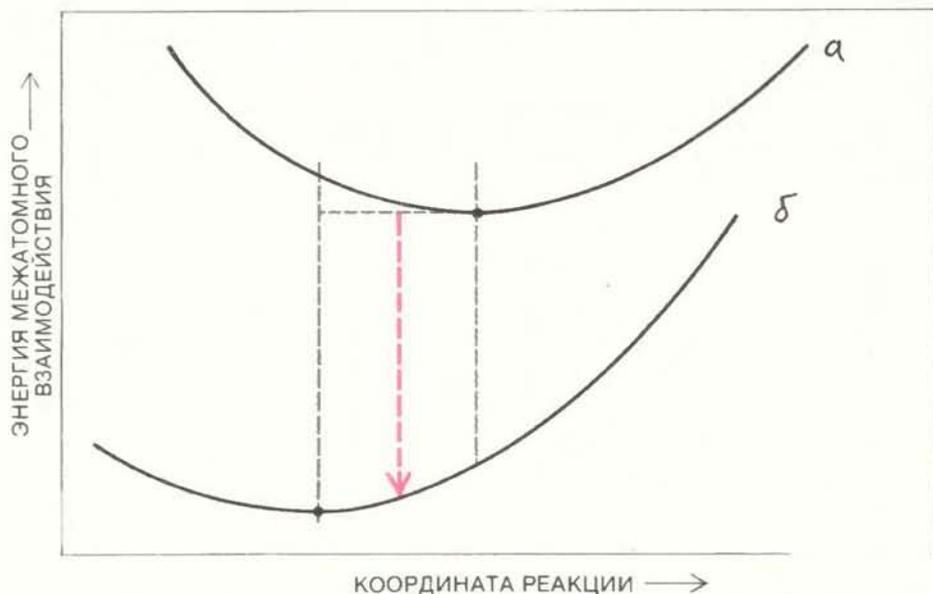
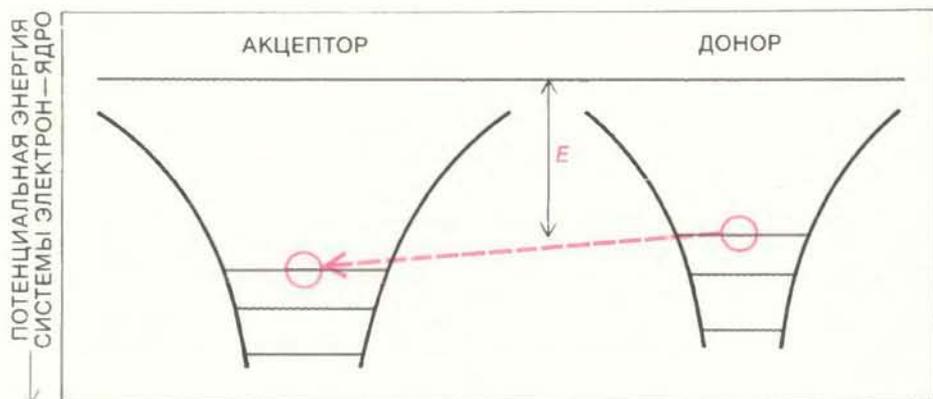
Любопытный класс процессов внутримолекулярного переноса электрона, типичный для электронно-ядерного туннелирования с его низкотемпературным плато, удалось обнаружить и изучить в лаборатории автора в 1972 г. методом эмиссионной мессбауэровской спектроскопии, наблюдая превращение турбулентной сини $Fe^{2+} / [Fe(III)(CN)_6]^{3-}$ в берлинскую лазурь $Fe^{3+} / [Fe(II)(CN)_6]^{4-}$.

ДО СИХ пор мы говорили лишь о туннельном переносе электронов. Однако химическая реакция в полном смысле этих слов есть процесс, включающий перегруппировку атомов, изменение характера, длин и углов валентных связей.

Открытие квантового низкотемпературного предела скорости химической реакции в этом универсальном смысле было сделано И. М. Баркаловым, А. М. Капланом, Д. П. Кирюхиным и автором данной статьи в 1970—1973 гг. в ходе исследований радиаци-

онно-иницированной полимеризации твердого формальдегида в широком интервале низких температур (140—4,2К). В этой реакции пачки плоских треугольных молекул мономера CH_2O с двойными $\text{C}=\text{O}$ связями превращаются в длинные цепи одиночных тетраэдрических $\text{C}-\text{O}$ связей, причем замена вандерваальсовых радиусов атомов C и O в мономере на более короткие длины валентных $\text{C}-\text{O}$ связей приводит к существенному (почти на 40%) возрастанию плотности вещества. Проникающее ионизирующее излучение (пучок электронного ускорителя или γ -лучи ^{60}Co) играет лишь роль инициатора полимеризации, создавая первичные центры. В дальнейшем реакция развивается спонтанно по цепному механизму, сопровождаясь заметным тепловыделением. Последнее дает возможность регистрировать выход и скорость роста цепей полимеризации с помощью высокочувствительных и малоинерционных калориметров.

Опыты показали, что даже при низких температурах спонтанно растут очень длинные цепи полимеризации твердого формальдегида — около 10 млн. звеньев при 140К, 100 тыс. звеньев при 77К и 1000—2000 звеньев вблизи 4К. Далее было найдено, что среднее время приращения одного звена полимерной цепи τ_0 в окрестности температуры 140К возрастает с уменьшением температуры по закону Аррениуса



ЭЛЕКТРОННО-ЯДЕРНОЕ ТУННЕЛИРОВАНИЕ при переходе электрона от восстановителя-донора к окислителю-акцептору. Вверху — туннелирование одного из наружных (валентных) электронов между двумя потенциальными ямами, образованными кулоновским притяжением электрона к ядрам донора и акцептора. Внизу — потенциальные кривые межатомного взаимодействия в молекуле-восстановителе до отдачи ею электрона (кривая *a*) и после этой отдачи (кривая *b*). Переход электрона, изображенный схематически красной пунктирной стрелкой между кривыми *a* и *b*, является экзотермическим. Перемещение ядер атомов учитывается в выражении для константы скорости реакции дополнительным множителем F_v , называемым фактором Франка—Кондона. Малость этого фактора ($F_v \ll 1$) означает, что окислительно-восстановительная реакция сильно замедляется из-за того, что переносу электрона необходимо сопутствует, пусть даже очень малое, пространственное перемещение атомов восстановителя и окислителя.

Издательство
МИР
предлагает:

Л. Ракич
СИСТЕМЫ
РЕГУЛЯЦИИ
ПОВЕДЕНИЯ

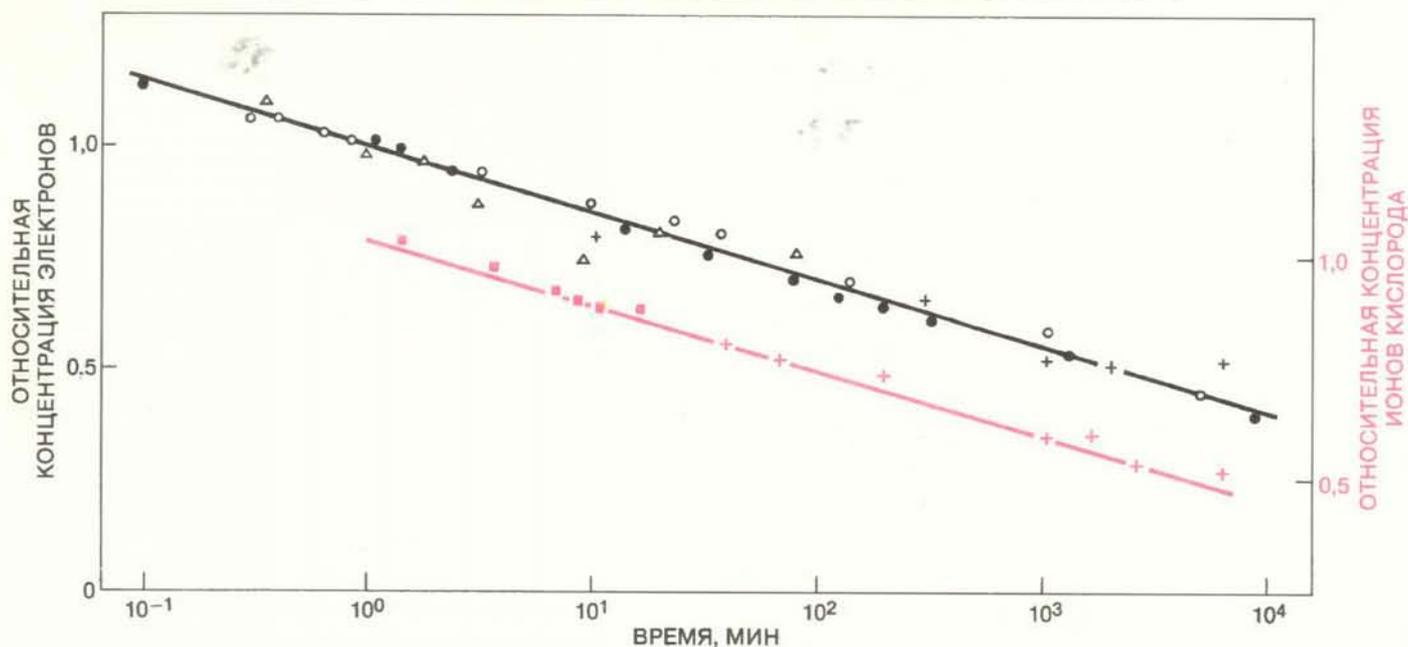
Перевод с сербского

Книга профессора Белградского университета посвящена роли тормозных механизмов в организации поведения млекопитающих. Рассмотрены значение условных рефлексов для деятельности мозга, участие отдельных структур мозга, в частности хвостатого ядра и стриатума, в регуляции поведения.

Для физиологов, нейрофизиологов, врачей-невропатологов.

1984, 8 л. Цена 85 к.





КРИВЫЕ «ГИБЕЛИ» электронов (e), захваченных «ловушками» (черная линия), и анионов кислорода (O^-) (красная линия) в процессе их рекомбинации $e + O^- \rightarrow O^{2-}$ в застеклованном щелочном льду. (Концентрации реагентов нормированы на их начальные значения; вертикальные шкалы смещены относительно друг друга для того, чтобы избежать наложения точек.) Различные значки относятся к измерениям при разных температурах. То, что скорость рекомбинации не меняется с температурой в пределах от 120 до 4,2 К, свидетельствует о туннельном характере переноса электронов из «ловушек» к акцепторам — анионам кислорода. Линейная зависимость концентрации реагентов от логарифма времени типична для так называемой «полихроматической» кинетики, где вместо одного характерного значения энергии активации присутствует целый набор таких значе-

ний. «Полихроматичность» обусловлена тем, что в реакцию вступают сначала реагенты с меньшей энергией активации и лишь в дальнейшем — с большей; в данном случае в первую очередь «выгорают» электроны, захваченные более мелкими «ловушками», и лишь впоследствии — более глубокими. На представленном здесь примере впервые была рассмотрена проблема «полихроматической» туннельной кинетики, когда надо учитывать двумерное распределение активационных барьеров — не только по их высоте, но и по ширине (в данном случае не только по глубине ловушек, в которых расположены захваченные электроны, но и по расстояниям между этими ловушками и акцепторами электронов — ионами O^-). Наблюдения выполнены К.И. Замараевым, А.И. Михайловым, Р.Ф. Хайрутдиновым и автором статьи в Институте химической физики АН СССР.

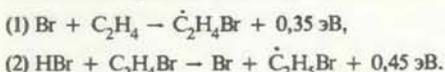
(энергия активации $E \approx 0,1$ эВ). При более низких температурах рост τ_0 с уменьшением температуры становится все более медленным и, наконец, при 12К достигается квантовый низкотемпературный предел скорости реакции: $\tau_0 = 10^{-2}$ с. При температуре жидкого гелия (4,2К) реакция идет со скоростью, на 110 порядков большей, чем следовало бы ожидать из закона Аррениуса.

Полуколичественное объяснение полученного результата основывалось на идее молекулярного туннелирования. Если искать какой-то аналог молекулярному туннелированию, происходящему в процессе роста цепей полимеризации формальдегида, то близким ему неожиданно оказывается . . . спонтанное деление ядер.

В самом деле, теоретический анализ туннельного проникновения частиц сквозь потенциальные барьеры показывает, что вероятность такого проникновения определяется произведением трех величин — ширины барьера, корня квадратного из высоты барьера и корня квадратного из массы частицы. Характерные значения масс для химических реагентов и осколков деления — величины одного порядка.

Высота барьера для деления ядер (~1 МэВ) примерно в 10 млн. раз выше, чем для химической реакции, но зато ширина барьера при делении примерно в 3000 раз меньше, так что в конечном счете одна величина компенсирует другую.

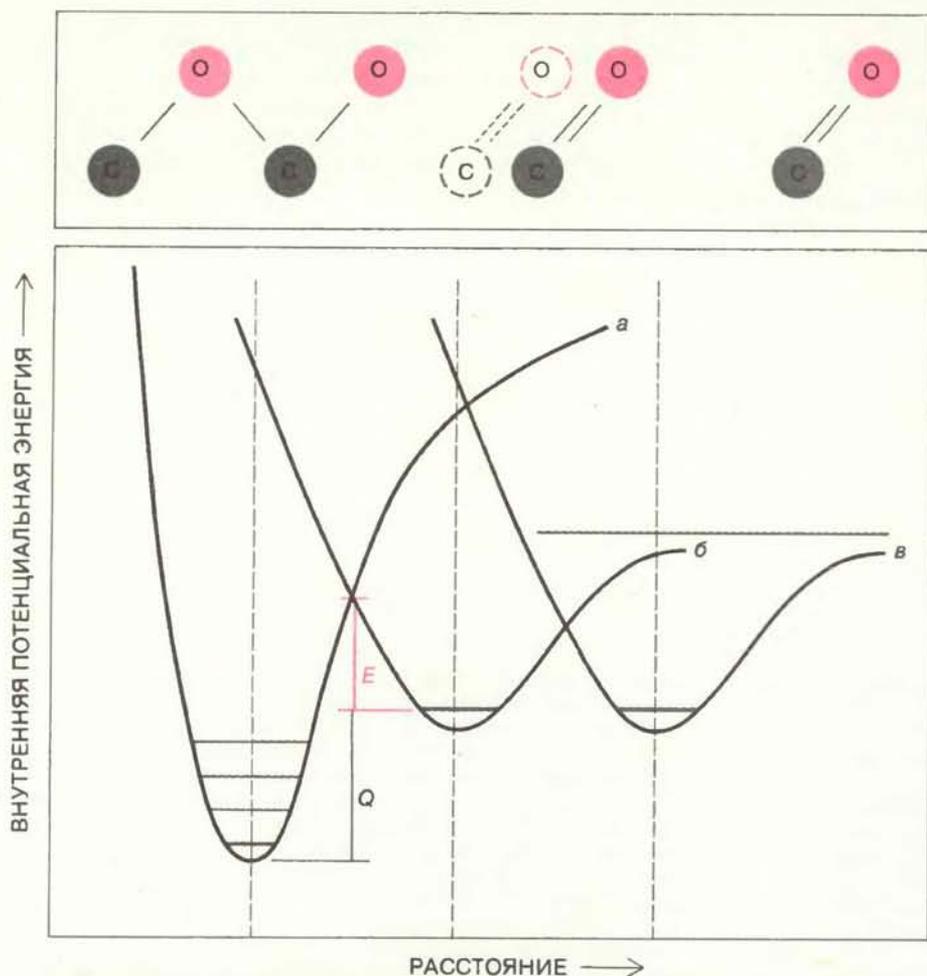
ПОСЛЕДУЮЩИЕ годы ознаменовались обнаружением многих новых примеров низкотемпературного кинетического предела, относящихся к самым разнообразным классам химических превращений. Остановимся подробнее на изученной в лаборатории автора в Институте химической физики АН СССР реакции гидробромирования этилена. Эта цепная реакция инициируется γ -излучением ^{60}Co , роль которого сводится к разрыву молекул HBr на атомы, после чего происходит развитие цепей длиной около 10^5 при 90 К и около 200 при 30 К по схеме:



Обнаружив низкотемпературный предел скорости этой реакции, мы задались вопросом о ее механизме. Что лимитирует скорость второго из названных элементарных актов — сбли-

жение молекулы HBr с радикалом C_2H_4Br или стадия переноса водородного атома? Чтобы ответить на этот вопрос, мы сравнили скорости реакций, взяв дейтерированные соединения DBr в смеси с C_2H_4 , C_2D_4 в смеси с HBr и DBr в смеси с C_2D_4 . Атом дейтерия вдвое тяжелее, чем атом водорода, тогда как различие масс молекул гораздо меньше. Поэтому кинетический изотопный эффект для туннелирования водородного атома должен был дать для отношения скоростей реакций величину около 10^5 , а для сближения молекул — всего лишь 2 — 4. Опыт дал именно такой слабый изотопный эффект и позволил сделать однозначный выбор в пользу решающей роли стадии сближения реагентов как целого.

Вернемся к предполагаемой картине молекулярного туннелирования при росте цепей полимеризации формальдегида. В простейшей, «одномерной», трактовке скорость реакции всецело определяется туннелированием исходной молекулы формальдегида из относительно мелкой потенциальной ямы, возникающей за счет ее вандерваальсова взаимодействия с соседями — другими молекулами мономера, — в соседнее



МОЛЕКУЛЯРНОЕ ТУННЕЛИРОВАНИЕ на примере упрощенной картины перемещения молекул формальдегида при его твердофазной полимеризации. Вверху — схема расположения молекул исходного мономера (справа) и —C—O—C—O— связей в полимерной цепи (слева). Внизу — кривые потенциальной энергии молекул. Присоединение нового звена к растущей полимерной цепи отвечает переходу с нулевого уровня колебаний на кривой *b* — через промежуточные возбужденные уровни кривой *a* — на ее нулевой уровень. При этом уменьшается расстояние между двумя соседними атомами углерода и выделяется теплота полимеризации (0,4 эВ). Энергия активации полимеризации, определенная из наклона аррениусовского графика вблизи $T = 140$ К, равна 0,1 эВ. Кривая *v* характеризует следующую, более удаленную от края растущей полимерной цепи молекулу мономера. После осуществления перехода *b* → *a* (соответствующего повышению плотности вещества при полимеризации) полость, возникающая на краю растущей полимерной цепи, диффундирует по объему мономера, как бы меняясь сначала местом с соседней молекулой формальдегида: кривая *v* в перемещается в положение *b*, и система готова к продолжению роста полимерной цепи.

положение, отвечающее более глубокой яме. Совершившая туннелирование молекула образует концевое звено полимерной цепи и оказывается в более выгодном энергетическом состоянии, при этом выделяется теплота полимеризации, равная примерно 0,4 эВ.

Представим себе теперь, что положение исходной молекулы мономера — формальдегида — не является строго фиксированным и она может колебаться в решетке молекулярного кристалла между двумя своими соседями — другой молекулой мономера и концевой группой полимерной цепи. Ясно, что элементарный акт приращения к этой цепи нового звена наиболее вероятен в тот момент, когда играющая роль своеобразного маятни-

ка, соседняя с концевым звеном полиформальдегида молекула мономера займет крайнее левое положение. Именно тогда высота и ширина активационного барьера становятся минимальными (на каком-то этапе сближения реагентов барьер может вовсе исчезать). Напротив, рост полимерной цепи в моменты, отвечающие крайнему правому положению молекулы маятника, маловероятен: высота и ширина активационного барьера при этом велики и скорость надбарьерных переходов и туннелирования значительно уменьшена.

Учет низкочастотного межмолекулярного движения реагентов (вдобавок к высокочастотному внутримолекулярному движению) приводит к моде-

ли «двумерных» факторов Франка — Кондона. Согласно этой модели, при усреднении константы скорости реакции основной вклад дают состояния, отвечающие наиболее тесному сближению реагентов. В этом отношении изложенная модернизированная модель химических реакций в твердой фазе приближается к картине бимолекулярных реакций в жидкостях или газах, включающих, как известно, обязательную стадию соударения реагентов.

ТОТ ФАКТ, что сравнительно медленные межмолекулярные движения реагентов в твердой фазе в значительной степени определяют скорость происходящих химических превращений, важен отнюдь не только для квантовой химии глубокого холода. Он помогает также понять многократно наблюдавшееся явление резкого убыстрения химических реакций в твердой фазе в окрестностях фазовых переходов. Первые наблюдения подобного рода были выполнены в Московском государственном университете В.А.Каргиным и В.А.Кабановым с сотрудниками.

Что же касается влияния коллективных медленных движений на туннелирование атомов и групп атомов в конденсированной фазе, то здесь особый интерес приобретает сейчас установление механизма переходов между так называемыми конформационными подсостояниями в белках и ДНК.

Такие состояния, почти вырожденные по энергии, лишь немного различаются по своим локальным конфигурациям (например, за счет свободного поворота атомных групп относительно одиночных химических связей), но обеспечивают дополнительную «размазанность» атомов сложных биополимерных молекул по сравнению с обычными кристаллами, их повышенную подвижность, а также играют важную роль в их функционировании. Существование подобных состояний было обнаружено и подробно изучено усовершенствованным методом рентгеноструктурного анализа группами Г. Фрауэнфельдера (США) и Д. Филлипса (Великобритания), а затем — с помощью различных методов мессбауэровской спектроскопии — в наших совместных с Р. Мессбауэром и Ф. Паракком экспериментах.

Исследование переходов между конформационными подсостояниями стало фундаментом для построения новой модели белков. Вместо аperiодических кристаллов их начали рассматривать как квазитвердое ядро, окруженное жидкообразной оболочкой. Согласно новой точке зрения, именно на долю этой оболочки приходится наибольшая часть объема белковой глобулы, а ее вязкость (возрастающая с ростом вязкости окружающей глобулы среды) определяет частоту и ампли-

туду движений атомов при переходах между конформационными подсостояниями. В самое последнее время появились, однако, и другие соображения, основанные на удивительном сходстве биополимеров и аморфных тел в части изменения их теплоемкости при низких температурах. Выше мы уже упоминали о линейной температурной зависимости теплоемкости стеклообразных тел вблизи абсолютного нуля. Оказывается, что вклад линейной части температурной зависимости проявляется для биополимеров еще сильнее, чем для обычных неорганических и полимерных стекол.

На основании результатов низкотемпературных измерений теплоемкости можно рассматривать белки и ДНК как своеобразные гетерогенные стекла, а переходы между многочисленными конформационными подсостояниями молекул биополимеров при низких температурах как туннелирование, которое обеспечивают фононы.

Таким образом, вполне возможно, что туннелирование играет гораздо большую роль в функционировании биомолекул, чем это предполагали даже самые горячие энтузиасты туннельной теории. Оно, быть может, «работает» не только в области глубокого холода, но и при температурах выше 200 К (вплоть до физиологических), когда начинают особенно ярко проявляться переходы между конформационными подсостояниями белковых глобул.

Одной из важнейших особенностей низкотемпературных туннельных реакций, которая может приобрести практическое значение, является их исключительная селективность; ведь выбор наиболее вероятного из множества возможных путей химического превращения регулируется здесь особенно жестко — он определяется не только высотой, но и шириной активационного энергетического барьера.

Представления о туннелировании могут способствовать развитию исследований эффектов, обнаруженных в последние годы в Институте химической физики в лаборатории автора и в лаборатории В. А. Бендерского. Имеются в виду низкотемпературные химические превращения облученных стеклообразных твердых смесей, например смеси хлора с хлористым бутилом. Механический надлом края цилиндрика из такой облученной смеси при температуре жидкого гелия (4,2К) и образование в нем микротрещин способны инициировать взрывы образцов и автоволновые процессы пробегания по всей их длине цепной реакции хлорирования: $\text{Cl}_2 + \text{C}_4\text{H}_9\text{Cl} \rightarrow \text{HCl} + \text{C}_4\text{H}_8\text{Cl}_2$. Скорость распространения такой реакции существенно больше скорости теплопередачи, но много меньше звуковой.

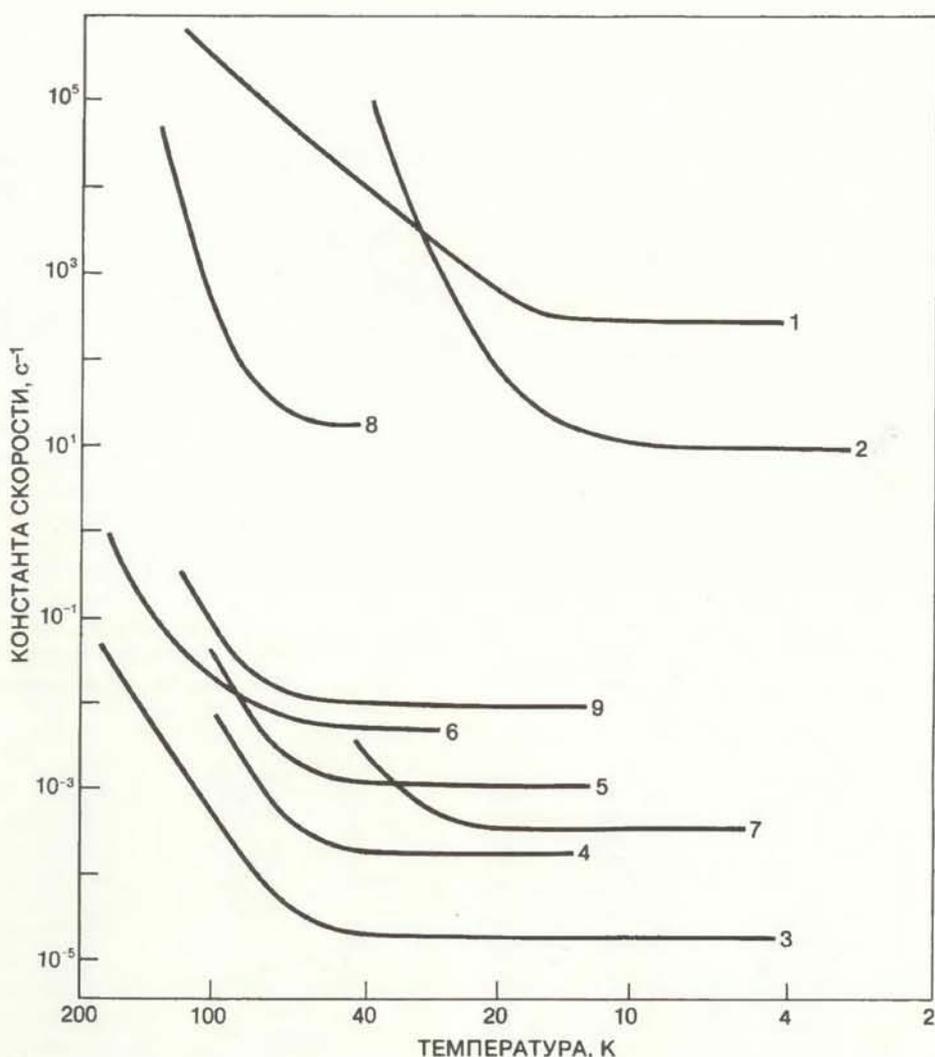
Все подобные превращения имеют

ярко выраженный пороговый характер (по концентрации активных центров, интенсивности механического воздействия и т.д.). Здесь возникает, по всей видимости, своеобразная положительная обратная связь между химической реакцией в твердом теле и его разрушением: разрушение инициирует реакцию, а та в свою очередь вызывает дальнейшее разрушение образцов.

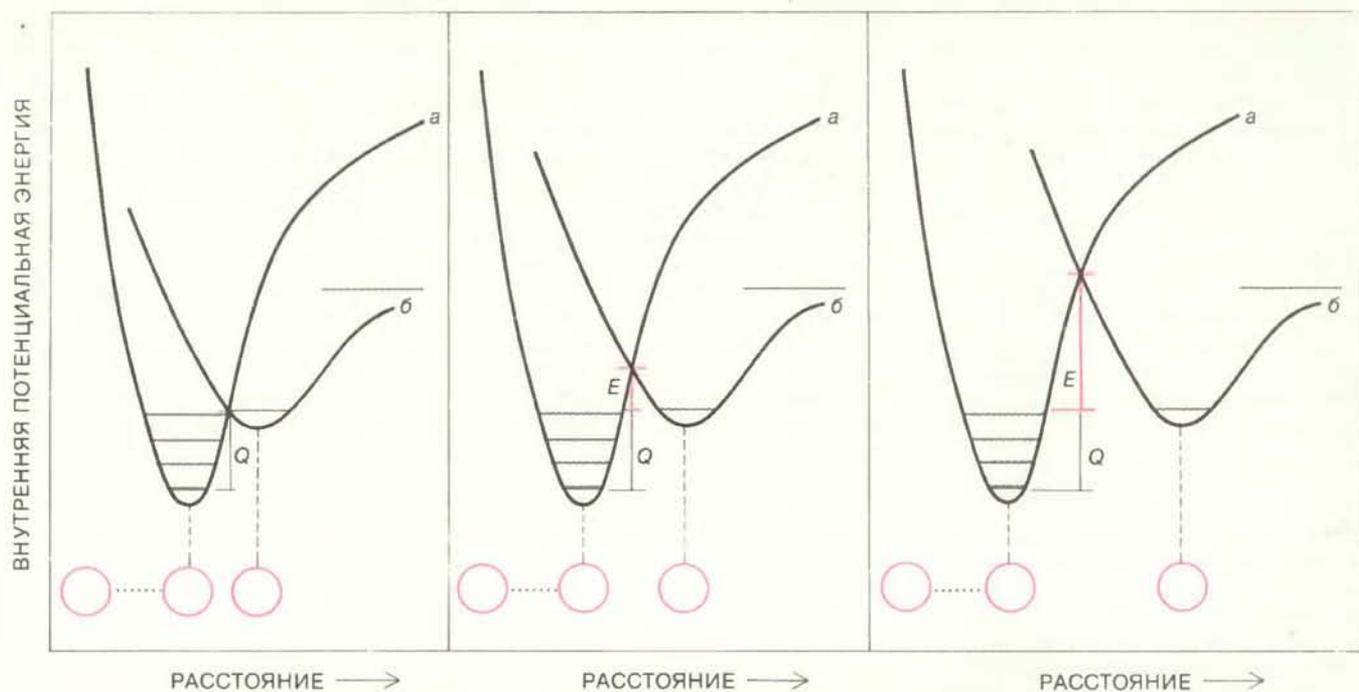
О неоспоримой роли туннелирования в низкотемпературных цепных реакциях в твердой фазе уже говорилось выше. Существует также немало работ, развивающих представления и о туннельном механизме разрушения твердых тел за счет туннельного прео-

доления активационного барьера, противодействующего такому разрушению. Таким образом, пороговые автоволновые процессы низкотемпературных химических превращений облученных твердых смесей реагентов могут нести в себе двойное проявление эффектов квантовой химии глубокого холода.

НУЖНО отметить, что вблизи абсолютного нуля перестает действовать такой важнейший фактор химической термодинамики, как мера хаоса системы, или энтропия. Равновесие любой реакции определяется только ее тепловым эффектом. Выгодными оказыва-



НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПРЕДЕЛЫ СКОРОСТИ уже наблюдались для многих химических реакций. Кривые (построенные в аррениусовских координатах) относятся к следующим реакциям: (1) рост цепей полимеризации формальдегида (СССР, 1973), (2) восстановление разорванной лазерной вспышкой связи Fe—CO в гемоглобине (США, 1975), (3) изомеризация радикальных пар в γ -облученном диметилглиоксиде (Япония, 1977), (4, 5) отрыв водородных атомов метильными радикалами от замороженного стеклообразного метанола (4) и этанола (5) (Канада, США, 1977), (6) перенос H-атомов при стерически затрудненной изомеризации арильных радикалов (США, 1978), (7) образование С—С связей в циклопентадиильных бирадикалах (США, 1979), (8) цепное гидробромирование этилена (СССР, 1978), (9) хлорирование хлористого бутила молекулярным хлором (СССР, 1980).



ОБОБЩЕННАЯ КАРТИНА, иллюстрирующая происхождение квантового низкотемпературного предела скорости химических реакций. Учитывается роль не только высокочастотных внутримолекулярных, но и низкочастотных межмолекулярных колебаний, которые могут приводить к уменьшению высоты и ширины активационного энергетического барьера — вплоть до полного его исчезновения. Кривые потенциальной энергии взаимодействия между соседними атомами углерода в растущей цепи полиформальдегида — CH_2O — (а) и в мономере формальдегида $\text{CH}_2=\text{O}$ (б) изо-

бражены для трех вариантов взаимного расположения цепи и мономера. Межмолекулярные колебания приводят к изменениям расстояний между концевой группой цепи и соседней с ней молекулой мономера от минимального (слева) до максимального (справа). Очевидно, что при сближении реагентов активационный барьер (красная линия) наиболее сужен и снижен, а вероятность реакции особенно велика. При взаимном удалении реагентов активационный барьер наиболее широк и высок, а вероятность реакции особенно мала.

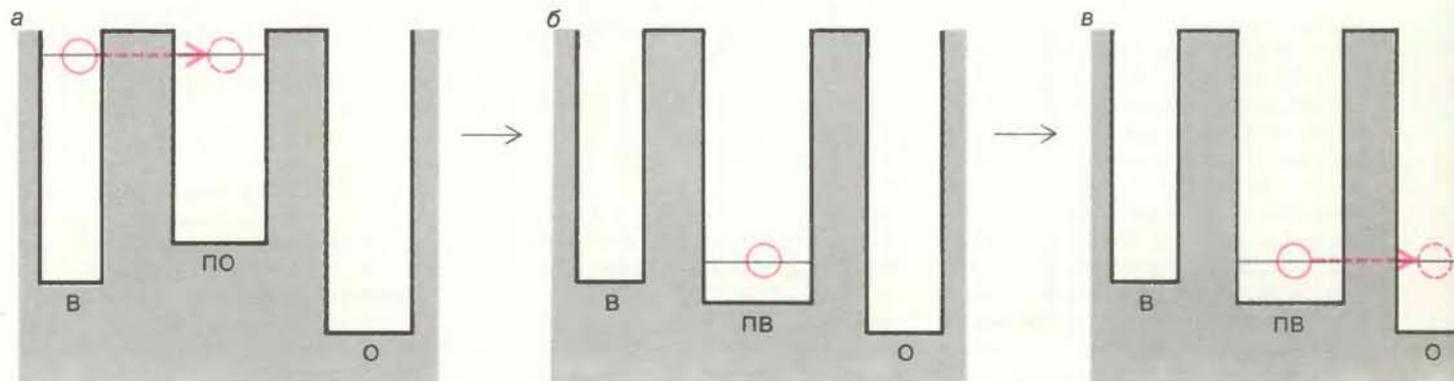
ются процессы экзотермические, т.е. идущие с выделением тепла, даже если при этом простые молекулы превращаются в гораздо более сложные. Упорядоченность заставляет хаос потесниться, энтропия продуктов такой реакции оказывается меньше, чем энтропия исходных реагентов.

Разумеется, скорость экзотермического формирования высокоупорядо-

ченных систем вблизи абсолютного нуля будет сильно понижена, но зато селективность такого формирования и его четкая направленность по энергетически наиболее выгодному пути медленно, но верно сыграют свою роль. Применительно к природным процессам такой «холодной» химической и предбиологической эволюции можно вспомнить обращенные к Александру

Сергеевичу Пушкину знаменитые слова Владимира Маяковского: «У меня, да и у вас в запасе вечность. Что нам потерять часок-другой?!»

Возможность образования сложных молекул в условиях сочетания глубокого космического холода с действием проникающего космического излучения, которое инициирует цепные реакции (например, полимеризацию), была



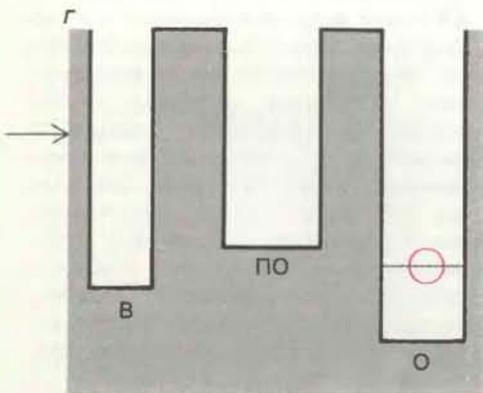
ПЕРЕХОД ЭЛЕКТРОНА от восстановителя (потенциальная яма В) к окислителю (О), идущий с выделением энергии, происходит при участии переносчика. Равновесное состояние окисленной формы молекулы-переносчика описывается потенциальной ямой ПО, равновесное состояние ее восстановленной формы из-за электрической поляризации среды иное и описывается потенциальной ямой ПВ. Попадание электрона в яму ПО на уровень, резонансный с исходным в

яме В (а), приводит к поляризации среды и конформационной перестройке ПО — ПВ (б). Если в результате этой перестройки новый электронный уровень в яме ПВ оказывается в резонансе с уровнем в яме О, то могут произойти перенос электрона в О (в) и обратная конформационная перестройка ПВ — ПО (г). Таким образом, нерезонансный переход электрона (а) — (г) рассматривается как сумма двух резонансных туннельных переходов электрона: В — ПО (а) и

предсказана нами в 1973 г. Уже через год эта идея нашла первые подкрепления в работах английских астрофизиков (хотя их выводы нельзя считать окончательными). А именно, обнаружилось присутствие полимеров формальдегида (т.е. тех самых полимеров, что образовывались в наших лабораторных опытах вплоть до 4,2К!) в темных облаках межзвездной пыли.

Наши последующие кинетические расчеты подтвердили реальную возможность такой межзвездной полимеризации, а термодинамические вычисления привели к выводу, что наиболее выгодным результатом превращений легких элементов (H, C, N, O) при их характерной космической распространенности и сверхнизких температурах (когда не надо учитывать роль энтропии) должно стать образование уксусной кислоты и мочевины. Но ведь это именно те соединения, последующее взаимодействие которых является излюбленным предметом обсуждения разных схем предбиологической эволюции. «Жизнь, пришедшая с холода» (как остроумно назвал нашу гипотезу журнал "Science News" в выпуске от 29 октября 1977 г.), конечно, не заменяет других гипотез о химической и предбиологической эволюции, но служит новым к ним дополнением.

Остается заметить, что всевозможные экспериментальные данные и теоретические соображения о проявлении туннелирования в химических реакциях, разнообразные приложения концепций квантовой химии глубокого холода несомненно свидетельствуют о том, что — вопреки бытующим иногда мнениям — и в наши дни химия отнюдь не превратилась в служанку физики и биологии, но по-прежнему является их вполне равноправным партнером в обмене новыми основополагающими идеями.



ПВ — О (в) и двух конформационных превращений: ПО — ПВ и ПВ — ПО. Рисунок выполнен на основе схем Л.А.Блюменфельда и Д.С.Чернавского.

Фемтосекундный импульс

Для ИЗУЧЕНИЯ таких сверхбыстрых процессов, как снятие возбуждения молекул, наиболее подходят лазеры, испускающие мощные, необычайно короткие световые импульсы. Первый импульс возбуждает молекулы в исследуемом образце. Следующие за ним более слабые импульсы позволяют измерить время, за которое система возвращается в исходное состояние, и даже обнаружить некоторые энергетические переходы, происходящие в ходе такого процесса. Чем короче импульс, тем более тонкие и сложные эффекты можно наблюдать.

В журнале «Applied Physics Letters» Э. Иппен, Э. Вайнер и Дж. Фудзимото из Массачусетского технологического института (МТИ) сообщили о том, что им удалось осуществить генерацию самых коротких световых импульсов, когда-либо полученных: вспышек видимого (красно-оранжевого) света длительностью всего лишь 16 фемтосекунд ($1\text{фс} = 10^{-15}\text{с}$).

Установка, которую использовали эти ученые, представляет собой вариант установки, ставшей обычной при исследовании сверхбыстрых процессов — лазер с синхронизацией (продольных) мод. Когда тысячи мод, т.е. отдельных частот, возбуждаемых в лазере на органическом красителе, синхронизованы, или «сцеплены», по фазе, они интерферируют, усиливая друг друга в одних точках и ослабляя в других. В результате на выходе лазера получается последовательность коротких интенсивных импульсов. Длительность одного такого импульса обратно пропорциональна частотной полосе мод, входящих в него.

Самый эффективный лазер с синхронизацией мод — лазер с встречными световыми волнами в кольцевом резонаторе, созданный Ч. Шэнком и его коллегами из фирмы AT&T Bell Laboratories, дает импульсы длительностью 65 фс. Чтобы улучшить этот результат (до недавнего времени группе Шэнка принадлежал рекорд 30 фс), сотрудники фирмы AT&T Bell Laboratories и сотрудники МТИ применили метод, который включает два этапа: растяжение частотной полосы в оптическом волокне и затем сжатие импульса при прохождении через две дифракционные решетки.

Растяжение частотной полосы возможно благодаря тому, что скорость света в стекле слабо зависит от его интенсивности. Такой нелинейный эффект заметен только при очень большой интенсивности света. Иппен и его коллеги добиваются нужной интенсивности, усиливая импульс лазера (с

встречными световыми волнами в кольцевом резонаторе) и каналируя его в оптическое волокно диаметром несколько микрометров. Скорость волновых составляющих, образующих передний фронт импульса, увеличивается, а их частота уменьшается. На заднем фронте импульса происходит обратное. Таким путем Иппену и его коллегам удалось увеличить частотную полосу импульсов длительностью 65 фс в 4 раза.

Обычно при растяжении частотного спектра увеличивается и длительность импульса. Но в данном случае при помощи системы двух дифракционных решеток добиваются того, что задний фронт импульса, сдвинутый в сторону синей области спектра, выйдя из оптического волокна, проходит путь, меньший, чем тот, который проходит передний фронт, сдвинутый в сторону красной области спектра. В результате задний фронт несколько нагоняет передний и длительность импульса уменьшается. Сотрудники МТИ полностью использовали четырехкратное растяжение частотной полосы 65-фемтосекундных импульсов, уменьшив их длительность в 4 раза.

ХИМИЯ ЭМОЦИЙ

ИМЕЮТ ли патологические психические состояния, например депрессивное и противоположное ему — маниакальное, биохимическую основу? Современная наука отвечает на этот вопрос утвердительно. Заболевания, затрагивающие эмоции, такие, как маниакально-депрессивный психоз, возникают из-за нарушений в круговороте медиаторов — веществ, посредством которых передаются нервные импульсы.

В журнале «The New England Journal of Medicine» Н. Нади из Государственного университета Уэйна в Детройте и ее коллеги из Национального института психического здоровья опубликовали экспериментальные данные в пользу подобного представления. Полученные исследователями результаты проливают свет на роль медиатора ацетилхолина и его рецептора в возникновении психических расстройств. Оба вещества являются важнейшими элементами холинэргической нервной системы. Координированное действие двух систем — холинэргической (парасимпатической) и адренэргической (симпатической) — регулирует произвольные функции организма, например частоту сердечных сокращений. (В симпатической нервной системе основным медиатором служит норадреналин.)

В мозгу обнаружены медиаторы и их рецепторы обоих типов. По мнению

исследователей, при маниакально-депрессивном психозе нарушается согласованность в работе адренэргической и холинэргической систем: депрессия возникает из-за избытка ацетилхолина или его рецепторов, а маниакальное состояние — от аналогичных изменений в симпатической нервной системе.

Нади и её коллегам удалось показать, что с депрессивным состоянием действительно связано повышенное содержание холинэргических рецепторов. Поскольку ткань головного мозга трудно доступна для исследования, ученые анализировали плотность холинэргических рецепторов в фибробластах кожи (фибробласты — это клетки

соединительной ткани, по ряду свойств они сходны с нейронами). Исследовали 18 человек, страдавших депрессиями либо маниакально-депрессивным психозом, и для контроля 12 здоровых людей. И тем и другим была сделана биопсия кожи и оказалось, что у больных существенно больше холинэргических рецепторов, чем у здоровых. Причем избыток рецепторов сохранялся в ряду поколений культивируемых клеток продолжительное время. Повышенное содержание рецепторов было обнаружено как у людей, болевших ранее и в момент биопсии практически здоровых, так и у пациентов с острой формой заболевания.

Нади полагает, что генетически детерминированный избыток холинэргических рецепторов обуславливает предрасположение к депрессивным и маниакальным душевным расстройствам. Исследователи, однако, признают, что трудно понять, каким образом одно и то же биохимическое нарушение может приводить к таким противоположным явлениям, как депрессия и маниакальное состояние. Для того чтобы подтвердить свою гипотезу, Нади и ее коллеги намерены исследовать содержание рецепторов в коже детей, родители которых страдают маниакально-депрессивным психозом и у которых поэтому высока вероятность таких же расстройств. Как утверждает Нади, дальнейшие исследования позволят с определенностью установить, можно ли по числу рецепторов предсказать, разовьется у ребенка психическое заболевание или нет.

Издательство МИР предлагает:

П. Бенерджи, Р. Баттерфилд

МЕТОД ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИКЛАДНЫХ НАУКАХ

Перевод с английского

Характерной особенностью метода граничных элементов, отличающей его от других численных методов (конечных разностей и конечных элементов), является дискретизация не всей изучаемой области, а лишь ее границы. Таким образом, существенно уменьшается число дискретных элементов и соответственно понижается порядок системы алгебраических уравнений, к решению которой в конечном итоге сводится задача.

В методе граничных элементов исходные дифференциальные уравнения заменяются соотношениями, связывающими неизвестные функции на границе области, и решение получается либо методами граничных уравнений, либо вариационными методами.

Цель книги известных специалистов П. Бенерджи (США) и Р. Баттерфилда (Англия) — научить непосредственных пользователей-инженеров применять методы граничных элементов на практике. Изложение построено таким образом, что при последовательном изучении книги не требуется обращения к дополнительным источникам. Все вводимые понятия первоначально поясняются на уровне физических

и интуитивных соображений, и лишь после этого приводятся более строгие формулировки. Специальная глава, включающая ряд программ, посвящена реализации методов на ЭВМ. Отдельные математические вопросы, выходящие за рамки программы втузов (элементы тензорного исчисления, интегральные тождества, квадратная формула Гаусса и др.), поясняются в приложениях.

Ассортимент методов, рассматриваемых в книге, чрезвычайно разнообразен. Это методы решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных задач механики жидкости, теории упругости и пластичности, теории фильтрации, механики разрушения и т.д. Излагаются также комбинированные методы, использующие метод граничных элементов в сочетании с другими численными методами. Многочисленные примеры решения задач позволяют убедиться в том, что метод граничных элементов фактически уже применяется во всех областях техники.

Для математиков-прикладников, физиков, механиков, инженеров, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

1984, 34 л. Цена 3 р.



Ядерные реакторы с гарантированной безопасностью

БЕЗОПАСНОСТЬ всех реакторов на легкой воде, используемых в атомной энергетике США, обеспечивается за счет применения высококачественных материалов, резервных систем охлаждения, различной конструкции защитных оболочек реакторов и надежных средств управления. Такие меры предосторожности, многочисленные и дорогие, нужны для того, чтобы уменьшить существующую опасность расплавления активной зоны и выброса радиоактивных веществ в окружающую среду. А можно ли создать реактор, безопасный в своей основе?

Сотрудники Института проблем энергетике в Ок-Ридже Э. Вайнберг и И. Сливак недавно опубликовали статью в журнале «Science», в которой приводят описание двух проектов реакторов, безопасность которых обеспечивается не наличием дублирующих систем на случай аварии, а использовани-

ем «непреложных и хорошо изученных физических и химических законов», которые положены в основу действия этих реакторов. В таких «безопасных по своей природе» реакторах, как утверждают авторы статьи, расплавление активной зоны по существу невозможно.

Авторы полагают, что если ядерной энергетике предстоит пережить новый скачек в развитии, то разработка и внедрение безопасных реакторов станут неизбежными. После известной аварии на АЭС в Три-Майл-Айленде в 1979 г. реакторы стали оснащать многочисленными защитными устройствами. В настоящее время, сообщается в статье, вероятность расплавления активной зоны не превышает 10^{-4} на реактор в год. И все же при столь малом значении этого показателя в будущем, когда ядерная энергетика станет доминирующей и в мире будет эксплуатироваться не менее 5 тыс. реакторов (т.е. в 10 с лишним раз больше, чем сейчас), расплавление активной зоны может происходить с частотой один раз в два года. Вайнберг и Спивак справедливо считают такую частоту аварий неприемлемо высокой, даже если учесть, что только часть таких инцидентов привела бы к утечке значительного количества радиации.

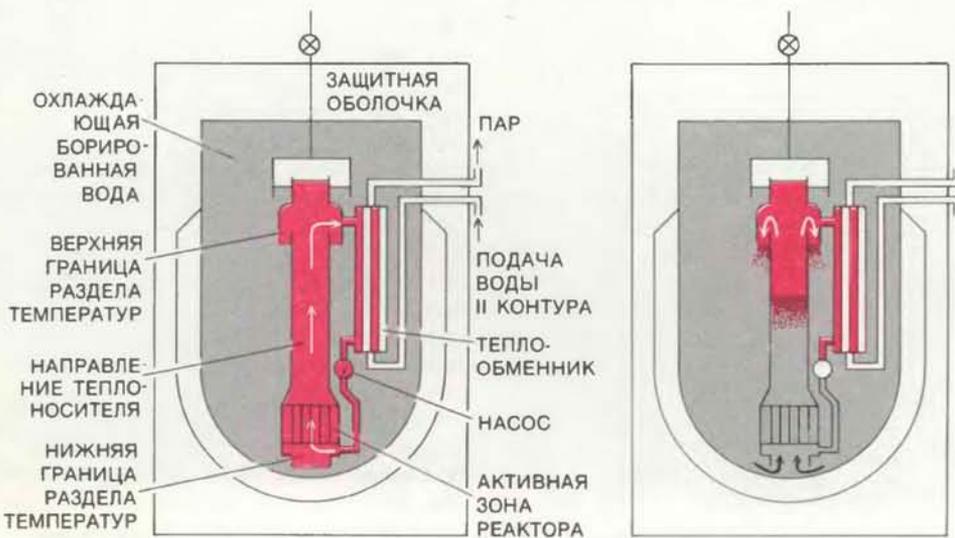
Один из типов реакторов, самозащищенных от такого рода аварий, называется модульным высокотемпературным газовым (ВТГ) реактором. Две конструкции такого ВТГ-реактора с незначительными отличиями предлагают американская и западногерманская фирмы. Реактор состоит из небольшой активной зоны с графитом, охлаждаемой газообразным гелием, циркулирующим внутри корпуса; электростанция мощностью 1000 МВт могла бы состоять из 10 таких модулей.

Безопасность ВТГ-реактора достигается как за счет его конструктивных особенностей, так и за счет его размеров. Поскольку в данной конструкции отсутствует внешняя система охлаждения, возможность утечки газа чрезвычайно мала. В случае же отказа системы охлаждения температура в активной зоне возрастает и цепная реакция (деление нейтронов) прекратится, как это произошло бы и в реакторе обычного типа.

В обычном реакторе, вышедшем из строя в результате утечки теплоносителя, тепло, выделяемое за счет радиоактивного распада продуктов деления, может расплавить активную зону уже после того, как цепная реакция прекратилась. У ВТГ-реактора отношение поверхности тепловыделяющих элементов к их малому объему очень велико, поэтому остаточное тепло может излучаться в окружающее пространство, сохраняя температуру в активной зоне на безопасном уровне. Газоохлаждаемые реакторы, воплотившие в себе некоторые рекомендации упомянутых выше авторов, уже эксплуатируются с 1965 г.

Другая конструкция безопасного реактора, на которую ссылаются в статье, не опробована. Заложена в ней идея принадлежит шведским специалистам, и основанный на ней реактор известен как реактор с предельной самобезопасностью (ПСБ). Новизна проекта заключается в использовании емкости с находящимся в ней под давлением раствором борной кислоты, который в случае аварии проходит в корпус реактора, стремясь заполнить активную зону и систему охлаждения. Эта емкость отделяется от системы охлаждения рядом заслонок. Проникновению борированной воды в контур охлаждения препятствует лишь дина-

мическое давление, развиваемое насосами системы охлаждения; предполагается, что, если эти насосы или контур охлаждения выйдут из строя, вода из бассейна затопит активную зону. Бор, содержащийся в растворе, будучи эффективным поглотителем нейтронов, остановит цепную реакцию, а сам приток воды унесет остаточное тепло.



Конструкция ПСБ-реактора такова, что возможность утечки воды из активной зоны исключена; при аварии системы охлаждения активная зона заполняется раствором борной кислоты

Издательство
МИР
предлагает:

У. Рудин
**ТЕОРИЯ ФУНКЦИЙ
В ЕДИНИЧНОМ
ШАРЕ ИЗ C^n**

Перевод с английского

Видный американский аналитик Уолтер Рудин известен также как автор книг, отличающихся высоким педагогическим мастерством. Его книга «Основы математического анализа», выходящая дважды в русском издании (М.: Мир, 1966 и 1976), а также «Функциональный анализ» (М.: Мир, 1975) по достоинству оценены советскими читателями.

В своей новой монографии У. Рудин с присущей ему четкостью и умением выделить принципиальные идеи излагает большой цикл недавних исследований по многомерному комплексному анализу.

Шар является простейшей областью комплексного пространства, в которой проявляются особенности многомерного случая. Богатство связей развиваемой в книге теории с геометрией, функциональным анализом и классической теорией функций делают книгу интересной для всех, кто занимается современной математикой. В последние годы методы теории функций нескольких комплексных переменных стали широко применяться в теории дифференциальных уравнений и теоретической физике. Это расширяет круг возможных читателей книги У. Рудина.

1984, 25 л. Цена 3 р. 80 к.



Хрустальный дворец

Сконструированный садоводом герцога Девонширского и построенный за 4 месяца из модульных элементов с заполнением из стекла, этот дворец предвосхитил современные эстетические и конструктивные принципы в архитектуре и строительной технике

ФОЛКЕ Т. КИХЛШТЕДТ

ХРУСТАЛЬНЫЙ дворец, построенный в Англии в викторианскую эпоху, был одним из тех сооружений, которые оказали заметное влияние на последующее развитие архитектуры. Новаторские архитектурные приемы, необычность назначения и форм, поражающие воображение размеры — все это ставит его в один ряд с выдающимися памятниками архитектуры, такими, как Пантеон, храм Св. Софии в Стамбуле и храм Сен-Дени аббата Сугерия. Как и у этих более ранних сооружений, конструкция Хрустального дворца выходила за рамки традиционной для того времени строительной практики, что породило в архитектуре новые формы и эстетические принципы.

Большинство современников, однако, воспринимали Хрустальный дворец не как архитектурное творение, а как рядовую постройку, лишенную стиля и красоты. Для Англии викторианской эпохи привычными были массивные, монументальные формы, воплощенные в дереве и камне.

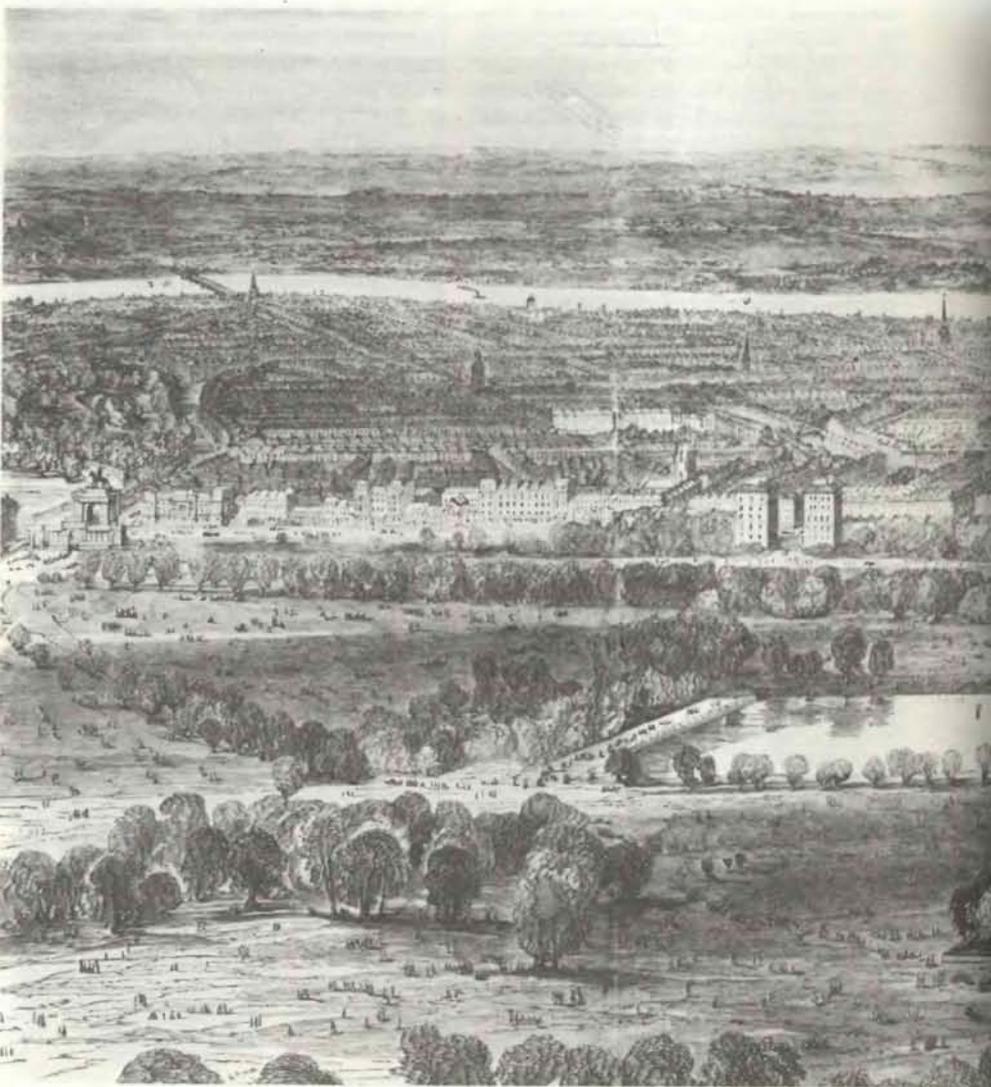
В наше время архитекторы и искусствоведы восхищаются как раз той простотой внешнего облика Хрустального дворца, которая предвосхитила «фабричную эстетику» начала XX в. и ясность формы, характерную для современной архитектуры многих стран. В то же время усиленное подчеркивание таких формальных черт в архитектуре дворца заслоняет значительность использовавшихся при его создании конструктивных новшеств, которые оказали более сильное влияние на последующее развитие строительной техники, чем внешние формы.

Хрустальный дворец был построен в 1851 г. в лондонском Гайд-парке и предназначался для размещения Первой всемирной выставки промышленной продукции. В 1852 г. он был разобран и перенесен на восточные склоны Сайденхемского холма, где простоял с 1854 по 1936 г., когда был уничтожен пожаром. Для четырех поколений англичан он был местом развлечений, центром демонстраций достижений науки, техники и искусства; в нем уст-

раивались концерты и давались обеды.

Огромное внутреннее помещение построенного в Гайд-парке дворца было лишено перегородок. В нем свободно размещались для показа образцы всех видов промышленной продукции развитых стран. Инициатором проведе-

ния выставок был Генри Коул, видный государственный деятель, неутомимый предприниматель и незаурядный конструктор. Проведение этого грандиозного мероприятия было санкционировано принцем Альбертом, и в его организации принимало участие Коро-



ХРУСТАЛЬНЫЙ ДВОРЕЦ первоначально стоял в Гайд-парке; в 1851 г. в нем разместилась 1-я Всемирная выставка промышленной продукции. Построенное по проекту Дж. Пакстона, садовода герцога Девонширского, это здание предвосхитило современные эстетические и конструктивные принципы в архитектуре и

левское общество искусств. Автором проекта самого здания был Джозеф Пакстон, сын фермера, который с 1826 г. служил управляющим садов у герцога Девонширского. Судьба свела Пакстона с Коулом, принцем Альбертом и членами Королевского общества искусств. Сам Пакстон был малообразованным человеком, но отличался незаурядными организаторскими способностями. Сооружение Хрустального дворца обеспечило ему дворянское звание и место в парламенте.

13 марта 1850 г., примерно за год до открытия выставки, комиссия по ее строительству объявила конкурс на лучший проект выставочного павильона. По условиям конкурса это временное здание должно иметь простую планировку и экономичную конструкцию, допускающие его быстрое возведение, разборку и увеличение полезной площади. Здание должно быть одноэтажным, собрано из огнестойких материа-

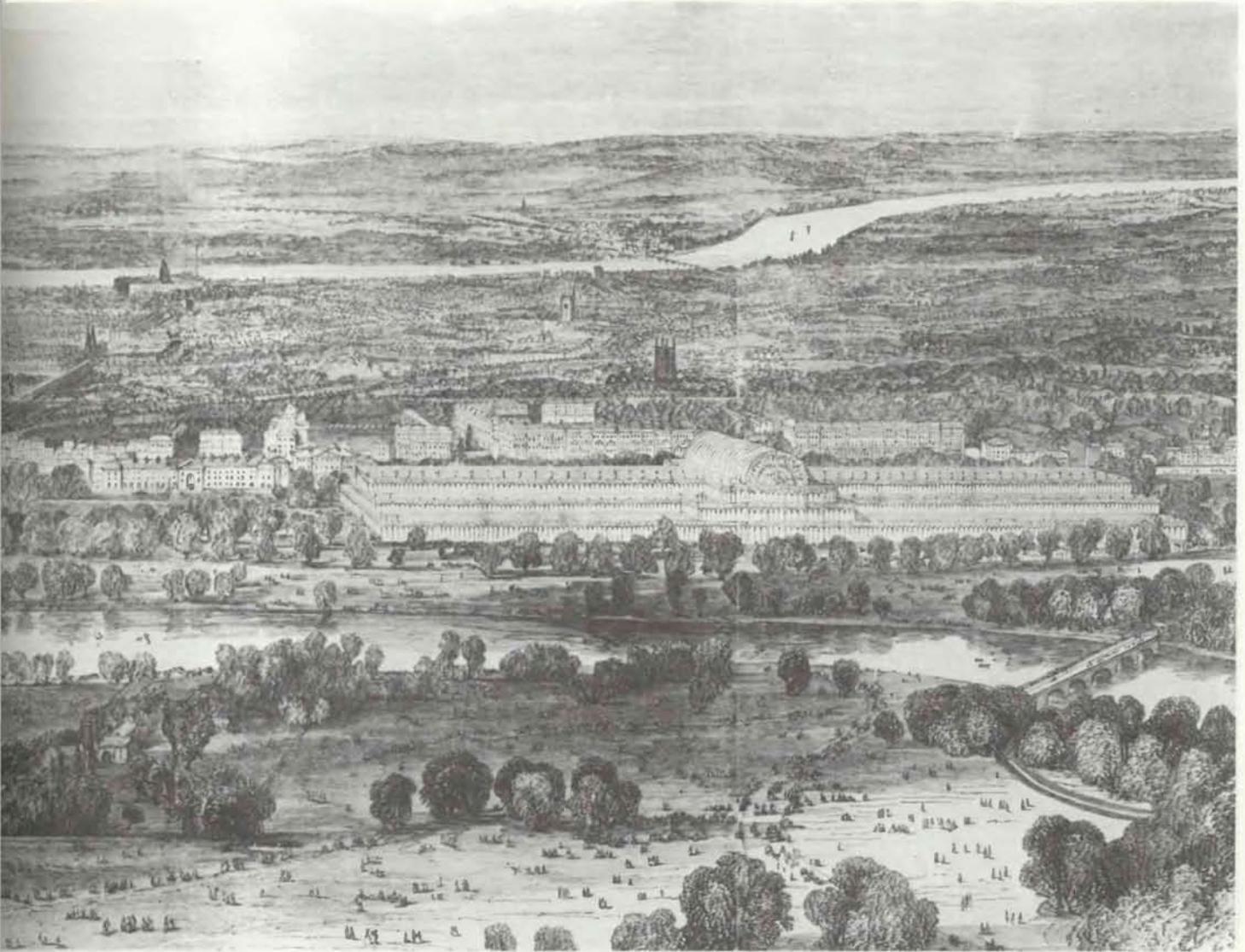
лов, с освещением через крышу и занимать площадь около 8 га.

ПРЕДЕЛЬНЫЙ срок для представления проектов был назначен на апрель 1850 г. Из 245 проектов, предложенных к тому времени, ни один не был признан подходящим. Комиссия приступила к разработке собственного проекта. Проектируемый павильон представлял собой здание из кирпича усложненной конструкции с большим металлическим куполом в центре. Но и этот проект не удовлетворял условиям конкурса. И все же его представили на рассмотрение. В тот момент, когда шло его активное обсуждение с участием членов парламента, в спор вмешался Пакстон. Он получил заверение 7 июня, что еще одно предложение будет рассмотрено при условии, если оно будет отвечать всем требованиям комиссии. Вместе со своими сотрудниками в Чатсворте (резиденции герцога

Девонширского) и инженером по строительству железных дорог Пакстон за восемь дней спроектировал здание принципиально новой конструкции, отвечавшей всем требованиям комиссии.

Пакстон действовал обдуманно. Он завоевал расположение влиятельных членов парламента и комиссии, а также широкой публики, с тем чтобы к его проекту отнеслись благосклонно. Комиссия официально приняла его проект 26 июля 1850 г. и заявку на подряд от фирмы Fox and Henderson.

В течение нескольких последующих недель подрядчики доработали проект, рассчитали нагрузки в каждом элементе конструкции, определили форму этих элементов, провели испытания на моделях в натуральную величину и приступили к возведению здания. Хрустальный дворец был построен в неслыханно короткое время — за 4 месяца. Всемирная выставка, как и было запланировано, открылась 1 мая



строительной технике. Хрустальный дворец показан с северной стороны. На заднем плане р. Темза, через которую на восточной стороне (слева) перекинут мост Воксхолл, а на западной — мост Баттерси. Позади дворца видны Найтс-

бриджские казармы конной гвардии, а еще дальше на восток — площадь Гайд-парк-корнер. На панораме видны также некоторые соборы, среди них собор Св. Троицы (в центре), Сент-Питерз (слева) и Сент-Льюкс (справа).

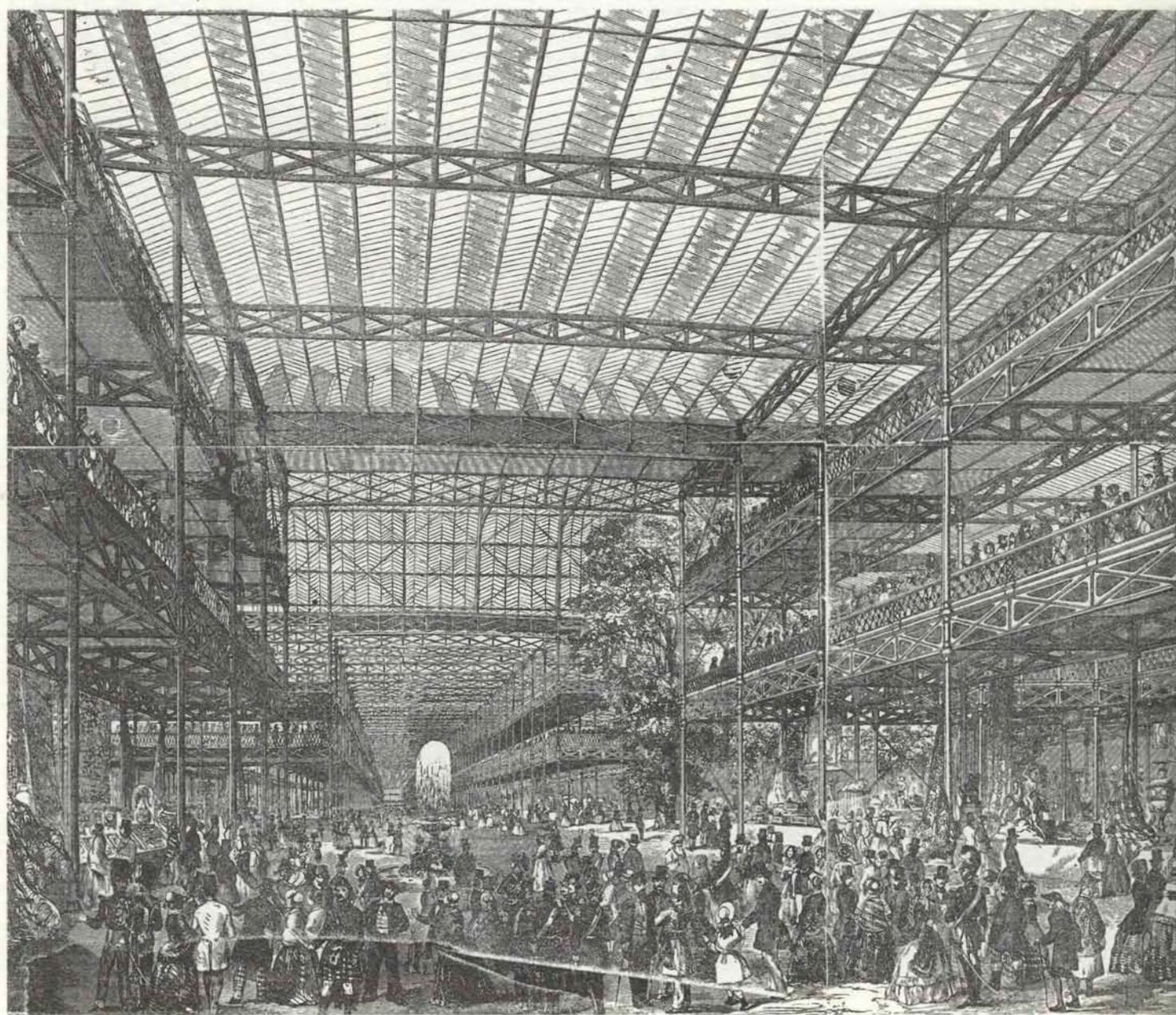
1851 г., и здание, в котором она проходила, многие воспринимали как главный ее экспонат. Дворец производил впечатление чего-то совершенно нового. Снаружи казалось, что тонкие металлические колонны, несущие арочные перекрытия пролетов (см. нижний рисунок на с. 72) и обрамляющие стеклянное заполнение, образуют ряд бесконечно повторяющихся заглаблений, каждое шириной около 2,4 м. Блестящее конструктивное решение дворца соответствовало особым требованиям, предъявленным к выставочному павильону.

В задании участникам конкурса на лучший проект главного здания выставки указывалось, что его конструк-

ция должна отличаться «такой особенностью, которая отражала бы современный уровень развития строительной техники в Англии». Судя по проекту, разработанному и предложенному самой комиссией, в котором предметом гордости был неуклюжий чугунный купол диаметром около 60 м, было очевидно, что комиссия стремилась к монументальному выражению этой конструктивной особенности.

Ни один архитектурный элемент Хрустального дворца не был поистине монументальным; сам по себе дворец был монументален в чисто количественном смысле. Он занимал площадь чуть меньше 72 000 м². Его длина была 555 м, ширина 124 м, а с северной сто-

роны он имел пристройку размером в плане 285 × 14,6 м. Центральный продольный неф, или «главный проспект», имел ширину 22 и высоту 20 м, а сводчатый трансепт (поперечный неф) — соответственно 22 и 32,9 м. Почти 84 000 м² стекла, т.е. около одной трети всего объема стекла, произведенного в Англии в 1840 г., потребовалось для застекления стен и крыши дворца. Опорами служили 3300 пустотелых чугунных колонн и 2224 несущие балки (как чугунные, так и деревянные). Обшая протяженность желобов, на которых покоились своды, составляла около 40 км. Длина всех деревянных переплетов рам стеклянной крыши была 330 км. Объем дворца был немногим



ГЛАВНЫЙ ЗАЛ Хрустального дворца (копия с гравюры, помещенная в одном из номеров журнала «Scientific American» за 1851 г.) Видны некоторые конструктивные элементы дворца —

фермы (под крышей) и диагональные связи (в своде трансепта). Обнаженность этих элементов являлась основным отступлением от принятых архитектурных норм викторианс-

меньше 1 млн. м³. Можно себе представить, во что обошлось строительство дворца, если затраты на каждый кубический метр составляли 28 пенсов.

Несмотря на эти внушительные размеры здания, его конструкция была поразительно простой. Основными ее элементами служили пустотелые чугунные колонны, соединенные связующими сквозными фермами, на которых держалась плоская крыша из застекленных панелей, образующих складчатый профиль. Иными словами, крыша была образована гребнями и впадинами, чередующимися через каждые 1,2 м.

Каркас здания образовывали опорные плиты для колонн, выступающие

на 10 см над уровнем пола; сами колонны, возвышающиеся на 5,6 м над плитами; связующие звенья — каждое длиной около 1 м — для соединения колонн с фермами и желоба глубиной 15 см, расположенные на расстоянии 2,4 м друг от друга и поддерживающие остекленные листы размером 125 × 25 см, которые устанавливались на крыше с уклоном 2,5:1.

Вдоль главного нефа здание имело два яруса, причем конструкция верхнего яруса отличалась только тем, что колонны в нем были на 61 см короче, чем в нижнем ярусе. Там, где продольные пролеты и главный неф расширялись, поперечные балки соответственно удлинялись — в разных частях здания их длина составляла 7,3, 14,6 и 22 м.

Единственными сложными элементами этой простой каркасной конструкции были сводчатое перекрытие транспта и диагональные стержни из ковкого железа, служившие для повышения жесткости всего сооружения (см. верхний рисунок на с. 72). Эти стержни диаметром 24 и 19,4 мм закреплялись соответственно между колоннами на наружных стенах и между основными арочными ребрами свода транспта. В середине стержни стягивались железными кольцами, и благодаря этому они придавали жесткость каркасу всего здания, не имевшего внутренних перегородок.

Такая диагональная филигранная связь, видимая в оконных пролетах между колоннами, как снаружи, так и изнутри, была новым эстетическим элементом в архитектуре. Даже в наши дни нелегко привыкнуть к пересечению просветов окон диагональными раскосами, как, например, в здании Центра Джона Хэнкока в Чикаго.

Хрустальный дворец, как о нем писали современники, был «замечательным достижением строительной техники Англии». Его конструкция безусловно предвосхитила многие особенности, характерные для архитектуры XX в., но тогда, в XIX в., эти особенности нельзя было встретить ни в одном другом здании. Таким образом, Хрустальный дворец стал первым в мире большим металлокаркасным зданием и первым зданием со стеклянными стенами. В его конструкции применена не виданная ранее система поортальных связей для компенсации возникающих при ветре боковых усилий, и кроме того, впервые в мире крупнейшее сооружение было возведено из заранее изготовленных модулей.

Хрустальный дворец не мог быть построен до 1845 г., когда парламент отменил акцизный сбор на стекло. Поскольку дворец должен был служить выставочным павильоном, то использование стекла в его конструкции играло особо важную роль. На оформление

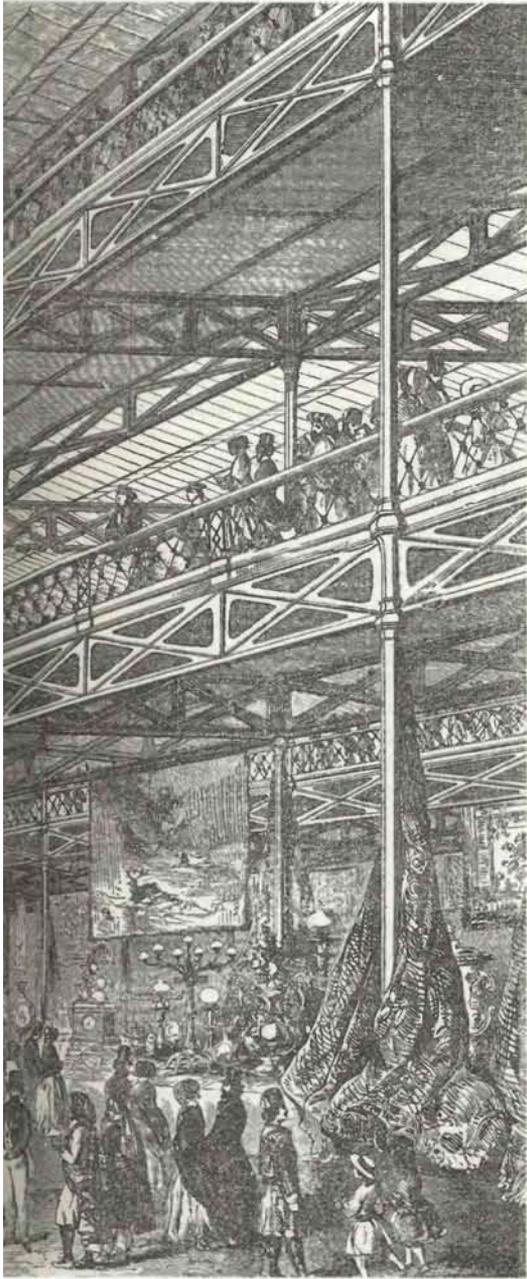
внутренних помещений, постройку крыши и купола потребовалось 400 т листового стекла, которое было изготовлено фирмой Chance Brothers and Co. в Бирмингеме. Пакстон заказывал стекла самых больших размеров. Для их получения сначала выдували пустотелый стеклянный цилиндр, который затем разрезали вдоль, и свернутый лист помещали в печь, где он расправлялся. По проекту Пакстона, эти листы длиной 125 см устанавливали с наклоном, под углом один к другому так, что они образовывали складчатый профиль при расстоянии между впадинами, равном 2,4 м, чем определялось расстояние между колоннами, равное 7,3 м.

Идея «ребристой» крыши принадлежит Дж. Лаудону, но Пакстон, пожалуй, первым воплотил ее на практике еще при строительстве оранжереи. Он усовершенствовал эту идею в 1832 г., переделав крышу одной из своих оранжерей. Затем он использовал тот же принцип при сооружении арочных сводов оранжереи Грейт-Стоув в Чатсворте, которую он построил в период между 1836 и 1841 гг. В то время это здание по своей ширине превосходило любой из существовавших тогда вокзалов. И наконец, в качестве вступления к сооружению плоской (без заострения) крыши Хрустального дворца Пакстон возводит в 1849 г., также в Чатсворте, стеклянное строение для разведения лилий Victoria Regia. Завозимые из Британской Гвианы, эти лилии не приживались, пока не были посажены в новой оранжерее, в которой была создана водная среда, необходимая для этих растений.

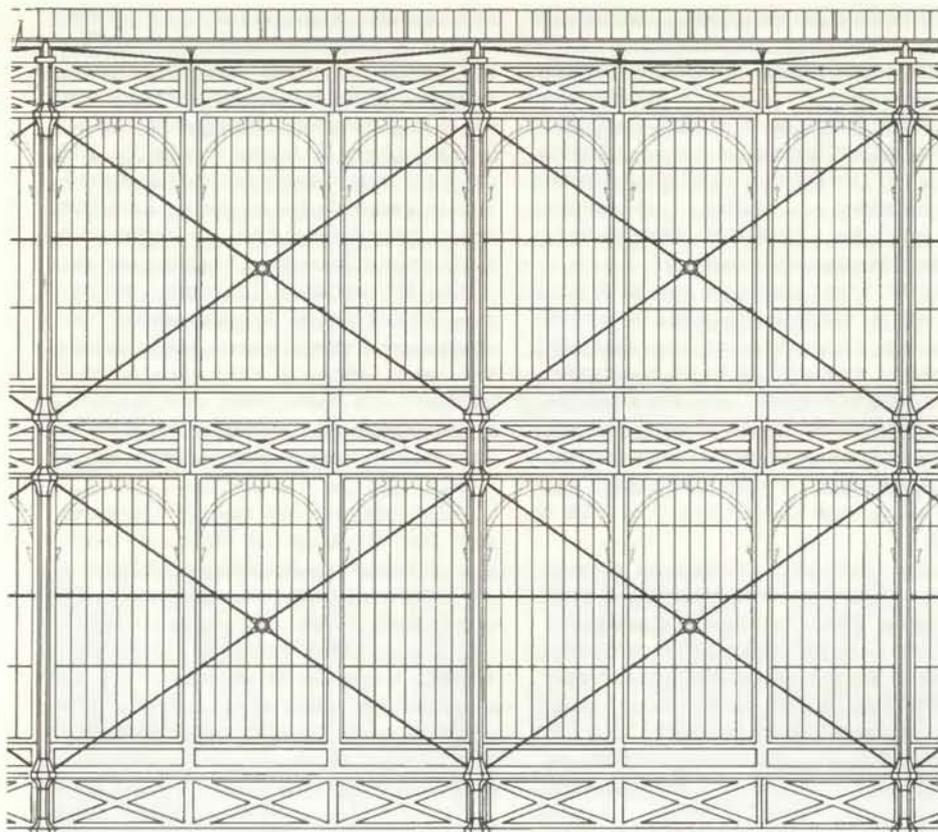
В 1832 г. Пакстон первым доказал преимущества такой конструкции оранжереи, в которой солнечные лучи утром и вечером проходят через стекло почти перпендикулярно. Это, как он считал, имело исключительно важное значение для выращивания плодов. Пакстон был великолепным садоводом и при конструировании оранжерей опирался на свой опыт.

ЧЕРЕЗ 19 лет Пакстон разрабатывает проект здания иного назначения. Впервые примененный им принцип «рифленого профиля» лег в основу того, что сейчас мы назвали бы складчатой конструкцией. В складчатых панелях, используемых почти исключительно для сооружения строений из железобетона, наличие ребер повышает прочность. Такая панель действует как балка и выдерживает максимальные нагрузки, приходящиеся на «впадины» и рассредоточенные по их длине.

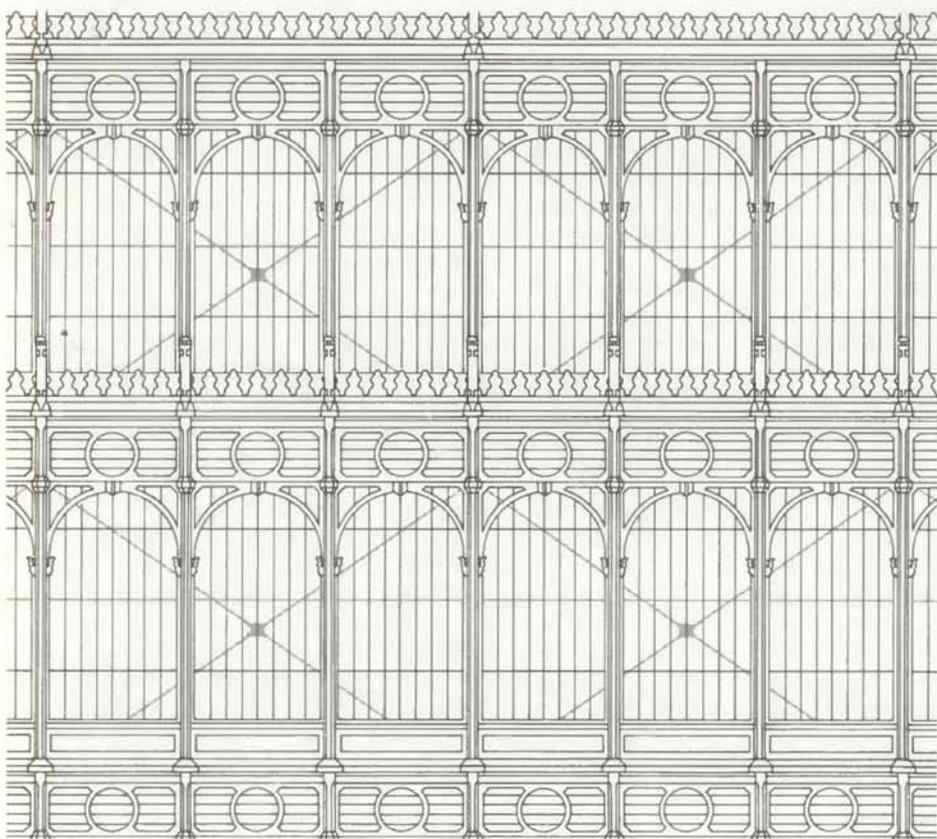
Пакстон, как мы далее увидим, использовал вогнутые желоба исключительно в качестве балок. В его конструкциях деревянные остекленные рамы, которые вставлялись в желоб и об-



кой эпохи. Сквозь складчатую поверхность крыши можно видеть сводчатое завершение центрального транспта.



СТЕРЖНИ ИЗ КОВКОГО ЖЕЛЕЗА обеспечивали жесткость наружным стенам Хрустального дворца, не имевшего внутренних стен. Видимые снаружи и изнутри, эти стержни — стяжки придавали зданию современный вид.



ОТВЕСНЫЕ СТЕНЫ — это еще одно новшество, введенное Пакстоном и его коллегами. Панели из стекла размером 125 × 25 см устанавливались за тонкими обрамляющими арками. Такие панели использовались для остекления как стен, так и крыши. На весь дворец потребовалось примерно 400 т стекла. Прозрачная «оболочка» Хрустального дворца послужила прототипом для многих современных зданий.

разовывали гребень, вряд ли могли создать балочные гребни по всей крыше, чтобы она имела такую же структуру, как складчатая система. Тем не менее приверженность Пакстона этой системе даже в тех случаях, когда она уже больше не нужна была в том качестве, в каком он использовал ее впервые для оранжерей, где требовалось получить определенную освещенность и тепловой режим, говорит о том, что автор проекта понимал, что «рифленый» профиль обеспечит исключительно высокую прочность крыше. Можно также предположить, что Пакстон был одним из первых архитекторов своего времени, которые оценили достоинства складчатых конструкций в строительстве.

Тот же прием «рифленой» конструкции из стеклянных листов, который Пакстон применил при сооружении крыши, он использовал и для наружной отделки Хрустального дворца. Каждый стеклянный лист обрамлялся деревянными рейками и средниками (тонкими вертикальными стойками) и заделывался в железные колонны, отстоящие на 7,3 м друг от друга с двумя промежуточными стойками из дерева. Так Пакстону удалось впервые создать стеклянный павильон для всемирной выставки. Боковые стены павильона имели поперечные закладные брусья толщиной 20,7 см.

Важнейшей особенностью был размер остекленных рам, которые устанавливались на эти брусья. Они имели толщину 6,5 см, такую же как и в современных зданиях с навесными стеклами. Из застекленных рам собиралась стена, которая играла роль прозрачной «кожи». Такой же, в сущности, была и архитектура «кожи и костей» Миса ван дер Роза, задуманная им в 20-х годах и воплощенная 30 лет спустя в Сигре-билдинг в Нью-Йорке, а также в расположенном неподалеку здании Ливерхауса, построенным по проекту архитектурной фирмы Skidmore, Owings & Merrill.

Значимость вклада Пакстона в архитектуру, однако, по-настоящему была оценена позже, когда в строительстве стали использоваться каркасы из стальных сборных конструкций. Истинное признание заслуг Пакстона пришло не в 20-е годы, когда Мис предложил строить небоскребы, а с постройкой архитектором У. Полком Хэллади-билдинг в Сан-Франциско. Впервые в конструкции большого здания, которое было построено в 1918 г., применили навесные стены. Стеклянный фасад здания был подвешен к междуэтажным перекрытиям, которые консолями длиной около 1 м выступали за железобетонные колонны (см. верхний рисунок на с. 78). Таким образом, не было никаких наружных элементов в плоскости внешней стены здания,

сделанной целиком из стекла. Полк воздал должное таланту Пакстона в своей монографии, написанной им в период подготовки к постройке Хэлладбилдинг, и назвал ее «Хрустальный дворец».

ВНЕШНИЕ стены Хрустального дворца все же имели несущие элементы в плоскости стеклянных панелей; такими элементами были наружный ряд колонн и диагональные связи. Вообще говоря, Пакстон разработал истинно навесную конструкцию стен, хотя и в постройке относительно малых масштабов — оранжерею для выращивания лилий *Victoria Regia*. Эта оранжерея представляла собой прямоугольную постройку размером 18×14 м с рифленным профилем крыши, опирающейся на горизонтальные балки, которые в свою очередь покоились на двух рядах внутренних колонн. Таким образом, в этой небольшой постройке Пакстон действительно «подвесил» стеклянную стену к балкам, которые консольно выступали за несущие колонны, и в результате создал на-

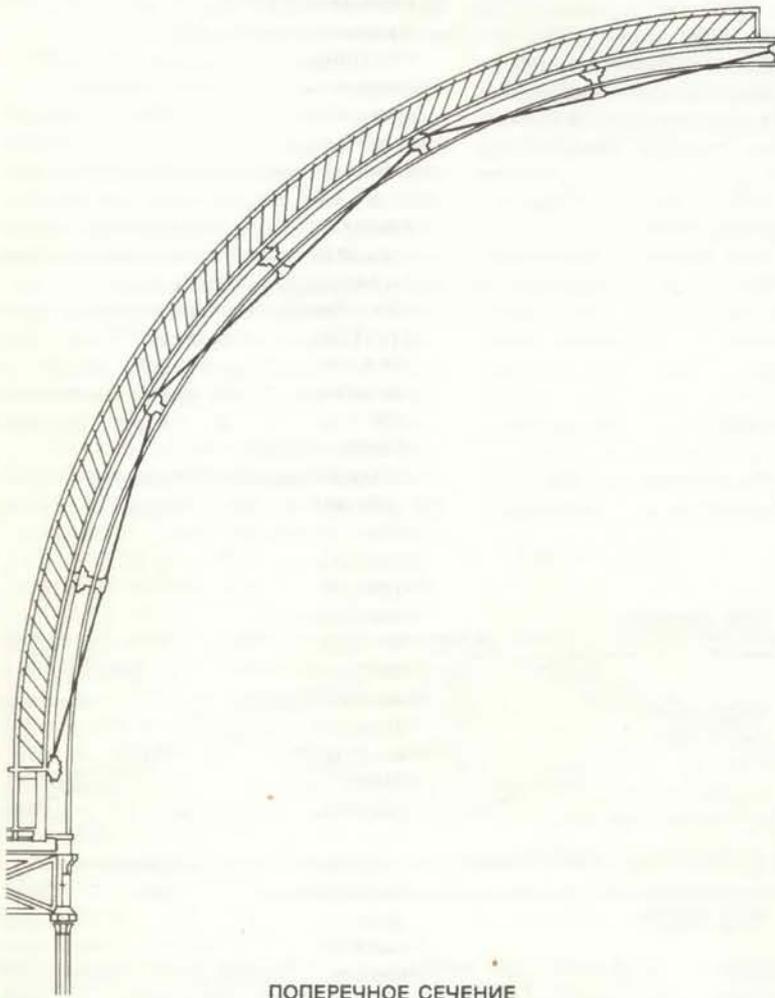
ружную прозрачную оболочку.

Отличительной особенностью конструкции Пакстона, которая позволила ему создать строение с тонкими наружными стенами, была разработанная им система порталных связей, обеспечивающая жесткое сочленение вертикальных колонн с горизонтальными фермами. В сущности порталная связь (термин заимствован из практики строительства порталных металлических ферм железнодорожных мостов) обеспечивает жесткое соединение между балкой и двумя колоннами. Следовательно, горизонтальные силы, возникающие, например, при ветре, не могли деформировать прямоугольный каркас, созданный из этих элементов, и придать ему форму параллелограмма.

Портальная связь, или связевая конструкция, позволяет также использовать балки с меньшей высотой в середине пролета, чем в случае, когда они просто покоятся на вершинах двух колонн, зафиксированных тем или иным способом в строго вертикальном положении. В конструкции Хрустального дворца, в которой колонны привинчи-

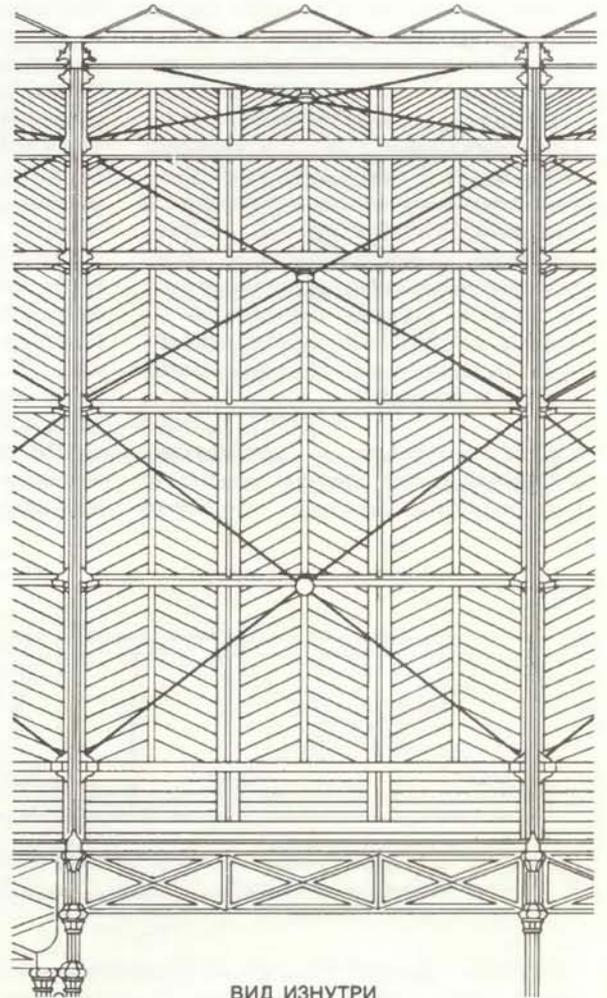
вались болтами к выступающим частям основания, раскосы и балки также служили для закрепления колонн в вертикальном положении.

Существенно, что для обеспечения связевой конструкции Пакстон использовал разработанную подрядчиком Ч. Фоксом вертикальную соединительную вставку из чугуна, которая закреплялась на вершине колонны. Снизу и сверху соединительная вставка имела фланцевые выступы. Уширение на конце фермы входило в эти выступы, и простой установкой чугунного или сделанного из дуба вкладыша в углублениях на выступах и на концах балки достигалось жесткое соединение (см. рисунок на с. 75). Таким способом низ и верх фермы очень просто и быстро присоединялись к колонне, придавая всей конструкции устойчивость к горизонтальным нагрузкам. Как отмечал Карл У. Кондит из Северо-Западного университета (Carl W. Condit. *The Wind Bracing of Buildings*, "Scientific American", № 2, 1974), настоящая связевая конструкция, в которой балка соединяется с колонной по всей ее длине,



ПОПЕРЕЧНОЕ СЕЧЕНИЕ

СВОД центрального трансепта показан в разрезе (слева) и изнутри (справа). Такой же складчатый профиль, образуемый расположением плоских стеклянных панелей под



ВИД ИЗНУТРИ

углом друг к другу так, что они образуют «гребни» и «впадины», использован и в конструкции крыши.



ДЕРЕВЯННЫЕ ЖЕЛОБА, по которым вода стекала с крыши в трубчатые колонны и затем в подземные трубы, одновременно выполняли роль балок. Стягивающие стержни из ковкого железа (*внизу*), слегка изгибаемая желоба наружу, придавали им жесткость. Этот прием был шагом вперед на пути к используемому в наше время методу предварительного на-

пряжения. Желоба играли ключевую роль в придуманной Пакстоном складчатой конструкции крыши. Жесткость крыше придавали поставленные под углом друг к другу панели. Углубления, видимые в поперечном разрезе (*вверху*), предназначались для отвода конденсационной воды с внутренней поверхности крыши.

была впервые использована при строительстве сооружения Роял-нейви-буут-стор в Ширнесе (Великобритания) в 1858 — 1860 гг.

Идея использования связевой конструкции из металла в том виде, какой она имела в каркасном Хрустальном дворце, а позже в сооружении Роял-нейви-буут-стор в Ширнесе, была заимствована из практики возведения деревянных строений. В больших железнодорожных дебаркадерах, которые в то время строились из металла, для обеспечения связи использовались огромные крепежные скобы или согнутые в дугу балки; и тот, и другой способ привели к появлению возвышающихся крыш вертикального профиля. В противоположность этому методу крепления, используемому при строительстве железнодорожных депо, весьма простая связевая конструкция позволила построить из железа первое в мире каркасное прямолинейное здание с плоской крышей.

ИСПОЛЗУЕМЫЕ в конструкции Хрустального дворца новшества были настолько необычны, что совре-

менники Пакстона и Фокса не верили, что каркасная система этого здания будет прочной и надежной. Одни утверждали, что здание не сможет противостоять ветровым нагрузкам, другие ставили под сомнение прочность хитроумных соединительных вставок и считали их «самым слабым звеном во всей конструкции». Даже хорошо известный конструктор железнодорожных депо и построек из ковкого чугуна Р. Тёрнер, который также представлял на конкурс свой проект главного здания выставки, не сумел оценить достоинств этих соединительных элементов. Он полагал, что крепление колонн в основании не является достаточно прочным, и предсказывал, что именно поэтому здание обрушится.

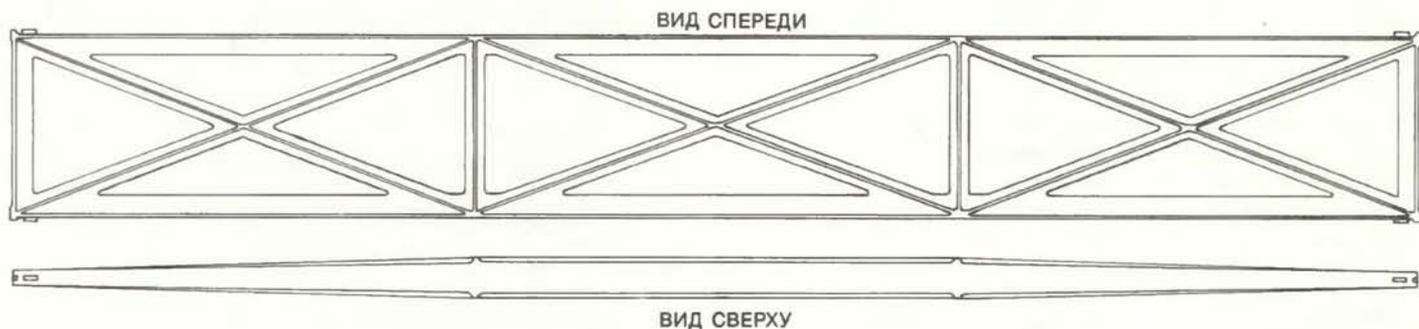
Связевые конструкции с соединением на заклепках стали использоваться относительно недавно при возведении высотных зданий со стальным каркасом. В основе этого метода лежит опыт применения крепежных элементов в конструкции Хрустального дворца. Соединительные вставки были основными конструктивными элементами дворца, поскольку делали возмож-

ным «обшить» его стеклянными панелями, которые в противном случае не смогли бы выдержать боковых нагрузок. Это техническое решение имеет аналог в современной строительной практике при сооружении почти всех зданий с металлическим каркасом и балочным перекрытием (постройки с горизонтальными балками, покоящимися на вертикальных столбах), в которых стеклянные стены подвешиваются позади несущих столбов.

Горизонтальным элементом в связевой системе была ажурная ферма. Последняя похожа на массивную балку, но состоит из отдельных сборных элементов, включающих верхние и нижние пояса (прямолинейные горизонтальные элементы), соединенные для жесткости одним или несколькими диагональными стержнями.

Пояса могут быть соединены и вертикальными стержнями. Такая конструкция может перекрыть значительно больший пролет, чем ее отдельные элементы, если бы из них сделали сплошную балку.

На изготовление фермы идет меньше материала, чем на балку такой же



ЧУГУННЫЕ ФЕРМЫ Пакстон использовал для упрощения конструкции дворца и ускорения его сооружения. Фермы изготавливались на заводе и доставлялись в Гайд-парк. Их длина составляла 7,2, 14,4 и 21,6 м. Фермы жестко соединялись с колоннами под прямым углом. Такой способ соединения называется порталной связью. Если двумя фермами

соединить три колонны, то система будет достаточно устойчива. Сборка таким способом производится быстро. Для повышения прочности фермы ее нижние и верхние пояса в середине вдвое шире, чем у концов (*внизу*). Такая конструкция основана на анализе усилий, возникающих в фермах.

прочности, и, кроме того, ее можно изготовить из отдельных элементов небольшого размера. В силу этих достоинств фермы оказались наиболее предпочтительными при строительстве Хрустального дворца, поскольку для сооружения его каркаса потребовалось около 2300 горизонтальных элементов обрамления, собрать которые нужно было за короткое время.

Хрустальный дворец строился в тот период, когда в развитии строительных конструкций с использованием металлических ферм намечалась новая тенденция. Сооружать здания со стропильными фермами для перекрытий начали еще в первой половине XIX в. Примерами могут служить здания литейных мастерских в Сохо (1810 г.) и дебаркадер Юстон-стейшн (1837 г.). В первой из этих построек стропильные фермы были полностью изготовлены из ковкого железа не комбинированными со стяжками из ковкого железа и поясами из чугуна или дерева. Этот переход на полное изготовление ферм из ковкого железа осуществился благодаря результатам экспериментальных работ, проведенных И. Ходкинсоном и У. Фейрбейрном в 1826 — 1830 гг., которые показали, что конструктивные элементы ферм, выполненные из ковкого железа, значительно прочнее, чем из любого другого материала.

Первые фермы, подобные тем, которые применялись в Юстон-стейшн и других дебаркадерах с такой же формой перекрытий, имели треугольную или арочную форму. Поскольку верхний и нижний пояса этих ферм не были параллельными и горизонтальными, они в основном работали как арки, а не как балки. Многие мостовые фермы, однако, имели балочную конструкцию и больше походили на те, что использовались в Хрустальном дворце.

СТРОИТЕЛЬСТВО первых железнодорожных мостов из железных ферм началось в 1840 г. Большинство используемых в них ферм были комбинированными; они сочетали в себе элементы из чугуна и ковкого железа. Чугун часто использовался для верхнего пояса, который работал на сжатие; нижний пояс изготавливали из сложенных вместе длинных полос ковкого железа, поскольку он работал на растяжение. В зависимости от конструкции фермы ее стойки и диагональные раскосы также изготавливали либо из чугуна, либо из ковкого железа.

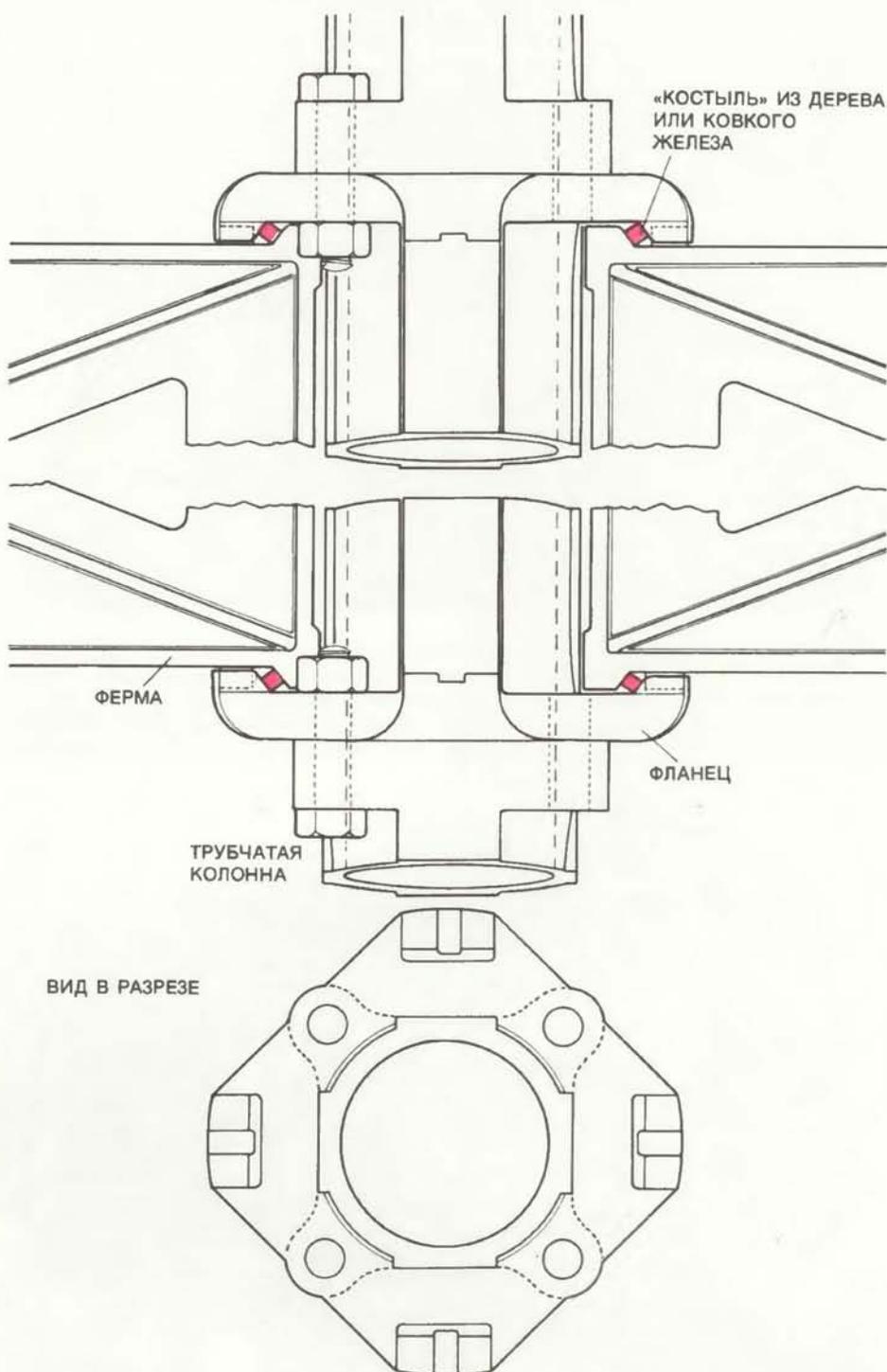
В конструкции Хрустального дворца Пакстон совместил опыт Фокса и Хендерсона по возведению железнодорожных мостов из ферм со своим опытом сооружения плоских крыш оранжерей. Новая конструкция Пакстона была редкостью для XIX столетия: здание с плоским перекрытием, поддерживаемое фермами, заимствованными из

практики строительства мостов. Здания XIX в. редко имели плоскую крышу; когда требовалось сделать широкое перекрытие, то никогда не прибегали к использованию мостовых ферм с параллельными поясами.

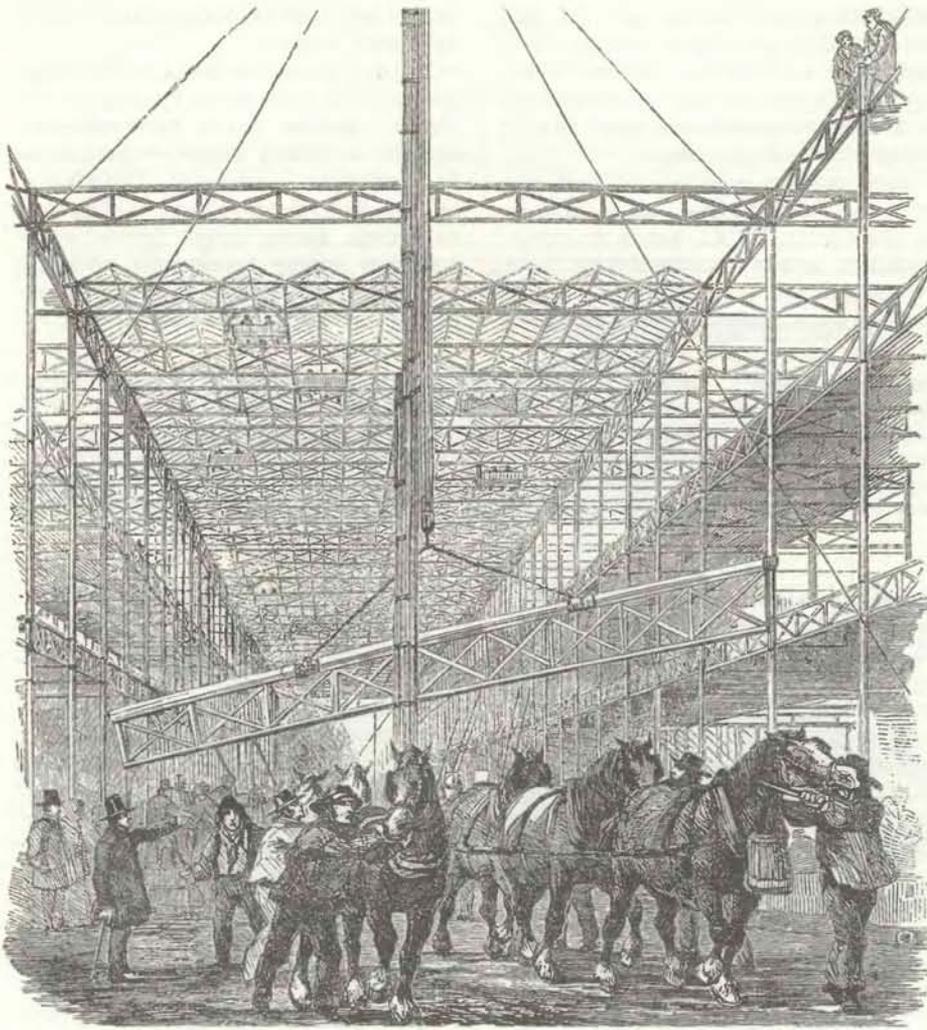
Этот смелый новаторский шаг оказал действие, подобное шоку. Вплоть до середины XX в., когда в строительстве стали использовать пространственные конструкции, считалось недопустимым, чтобы перекры-

тие из ферм оставалось незакрытым в интерьере здания.

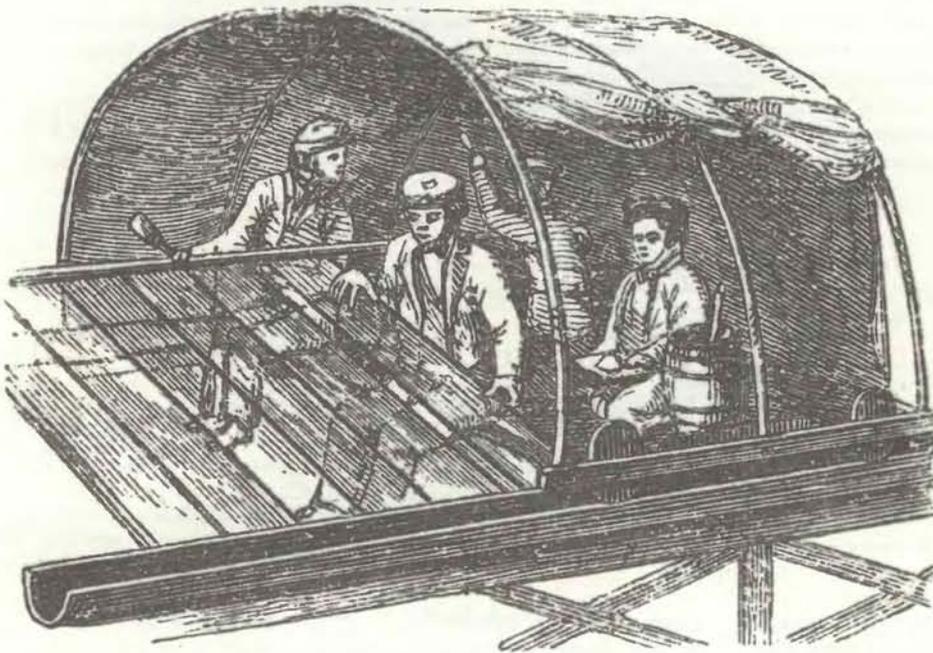
Высота основных ферм в Хрустальном дворце составляла примерно 1 м. Через каждые 2,4 м располагались стойки, а между ними — диагональные стержни — раскосы. Некоторые из этих ферм были полностью сделаны из чугуна. Более легкие фермы перекрывали между колоннами пролеты шириной 7,3 м и располагались параллельно основной оси здания, более тя-



ЧУГУННЫЕ СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ предназначались для соединения ферм (см. нижний рисунок на с. 74) с колоннами. Такой способ обеспечивал быструю сборку. Расширенные торцы ферм заходили за фланцы и фиксировались «костылями» из дерева или ковкого железа, которые вставлялись в зазор.



СТРОИТЕЛЬСТВО Хрустального дворца заняло всего 4 месяца в основном за счет высокой организации труда строителей и использования готовых модулей. На переднем плане показано, как строители поднимают ферму, которую нужно соединить с трубчатыми колоннами из чугуна. На крыше находилось шесть тележек, или передвижных платформ, которые использовались для установки стеклянных панелей (см. нижний рисунок).



ПЕРЕДВИЖНЫЕ ПЛАТФОРМЫ, подобные изображенной здесь, облегчали сборку стеклянной крыши дворца. Они перемещались по деревянным желобам. Используя такие платформы, 80 рабочих за одну неделю устанавливали 19 тыс. стеклянных панелей.

железные перекрывали боковые пролеты и галереи шириной 14,6 м. Другие фермы были изготовлены из ковкого железа и располагались поперек продольных нефов, ширина которых составляла 14,6 и 22 м.

Характерной конструктивной особенностью всех этих ферм было то, что их верхние и нижние пояса в центре пролетов были несколько толще. Поэтому в середине фермы пояса были примерно вдвое шире, чем у концов, где фермы соединялись с колоннами. Пояса ферм из ковкого железа постепенно утолщались к середине в процессековки; чугунные же фермы наращивались в середине приклепыванием дополнительных полос.

Этот простой способ увеличения площади поперечного сечения в середине поясов повышал прочность фермы, нагрузка на центральную часть которой была больше, чем на ее концах. Увеличение размеров в центральной части, конечно, делало их более прочными, но в то же время, в соответствии с общим архитектурным замыслом Пакстона, фермы должны были быть одинакового сечения по всей длине.

Способ утолщения ферм, используемых в Хрустальном дворце, был подготовлен новыми достижениями в строительной механике. В 1847 — 1851 гг. в США и Англии было опубликовано несколько научных работ, в которых излагались методы расчета нагрузок в фермах и определения сил, действующих на каждое составное звено фермы. Методы же определения величины смещения ферм, которые заложили теоретическую основу для расчета ферм, применяемую и по сей день, были разработаны только в середине 60-х годов прошлого столетия. Таким образом, до 1850 г. общей теории расчета ферм в Англии не существовало.

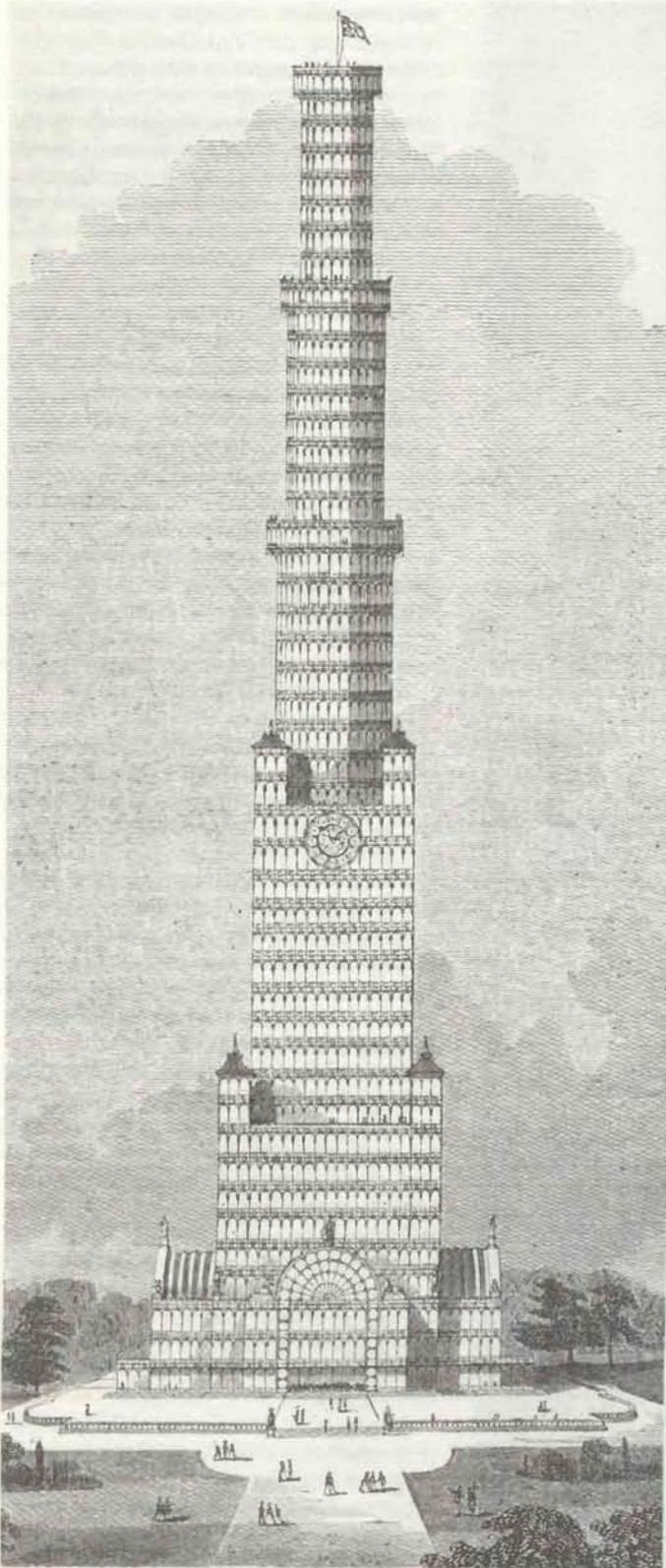
ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ напряжение — еще один метод современной строительной техники, который задолго до его широкого применения был использован при сооружении Хрустального дворца. Предварительно напряженные строительные конструкции обладают повышенной способностью выносить нагрузки за счет создания в них внутренних напряжений в процессе изготовления, сборки или монтажа. Примером может служить современная технология изготовления железобетонных балок со стальными стержнями внутри, которые заранее растягивают, а затем закрепляют для повышения напряжения сжатия в бетоне.

Применяя предварительно напряженные строительные конструкции, инженер-проектировщик может использовать такие технологические методы возведения сооружений, которые без них были бы практически не осуществимы при заданных материалах и

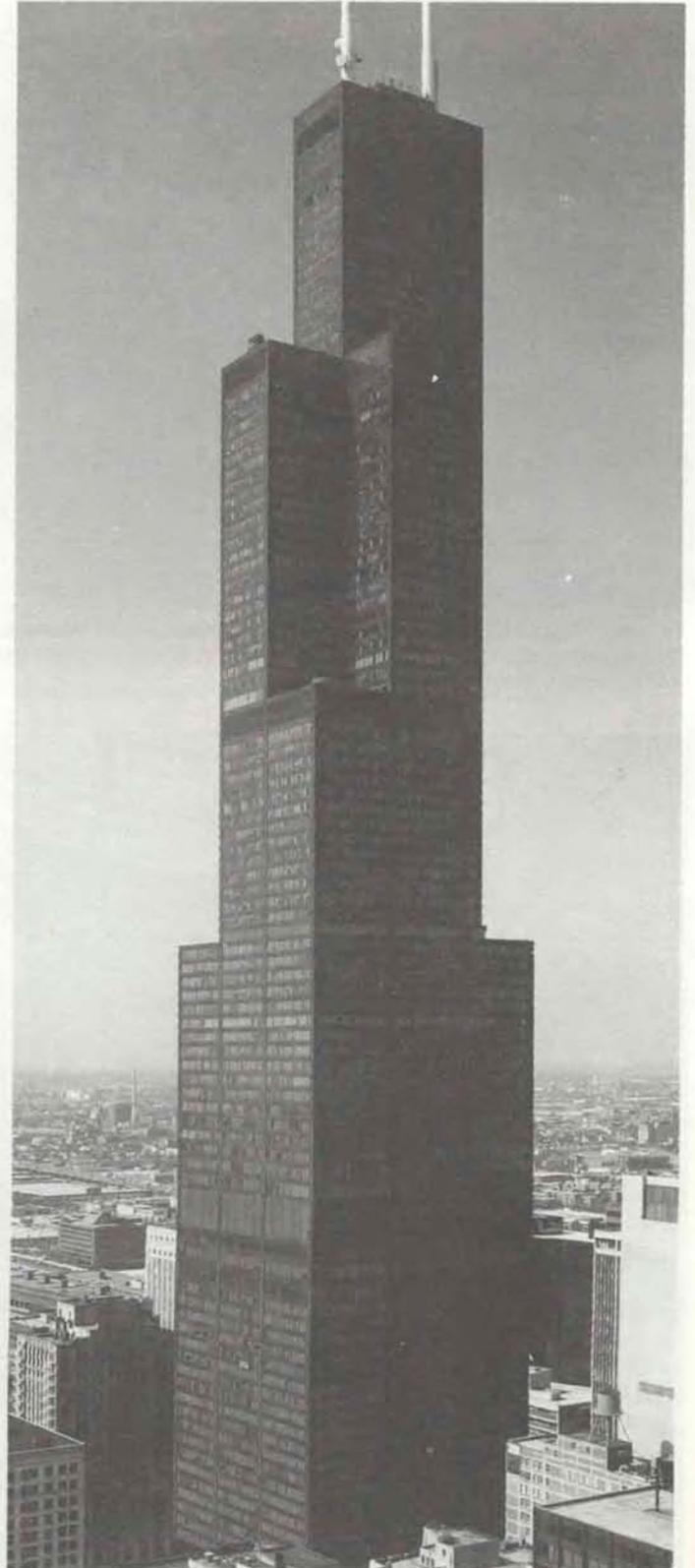
форме возводимого объекта. Кроме того, предварительное напряжение предоставляет в распоряжение проектировщика более широкий выбор профилей основных строительных элементов.

Развитие технологии предварительного напряжения началось в связи с решением проблем, возникших при строительстве железнодорожных мостов с использованием чугунных элементов. Поскольку прокаткой невоз-

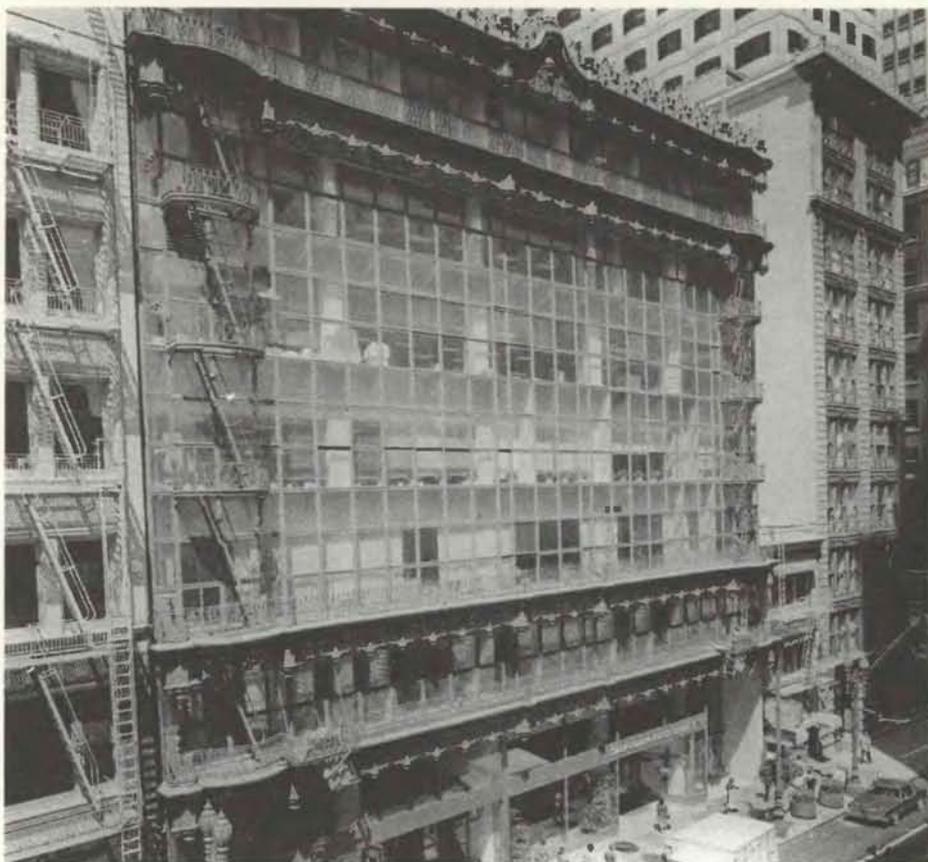
можно было получить из ковкого железа балку толщиной более 18 см, чугун в то время (1851 г.) оказался наиболее подходящим строительным материалом. Он обладал значительными преимуществами по сравнению с другими



МОДУЛЬНАЯ КОНСТРУКЦИЯ Хрустального дворца навела одного из современников Пакстона на мысль о его перестройке в башню высотой 300 м (слева). Сооруженный таким образом дворец был бы слишком тяжел, и его чугунные колон-



ны не выдержали бы нагрузку. Используемые в современном строительстве стальные балки достаточно прочны, чтобы возводить такие здания. Справа здание Сирс-тауэр, собранное из состыкованных друг с другом модульных элементов.



ПОЛНОСТЬЮ ЗАСТЕКЛЕННЫЙ ФАСАД здания Хэллади-билдинг, построенного в Сан-Франциско по проекту У. Полка в 1915 г. Впервые идея стеклянных стен была воплощена в Хрустальном дворце.



ГАЛЕРЕЯ ВИТТОРИО-ЭМАНЮЭЛЕ в Милане построена на основе тех же принципов, что и Хрустальный дворец. Так же как и во дворце, интерьер здания просторный и светлый.

материалами, несмотря на то что прочность на разрыв у него была в восемь раз меньше прочности на сжатие.

Когда в середине 40-х годов прошлого века было признано, что прочность ковкого железа больше прочности чугуна, инженеры стали пытаться увеличить прочность на разрыв чугунных ферм путем армирования их ковким железом. Они ставили многочисленные эксперименты по соединению пластин или стержней из ковкого железа с чугунными фермами с целью получения комбинированных решетчатых балок. Некоторые фермы совершенно не отвечали предъявленным требованиям, но тем не менее они часто использовались для перекрытия более широких пролетов. Примером может служить здание железнодорожной компании Leipold Railway (арх. Р. Стефенсон), в котором для перекрытия использованы такие фермы длиной 29 м. Но иногда их применение приводило к печальным результатам, например к крушению в 1847 г. железнодорожного моста через реку Ди (неподалеку от Честера), когда по нему следовал пассажирский поезд. Вскоре, после ряда подобных происшествий, чугунные фермы перестали использоваться при строительстве объектов с большими пролетами. Это обстоятельство задержало развитие технологии предварительного напряжения.

Несмотря на то что конструкторы железнодорожных мостов старались избегать использования решетчатых балок, Пакстон и его коллеги возлагали на них большие надежды. В конструкции Хрустального дворца можно найти два интересных примера применения решетчатых балок, комбинированных со стержнями из ковкого железа. Эти строительные приемы послужили прообразом современных концепций, лежащих в основе технологии предварительного напряжения.

В Хрустальном дворце Пакстон и его коллеги использовали эту технологию для решения проблемы, включающей как эстетические, так и технические аспекты. Было важно, чтобы все фермы имели одинаковую высоту, с тем чтобы облегчить быструю сборку и усилить впечатление однородности внешнего облика здания. В то же время фермы должны были обладать неодинаковыми прочностными характеристиками в зависимости от их конструктивного назначения.

Один из способов получения требуемой прочности ферм при неизменной их высоте заключался в создании предварительного напряжения путем изгиба вверх поясов в середине фермы при ее изготовлении. В результате, когда фермы устанавливались на место и подвергались нагрузке, они деформировались, но не прогибались. Предварительный прогиб поясов ферм длиной

22 м в середине составлял примерно 26 см, а у 14,6-метровых — 13 см. Кроме того, фермы для поддержания галерей и плоских перекрытий двух боковых приделов с каждой стороны от трансепта, которые несли нагрузку, обусловленную присутствием людей во время посещения выставки, были усилены стержнями из ковкого железа. Стержни пропускались под нижним поясом и, будучи притянутыми к чугунным башмакам на поясе, оказывали на него давление снизу вверх. Эти практические приемы, заключающиеся в прогибании и усилении железными стержнями, равносильны созданию предварительного напряжения в железобетонных балках, широко используемых в современной строительной практике.

В проекте Пакстона аналогичная система использовалась и для деревянного желоба. Желоба служили для стока воды с крыши, которая стекала в пустотелые чугунные колонны, а затем через специальные каналы в основании сливалась в подземные трубы. Одновременно желоба были и важным конструктивным элементом; они перекрывали пролет длиной 7,3 м между фермами. Желоба, однако, были деревянными и достаточно глубокими и поэтому на таком расстоянии не могли быть несущими элементами. Желоба были изогнуты вверх; прогиб составлял немногим более 6,5 см за счет приделанных к чугунным башмакам высотой 23 см стержней из ковкого железа. Прогиб способствовал стоку воды и превращал желоб в ферму, которая могла вынести нагрузку в полторы тонны.

В начале XIX в. подобные приемы предварительного напряжения не могли использоваться. Они стали практически доступными только после того, как был изобретен гидравлический домкрат, с помощью которого во время испытаний строительных конструкций создавали необходимую величину давления, разработан способ получения изделий из ковкого железа с повышенной прочностью на разрыв и появился математический аппарат для расчета величины деформации, которую требовалось вызвать в каждом испытываемом изделии. Исчерпывающее использование предварительного напряжения не было характерным для сооружений из железных конструкций, но зато оно получило распространение в постройках из железобетона в начале XX в., как, например, в проектах инженера и архитектора Эжена Фрейсине.

Важные конструктивные особенности Хрустального дворца изучались многими исследователями уже и потому, что само строительство этого сооружения было и остается событием незаурядным. Оно потребовало скоординированных действий конструкторов, промышленников, поставщиков и строителей, которые за 4 месяца возве-

ли здание, занявшее площадь более 7 га и которое через 6 месяцев было готово к эксплуатации. Постройка дворца за такие короткие сроки стала возможной лишь благодаря использованию сборных стандартизированных конструкций и модульных элементов.

Некоторые из этих составляющих способствовали обеспечению высокого уровня координации. Применение модульных элементов, вызванное использованием стеклянных панелей, обусловило стандартизацию наружного диаметра чугунных колонн. Кроме того, преимущественное использование чугуна для колонн и ферм сделало предпочтительным их предварительное изготовление на заводе, поскольку чугунные изделия в отличие от конструкций из других материалов, включая ковкое железо, нельзя было подгонять по форме или размеру непосредственно на строительной площадке.

Быстрому возведению дворца способствовал и сам способ сборки, который не требовал сооружения лесов. Как только четыре колонны с помощью соединительных выступов сочленялись с фермами, собранная конструкция приобретала жесткость и не нуждалась в дополнительном закреплении. Конструкция литых элементов была задумана такой, чтобы их сборка осуществлялась легко и быстро. Благодаря этому за одну неделю удавалось установить 310 колонн, а фермы прикреплялись к колоннам с помощью вкладышей из дерева или ковкого железа. Для сборки крыши из стеклянных панелей были придуманы специальные передвижные платформы, или тележки, которые перемещались по желобам; они позволяли 80 рабочим установить за неделю 18 932 панели. Такие технические приспособления были новаторскими в строительной технике.

Сама строительная площадка, где возводилось здание дворца, была по возможности максимально механизирована. Здесь были установлены станки, на которых обрабатывали лес и изготавливали деревянные рамы, переплеты и желоба. Окраска также производилась с помощью машин. Молоты, сверла, лебедки, подъемные краны приводились в движение двигателями. Гидравлические испытательные устройства позволяли разгружать, взвешивать, испытывать и складывать самые большие фермы менее чем за 4 мин.

За счет широкого использования принципа взаимозаменяемости конструкций Хрустального дворца Пакстону, Фоксу и Хендерсону удалось добиться невиданного прогресса в технике строительства. В 1850 г. взаимозаменяемость была явлением новым и использовалась крайне редко и только в таких простейших случаях, как механизированное производство болтов и

гаек. Что же касается Хрустального дворца, то взаимная связь форм и размеров отдельных конструктивных элементов достигла столь же высокой степени, как и в современных высотных зданиях. По словам историка Г. Хичкока, вклад Пакстона в развитие архитектуры «можно сравнить с вкладом Генри Форда в современные методы промышленного производства».

По своей экономичности и простоте изготовления сборных элементов Хрустальный дворец превосходил даже крупнейшие железнодорожные сооружения викторианской эпохи. Экономичность и простота, которым придается столь большое значение в наши дни, были одними из условий конкурса и обуславливались короткими сроками строительства. Если бы не столь близкий срок запланированного открытия выставки — 1 мая 1851 г., — то, наверняка, для этих целей было бы возведено здание иного стиля и более сложное. Вплоть до начала XX в. не было строений, сравнимых с Хрустальным дворцом по эффективности координирования строительства.

В XIX столетии лишь немногие архитекторы-теоретики, идя против господствовавших вкусов, призывали к архитектуре новаторской, предвосхищавшей будущие тенденции. В своих поисках они стремились создать архитектуру, которая с успехом использовала бы современные материалы — железо и стекло, — и при этом не была имитацией известных уже стилей, а являла бы собой совершенно новый стиль. В Хрустальном дворце Пакстон и его коллеги достигли этого.

Ощущение прозрачности, нематериальности и легкости очертаний Хрустального дворца было также результатом стремления к той эстетике, которую пытались воплотить все создатели оранжерей. Эта цель, как отмечал в 1852 г. директор парижских ботанических садов, заключалась в том, чтобы «полностью исключить ощущение материальности, когда находишься под стеклянной крышей».

Этот эффект был замечен современниками Пакстона. У Теккерей называл его здание «дворцом для сказочного принца», а один немецкий посетитель заявил: «Невозможно сказать, возвышается ли над нами здание на 30 или 300 метров ... вся (его) материальность растворяется в атмосфере».

И все же формальное признание красоты, которую несет в себе лишенная украшений легкая прозрачная форма, пришло лишь в начале XX в. с зарождением современных направлений в архитектуре. Только тогда стала логически оправданной приемлемость эстетики Хрустального дворца во многих типах архитектурных сооружений — от здания секретариата ООН до целиком

стеклянных особняков, спроектированных архитекторами Ф. Джонсоном и Мисом ван дер Роэ.

Что бы ни думали представители викторианской Англии об архитектуре дворца как об архитектурном произведении, они по достоинству оценили такие технические достижения в его строительстве, как сборка из элементов заводского изготовления, конструктивная однотипность и принцип модульности. Эти достижения, как они понимали, замечательны тем, что позволяют возводить такие же здания в любой другой стране.

Качественные особенности архитектуры Хрустального дворца, обусловленные его модульной конструкцией, породили в 1852 г. даже такое предложение архитектора Бартона, как перестроить это здание в башню высотой 300 м. Задуманную Бартоном башню нельзя было построить из тех конструктивных элементов, из которых было собрано здание в Гайд-парке. Это сооружение было бы слишком тяжелым из-за чугунных колонн, и оно не смогло бы выдержать бокового давления при ветре. Но сама мысль Бартона о том, что использование готовых элементов и модульной конструкции имеет исключительную важность для сооружения высоких зданий, была прогрессивной и практически воплотилась 30—60 годами позже, когда стали возводить чикагские небоскребы. Любопытно, что предложенные Бартоном стены из стекла и конфигурации отступов также оказались пророческими в смысле формы и высоты, позднее реализованные в архитектуре Чикаго и особенно в небоскребе Сирс архитектурной фирмы Skidmore, Owings & Merrill.

Органичность и гибкость, свойственные облику Хрустального дворца, оказались предвестниками радикального направления в японской архитектуре 60-х годов, получившего название «метаболизм». Метаболисты являются приверженцами идеи о том, что изменение есть неизбежный атрибут современной жизни, и поэтому создают здания, которые могут «расширяться» или «сжиматься» в зависимости от выполняемой ими в данный момент функции. По внешнему виду их здания непохожи на Хрустальный дворец, но им свойственна та же гибкость и изменчивость, впервые воплощенные в этом сооружении XIX в.

ВЛИЯНИЕ Хрустального дворца на архитектуру современных ему зданий было самым непосредственным. Он послужил прообразом зданий функционально нового типа — больших выставочных павильонов. Сам Хрустальный дворец был задуман для демонстрации самых больших машин, показа широкой номенклатуры изде-

лий с расчетом на присутствие огромного числа людей. Многие современные здания схожи со своим прототипом — дворцом Пакстона.

В 1852 г. в Дублине должна была состояться выставка. Для нее был построен хрустальный дворец, в основном из стекла и дерева, по проекту архитектора Г. Бенсона. В следующем году хрустальный дворец по проекту архитекторов Дж. Карстенсена и К. Гилдемайстера строится в Нью-Йорке — тоже для выставки. Затем в 1854 г. *Glast Palast* (стеклянный дворец) сооружается в Мюнхене. Его автором был инженер А. Фойт, который создал близкую копию здания в Гайд-парке не только по форме, но и по конструктивным элементам.

Некоторыми из наиболее значительных повторений Хрустального дворца были торговые пассажи и сводчатые галереи. В наиболее крупных городах в 80-х годах прошлого века имелись улицы со стеклянными сводами или пассажи с магазинами. Великолепная галерея Витторио-Эмануэле в Милане — лишь один пример из сотни подобных сооружений — до сих пор остается магнетическим центром города. Эти застекленные галереи, как правило, имеют много общего с «хрустально-дворцовой конструкцией». Настоящая связь, однако, скорее прослеживается в функциональном плане, нежели в конструктивном. Все эти сооружения используют большие застекленные площади с целью создать возможно лучшее освещение и тем самым усилить впечатление от демонстрируемых товаров, и все они имеют внутри длинные пролеты с расчетом на большие потоки посетителей.

Франция и Германия также заимствовали архитектурные принципы, заложенные в Хрустальном дворце. По его подобию в этих странах в конце XIX в. из стекла и металла возводились здания крупных универмагов. Пророческими оказались слова одного из посетителей здания дворца в Гайд-парке, который сказал, что это «и не хрустальный, и не дворец, а универсальный магазин, конструкция которого как нельзя лучше соответствует его назначению». Первый же универмаг такого типа был построен в следующем году после открытия первой Всемирной выставки — то было здание торгового центра Бон-Марше в Париже. Англичанин У. Уайтли, увидев Хрустальный дворец, был настолько вдохновлен его конструкцией, что стал разрабатывать план строительства огромных магазинов со стеклянными фасадами. Впоследствии его стали называть «универсальным торговцем», основателем универмагов в Англии.

Сам же Пакстон превзошел всех своих последователей, строивших универмаги, указав, каким образом стеклян-

ное здание Хрустального дворца может выполнять новые функции. Самым фантастическим был его проект застекленного проспекта Грейт-Викториан-уэй, послужившего прообразом величественного здания с кондиционированием воздуха в центре Манхэттана (Нью-Йорк), спроектированного архитектором Р. Фуллером. Пакстон представил свой план (чертежи не сохранились) отборочной комиссии столичного управления связи в июне 1855 г. Грейт-Викториан-уэй должен был включать железную дорогу и 11-километровый проспект, опоясывающий Лондон, и соединить все проложенные в городе железные дороги, обеспечив более быстрое передвижение по этой трассе. По замыслу архитектора, это сооружение должно было представлять собой заключенный в стеклянные стены коридор шириной около 22 м с полукруглой крышей, достигающей высоты 32 м. Здания должны были находиться по сторонам от стеклянного коридора, с тем чтобы люди могли свободно попадать в магазины, в свои дома и на работу. В то же время такое сооружение давало бы возможность людям укрываться от непогоды. Как бывший садовод, Пакстон уделял большое внимание вопросам, связанным с созданием таких условий в стеклянных зданиях, которые бы были безвредными для здоровья людей, и предложил установить системы кондиционирования воздуха в застекленных коридорах.

Еще когда первое здание дворца Пакстона было сооружено в Гайд-парке, журнал «Punch» саркастически писал: «Мы будем удивлены, если не сможем вырастить следующее поколение наших детей под стеклом, как огурцы». В самом деле, если оранжерея предназначается для культивирования природы и послужила прототипом для Хрустального дворца, то почему ее нельзя с таким же успехом приспособить для культивирования общества?

ХОТЯ и лондонский Грейт-Викториан-уэй, и Нью-Йоркский купол Фуллера еще предстоит реализовать, Хрустальный дворец остается удивительно пророческим для строительных, архитектурных и эстетических достижений XX в. Дворец, а также железнодорожные депо и мосты были показательными примерами, как развивалось в то время осознание роли и возможностей строительной науки. Они появились как раз в то время, когда техническая мысль освободилась от власти интуитивного творчества и обрела научную основу. Это был пример мирового значения, свидетельствующий о грандиозном триумфе инженерной мысли, он был одинаково значительным для развития и техники, и архитектуры.

Маленькая загадка

ОТКРЫТИЕ новой элементарной частицы поставило физиков-теоретиков в положение механика, у которого после сборки машины осталась лишняя деталь.

Эта дзета-частица, открытая физиками из организации DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron), не была предсказана теорией, поэтому ее обнаружение может в значительной мере изменить существующие представления о строении вещества. Группа, которой руководили Э. Блум из Станфордского ускорительного центра (SLAC) и Г. Бинлейн, работающий в DESY, обнаружили дзета-частицу, исследуя распад ипсилон-мезона.

Масса ипсилон-мезона эквивалентна энергии, равной приблизительно 9,5 ГэВ (миллиардов электронвольт). В некоторых случаях при его распаде образовывался фотон с энергией ~ 1,1 ГэВ и ливень других частиц, которые, по-видимому, представляют собой продукты распада короткоживущего «компаньона» фотона. Этот компаньон, масса которого равна 8,3 ГэВ, и есть дзета-частица.

Было высказано предположение, что это хиггсовская частица, существование которой было предсказано П. Хиггсом из Эдинбургского университета. Хиггсовская частица играет важную роль в объединенной теории электромагнитного и слабого взаимодействий. Однако характеристики дзета-частицы не совсем совпадают с характеристиками хиггсовской частицы. Чтобы окончательно установить природу дзета-частицы, необходимы дальнейшие исследования.

Электрон прослушивается...

СОЗДАН транзистор, настолько чувствительный, что способен «слышать» один-единственный электрон. Этот крохотный прибор с размерами $1 \times 0,1$ мкм изготовлен фирмой AT&T Bell Laboratories. Его назначение — помочь исследователям при изучении явления захвата электронов ловушками в кремниевых чипах — миниатюрных кристаллических элементах, из которых делают транзисторы.

Электрон, движущийся в транзисторе по кристаллической решетке, может захватываться дефектами структуры. Когда электроны захватываются и затем снова высвобождаются, возникает низкочастотный шум, который создает помехи в транзисторе.

По мнению У. Скопола, члена группы, разработавшей новый высокочув-

ствительный транзистор, последний позволяет детально выяснить, что происходит с одним электроном в ловушке.

Эксперименты подтвердили предположение о том, что в этом транзисторе ловушки расположены вблизи границы раздела между кремнием и окислом. Впервые были измерены также расстояние от ловушек до указанной границы раздела и энергия захваченных электронов. Дальнейшие исследования транзистора, вероятно, позволят разработать технологию изготовления более совершенных полупроводниковых микросхем.

Больше всего страдают от болезней неимущие

ГЛУБИНА спада, такого, например, каким была охвачена экономика США в 1981—1982 гг., выражается обычно в экономических показателях, однако некоторые последствия экономического кризиса проявляются не в сфере экономики, а в сфере медицины. После каждого экономического спада здоровье как отдельных граждан, так и общества в целом ухудшается.

Согласно исследованию, проведенному М. Бреннером на факультете гигиены и здравоохранения Университета Джонса Гопкинса (Балтимор, шт. Мэриленд), в последние десятилетия каждое увеличение общего числа безработных на 1% влечет за собой рост общей смертности на 1,2%.

В исследовании Бреннера, осуществленном по заказу Объединенной экономической комиссии Конгресса США, использованы экономические показатели и данные о состоянии здоровья американцев за период с 1950 по 1980 г. Бреннер и его коллеги проанализировали изменения, которые претерпели за три десятилетия уровень безработицы и другие экономические показатели, включая падение уровня деловой активности и размер доходов на душу населения. Экономическая неустойчивость рассматривалась с точки зрения ее воздействия на общий уровень смертности, число смертных случаев от сердечно-сосудистых и почечных заболеваний, коэффициент первичных обращений за помощью в психиатрические больницы, число самоубийств, официальный уровень (зарегистрированной) преступности и на число убийств.

Исследователи установили, что уровень безработицы тесно связан с каждым показателем медицинской или социальной патологии. Помимо того, повышение безработицы влечет за со-

бой рост общего уровня смертности. Увеличение числа безработных на 10% приводит к тому, что на 1,7% больше людей умирает от сердечно-сосудистых и почечных заболеваний (в 1980 г. в Соединенных Штатах Америки зарегистрировано около 17 тыс. смертных случаев от такого рода болезней), на 0,7% больше кончают жизнь самоубийством (около 200 дополнительных самоубийств), на 4,2% возрастает число тех, кто попадает в психиатрические лечебницы (около 6 тыс. новых душевнобольных), на 4% повышается число арестов (примерно 400 тыс. арестованных).

Медицинские и социальные последствия спада сказываются на протяжении довольно значительного периода времени после первых признаков

Издательство
МИР
предлагает:

Б. Карлсон
ОСНОВЫ
ЭМБРИОЛОГИИ
ПО ПЭТТЕНУ

В двух томах
Перевод с английского

Книга Б. Пэттена «Эмбриология человека» (М.: Медицина, 1959) хорошо известна специалистам. В новой фундаментальной монографии рассмотрены предмет, методы и задачи эмбриологии, репродуктивная система, основные стадии эмбрионального развития, развитие нервной системы, органов чувств, пищеварительной, дыхательной, сердечно-сосудистой и мочеполовой систем. В приложении даны материалы о развитии куриного эмбриона в период от 18 часов до 4 дней.

Предназначена для эмбриологов, гистологов, генетиков, биологов развития, врачей, для студентов, аспирантов и преподавателей биологических специальностей.

1983, том 1, 28 л. Цена 3р. 10к.
Том 2, 32 л. Цена 3р. 50к.



Издательство
МИР
предлагает:

Э. Корниш-Боуден

**ОСНОВЫ
МАТЕМАТИКИ
ДЛЯ БИОХИМИКОВ**

Перевод с английского

Очень кратко, но вместе с тем ясно и доступно изложены основные понятия и символы математики, свойства экспоненциальной и логарифмической функций, основы дифференциального и интегрального исчисления, частные производные. Математический материал иллюстрируется конкретными примерами из области биохимии, каждая глава заканчивается задачами для самостоятельного решения.

Для биохимиков, химиков и биологов, использующих математический аппарат в своих исследованиях.

1984, 7 л. Цена 60 к.

**ДИСТАНЦИОННОЕ
ЗОНДИРОВАНИЕ
В МЕТЕОРОЛОГИИ,
ОКЕАНОГРАФИИ
И ГИДРОЛОГИИ**

Перевод с английского

Излагаются проблемы, относящиеся к организации и проведению наблюдений, обработке данных и интерпретации результатов дистанционного зондирования Земли из космоса. Значительное внимание уделено применению современных средств вычислительной техники для этих целей. Приводимый справочный материал дает возможность использовать книгу как руководство при решении практических задач.

Для инженеров, аспирантов и студентов старших курсов соответствующих специальностей вузов.

1984, 41 л. Цена 4 р. 40 к.



экономического шока. Большинство кризисов характеризуется наличием трех «пиковых» стадий: первая — начальный этап спада, вплоть до достижения самой низкой точки экономического упадка; вторая — два-три года спустя после того, как кривая кризиса достигла самой низкой отметки; третья — 7—15 лет спустя после достижения «дна» экономической пропасти.

На первой стадии экономического кризиса у людей с хроническими заболеваниями происходит их обострение, что приводит к повышению смертности. Две последующие стадии характерны тем, что у людей, затронутых кризисом, многие болезни становятся хроническими.

Если резкий рост безработицы, имевший место в 1981—1982 гг., рассмотреть с учетом результатов исследования М. Бреннера, то получится, что этот рост вылился как минимум в 75 тыс. дополнительных смертей. Кроме того, в самых неблагоприятных с точки зрения здравоохранения обстоятельствах оказываются как раз те, кто менее всего способен противостоять этим обстоятельствам: группы населения с низким доходом и национальные меньшинства.

Даже в периоды благоприятного развития экономики те, кто принадлежит к различным группам населения с низкими доходами, страдают от стресса, плохого питания и неудовлетворительного медицинского обслуживания, что, как замечает Бреннер, влечет за собой увеличение заболеваемости. Экономические неурядицы очень часто углубляют неравенство условий, в которых живут бедные и богатые. Таким образом, нет ничего удивительного в том, что увеличение числа наиболее тяжелых заболеваний находится в тесной связи с углублением социального неравенства.

Например, экономическим показателем, самым непосредственным образом увязанным с числом тюремных заключений, является соотношение между уровнем безработицы среди негритянского мужского населения и уровнем безработицы среди мужчин с белым цветом кожи — чем больше несоответствие, тем выше общее число тюремных заключений. Показателем, прямо связанным с числом убийств, является соотношение между уровнем безработицы среди мужчин в возрасте от 15 до 24 лет и общим уровнем безработицы.

В исследовании высказывается предположение, что сокращение ассигнований на социальные программы, проведенное администрацией Рейгана, возможно, еще более усилило негативное воздействие недавнего экономического спада на состояние здоровья неимущих. Установлено, что сокращение размеров выплат нуждающимся семьям

с детьми привело к незамедлительному росту уровня детской смертности.

Ранняя диагностика рака

НА РАНИХ стадиях своего развития раковая опухоль представляет собой вначале всего одну злокачественную трансформированную клетку, а затем микроскопическое скопление таких же клеток, образовавшихся в результате деления той исходной клетки. Если бы существовал способ диагностировать опухоль на этом этапе, ее удаляли бы из организма человека прежде, чем она превратится в серьезную угрозу его здоровью и жизни.

Работа, опубликованная недавно в «New England Journal of Medicine» Ф. Молдофски и его коллегами из Центра по изучению рака в Фокс-Чейсе и Вистаровского института анатомии и биологии, свидетельствует о том, что выявление опухоли на самых ранних стадиях ее развития может в недалеком будущем войти в обычную практику диагностики раковых заболеваний. С помощью моноклональных антител Молдофски с сотрудниками удалось обнаружить микроскопические метастазы в лимфатических узлах больного раком толстого кишечника.

Поскольку моноклональные антитела специфически связываются лишь с определенным антигеном клеточной поверхности, их можно использовать для обнаружения клеток, которые несут такой антиген. Молдофски и его коллеги воспользовались моноклональными антителами к антигену, свойственному поверхности клеток раковой опухоли, возникающей на границе ободочной и прямой кишок («колоректальной карциномы»). Антитела поместили радиоактивным иодом и ввели внутривенно больному. Оказалось, что часть меченых антител накапливалась в лимфатических узлах больного. При внешнем осмотре и даже при рентгеновском обследовании не было обнаружено каких-либо отклонений от нормы. Однако когда хирурги удалили один из лимфатических узлов и исследовали его под микроскопом, в нем были выявлены опухолевые клетки.

С помощью моноклональных антител можно проводить диагностику рака и без введения радиоактивных препаратов в организм больного. Достаточно сделать соответствующий анализ крови. В пробирку с пробой крови пациента добавляют антитела к опухолевому антигену; антитела, связавшиеся с ними, обнаруживают путем фильтрации и анализа сыворотки. Вероятно, уже скоро в США в распоряжении врачей будут специальные наборы для подобной диагностики злокачественных опухолей.

Основное препятствие на пути к ши-

рокому применению моноклональных антител заключается в том, что их получение представляет собой очень непростую задачу. Сначала мышей иммунизируют раковыми клетками того или иного типа. Затем из животных выделяют В-лимфоциты (эти клетки и продуцируют антитела) и сливают их с миеломными клетками (бессмертными опухолевыми клетками), в результате чего получаются так называемые гибридомы. Все гибридомы исследуют, пытаясь выявить те из них, которые синтезируют антитела, связывающиеся с антигеном-мишенью. Из таких клеток выращивают отдельные клоны. Некоторые антитела из числа взаимодействующих с опухолевыми клетками, могут случайно связаться с нормальными клетками, поэтому каждое антитело необходимо проверить на специфичность по отношению к злокачественным клеткам. Кроме того, антитела могут обладать и слишком высокой специфичностью — тогда они связываются с опухолевыми клетками только одного человека. Получение хорошего клона может занять несколько лет.

Предложенный метод диагностики опухолей позволяет обнаруживать злокачественные новообразования, во-первых, на самых ранних стадиях, когда у человека еще нет никаких внешних признаков заболевания, а во-вторых, у больных, которые перенесли операцию и существует опасность появления у них метастазов. При таком способе обследования возникает, однако, и серьезная проблема. Считается, что иммунная система организма сама «узнает» злокачественные клетки и разрушает их. Если же провести диагностику рака, а затем приступить к лечению до того, как собственная иммунная система организма включится в борьбу, то может получиться так, что человек, который своими силами справился бы с болезнью, будет подвергнут вредному химио- или радиотерапевтическому воздействию, а то и хирургическому вмешательству.

Галактическое динамо

НАША Галактика — Млечный Путь — по-видимому, генерирует дипольное магнитное поле. Ф. Юсеф-Заде и Д. Чанс из Колумбийского университета совместно с М. Моррисом из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе сообщили в журнале «Nature», что в области центра Галактики в радиодиапазоне наблюдается дуга, состоящая из непрерывных волокон. Эта дуга расположена вблизи Стрельца А — огромного сложного объекта, возможно содержащего черную дыру. Непрерывные волокна дуги отделены друг от друга темными полосами и

простираются на расстояние не менее 130 св. лет; каждое волокно имеет толщину всего 3 св. года (см. ниже карту в условных цветах).

Имеются два наблюдательных факта, которые вселяют уверенность, что волокна обрисовывают силовые линии галактического магнитного поля. Во-первых, по словам исследователей, дуга — это «явно физически единое явление». Во-вторых, в двух точках вдоль волокон значительная доля радиоизлучения поляризована: направление колебаний вектора электрического поля примерно перпендикулярно оси волокон. Поляризация характерна для синхротронного излучения, создаваемого электронами, которые захвачены магнитным полем и обращаются вокруг силовых линий.

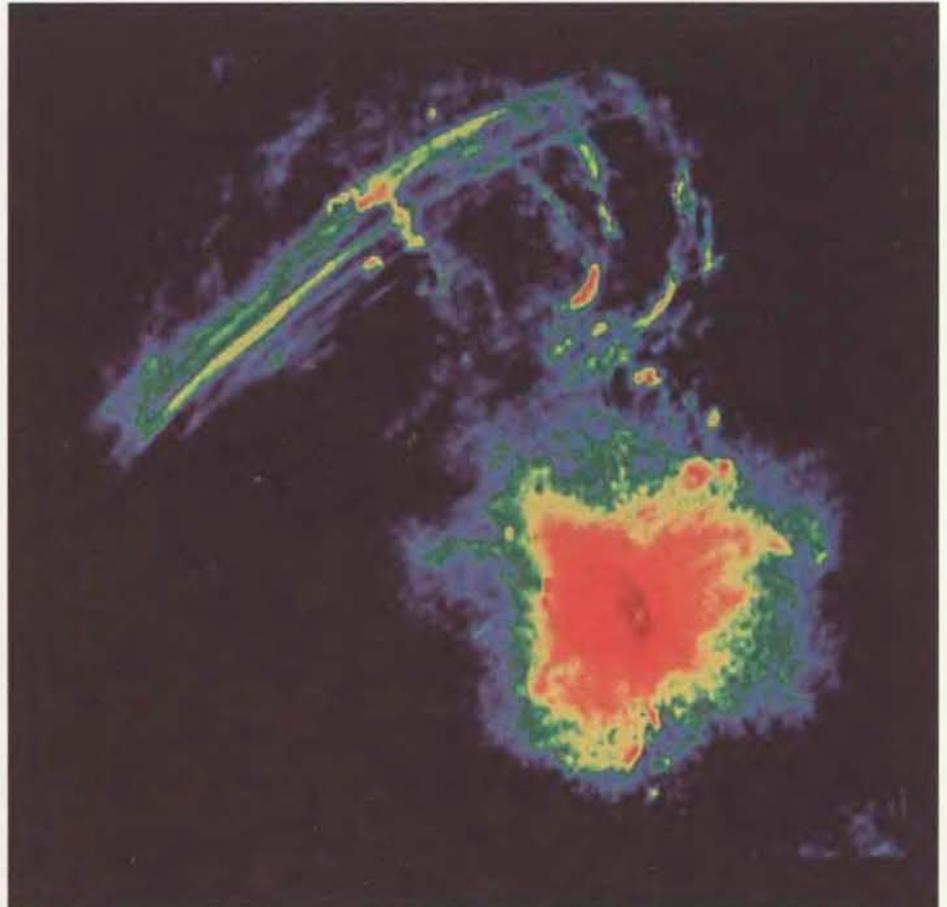
Если такое истолкование наблюдений верно, то Юсеф-Заде, Чанс и Моррис получили первое свидетельство того, что Галактика подобно Солнцу, Земле и некоторым планетам обладает дипольным магнитным полем. Вероятно, галактическое магнитное поле, так же как и эти поля, создано механизмом динамо.

Почему же такой интересный объект в хорошо изученной области неба не был открыт раньше? По мнению Юсефа-Заде, недостатком предыдущих

наблюдений, проведенных в Нидерландах, было слишком большое удаление телескопов друг от друга. Такая установка позволяет различать мелкие детали, но может исказить общую картину (на создаваемых ею изображениях, или картах, видны деревья, но не видно леса). Поэтому считалось, что радиосвечение создает не дуга, а много дискретных источников — облаков водорода, ионизованного ультрафиолетовым излучением молодых массивных звезд, расположенных внутри этих облаков. (Такое тепловое радиосвечение должно быть неполяризованным).

Юсеф-Заде, Чанс и Моррис исправили «близорукость» инструмента, установив 27 радиотелескопов большой антенной решетки (VLA) в Нью-Мексико двумя различными способами: по одной схеме расстояние между любой парой инструментов составляло 11 км, а по другой — всего лишь около одного километра. Эта установка, настроенная на длину волны 20 см, создает карту галактического центра как в больших, так и в малых масштабах.

Дальнейшие исследования могут показать, уникальны ли магнитные свойства Млечного Пути, или же другие галактики тоже генерируют собственные поля.



Карта радиоизлучения центра Галактики на длине волны 20 см, показывающая объект Стрелец А и волокна, генерируемые галактическим магнитным полем

Стоянка позднеледникового периода в Южном Чили

Около 13 тыс. лет назад в лесах Южного Чили

существовало процветающее поселение.

Благодаря хорошей сохранности стоянки

произведенные на ней раскопки позволили сделать вывод,

что культура в эпоху плейстоцена

была в Новом Свете намного выше, чем предполагали ранее

ТОМ Д. ДИЛХЕЙ

ОБНАРУЖЕНИЕ следов позднеледниковой стоянки в Монте-Верде, в лесах Южного Чили, дало возможность до мельчайших деталей воссоздать картину жизни древнейших обитателей Нового Света. Поразительное изобилие артефактов, найденных на этой стоянке, позволяет с достаточным основанием судить о том, какова была социальная система ее обитателей, какой тип хозяйства они вели и какими видами работ занимались, чтобы приспособиться к лесным условиям жизни в послеледниковый период.

С помощью радиоуглеродного анализа дерева, кости и угля, найденных на стоянке, была получена серия датировок, колеблющихся между 13 и 12,5 тыс. лет до настоящего времени (д.н.в.). Помимо каменных и костяных орудий, которые часто обнаруживают на древних стоянках Нового Света, в Монте-Верде найдена богатейшая и не имеющая равных коллекция изделий из дерева и остатков растений. Среди находок из дерева — основания построек, самых древних из всех найденных в обеих частях Американского континента. Расположение этих построек свидетельствует о четком разделении труда среди членов первобытной общины. Как показывает анализ органических остатков, жители питались обильно и разнообразно, но в их рационе преобладала в основном растительная пища. Относительно высокий уровень социального развития, достигнутый обитателями древнего поселения на территории Монте-Верде, может служить доказательством того, что в Новом Свете культура в эпоху позднего плейстоцена была значительно более развитой, чем предполагали ранее.

Прекрасная сохранность дерева и растительных материалов, социальная и экономическая структура сообщества, воссоздать которую помогают найденные предметы, а также само обна-

ружение стоянки — все это тесно связано с географическими и климатическими особенностями Южного Чили. Стоянка Монте-Верде расположена в центральной долине, определяющей ландшафт Южного Чили. Долина простирается с севера на юг, она ограничена узкой полосой тихоокеанского побережья и невысокими прибрежными горными хребтами с запада и высокой кордильерой Анд с востока.

В эпоху плейстоцена, закончившуюся между 10-м и 8-м тысячелетиями д.н.в., ледники двигались вниз по склонам Анд в центральную долину. Они несли с собой песок, гравий и камни, которые по мере потепления климата оседали на поверхности земли. Кроме того, продвижение ледника сопровождалось образованием впадин и углублений, что послужило причиной образования здесь множества озер и болот. В наши дни благодаря целой сети рек озерные воды устремляются на запад, к Тихому океану.

Сегодня в Монте-Верде довольно сухо летом и холодно, дождливо зимой. Вероятно, в позднем плейстоцене после отступления ледника климат в этой местности был примерно таким же, но несколько более холодным и влажным.

Территория вокруг Монте-Верде покрыта смешанными лесами. В течение всего года здесь в изобилии можно найти орехи, ягоды, фрукты, съедобные клубни и сочные побеги с листьями. Тут водятся мелкая дичь, пресноводные моллюски и рыба. Неподалеку от Монте-Верде на Тихоокеанском побережье, в 60 км к западу и 25 км к югу от плейстоценовой стоянки, встречается множество съедобных видов морской живности. Все эти источники пищи были доступны древним людям.

ОСТАТКИ поселения были погребены в береговых отложениях реки Чинчуапи-Крик — небольшого притока р. Маульин. В своем течении Чинчуа-

пи-Крик прорезает террасу из трех слоев. Нижний слой состоит из грубого песка и гравия, отложенных между 45 и 20 тыс. лет д.н.в. Над ним расположен слой песка и мелкой гальки, датированный 20—14 тыс. лет д.н.в. Вскоре после того как произошло отложение второго слоя, речка начала пробивать себе путь сквозь террасу; гравий и речные отложения выстилают ее дно. Поверх двух нижних слоев террасы расположен верхний пласт, состоящий из сравнительно недавних почв.

М. Пино, сотрудник Южного университета Чили, участвовавший в наших исследованиях в качестве геолога, изучил район Монте-Верде и пришел к выводу, что в те времена, когда стоянка была обитаема, топография местности мало чем отличалась от нынешней. Два нижних слоя террасы были уже сформированы. Чинчуапи-Крик, узкая и мелкая речка, не превышала 4 м в ширину и 0,5 м в глубину. Однако, из-за того что климат был более влажным, болот, вероятно, было больше, чем в наши дни.

После того как обитатели покинули стоянку, топография местности претерпела изменения, которые оказались весьма выгодными для археологов. Речка начала прокладывать себе новое русло, а в том месте, где находилось старое русло и берега, образовалось торфяное болото из почвы и гниющих растительных материалов. Оно препятствовало проникновению воздуха к культурному слою и послужило отличным средством для сохранения органических остатков. В конце концов болото заполнило оставленное русло и покрыло всю территорию стоянки.

В течение многих тысячелетий Чинчуапи-Крик оставалась в новом русле, но в 1976 г. снова изменила свой бег. Вода потекла по прежнему, заполненному торфяниками руслу, частично обнажив старые берега речки и погребенные в них остатки поселения. Они были

обнаружены в том же году археологической экспедицией Южного университета Чили в Вальдивии, где я возглавлял тогда работы, предусмотренные программой по антропологии. Вместе со мной и моими коллегами во всех стадиях раскопок стоянки принимал участие М. ван де Мале, директор Музея истории и антропологии.

Впоследствии число участников экспедиции выросло. В нее вошли 32 специалиста в таких областях знания, как геология, ботаника и палеонтология. Потребуется по меньшей мере еще один полевой сезон, чтобы полностью определить границы поселения и выяснить детали его планировки.

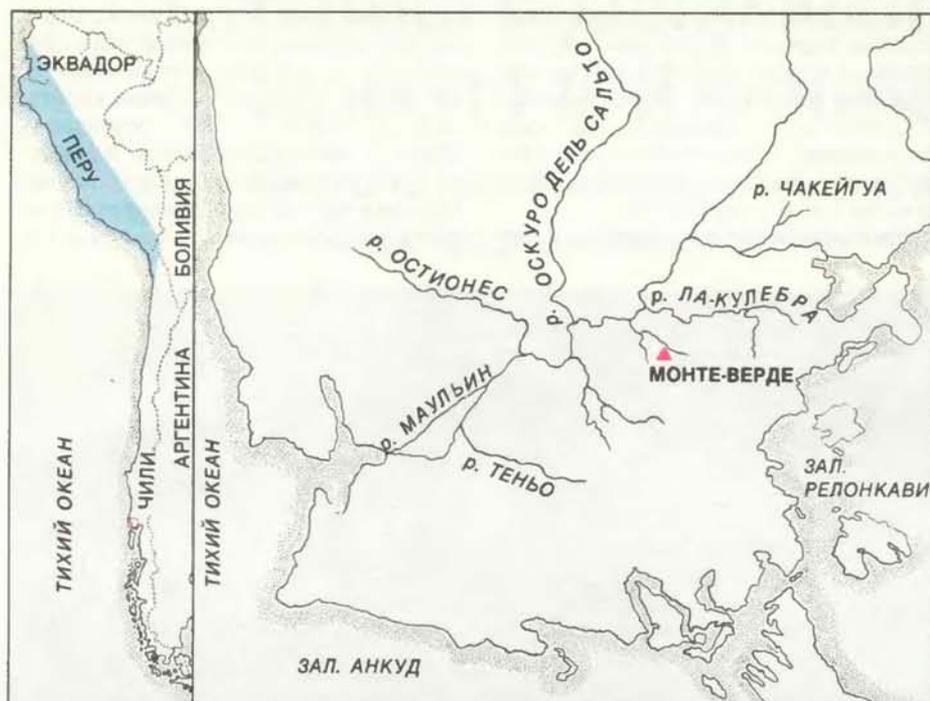
Хотя до настоящего времени была

раскопана лишь часть стоянки, разведочные шурфы, заложенные по ее периферии, позволяют предположить, что общая площадь поселения составляла 70 × 100 м. Эта территория (7000 м²) разделяется речкой Чинчиуапи-Крик на северную и южную части. Раскопки производились в основном на северном берегу речки, однако, как по-



ОСНОВАНИЕ СООРУЖЕНИЯ, напоминающего по форме птичью грудную кость, состояло из утрамбованного песка и гравия. По-видимому, оно служило опорой для полукруглого каркаса из жердей, который сверху накрывали шкурами животных. Возвышение в задней части строения соответствует небольшому выступу грудной кости. Две длинные изогнутые «ножки» ограничивают пространство, служившее входом. Все основание достигало 3,9 м в длину и 3 м в ширину (длина стрелки перед входом — 25 см). Это сооружение,

вероятно, использовалось как место для разделки туш, обработки шкур, изготовления каменных орудий или оказания медицинской помощи членам общины. Пространство перед основанием было ограничено ветками, камнями и обуглившимися веществами. Чтобы добраться до остатков этого сооружения, которые лежали на геологическом слое, относящемся к 20—14-му тысячелетию до настоящего времени, понадобилось снять несколько горизонтов почвы более позднего происхождения.



МОНТЕ-ВЕРДЕ находится в долине Южного Чили, которая с востока ограничена Андами, а с запада — прибрежными горами. Распространено мнение, что в Южной Америке постоянные поселения человека, экономика которых основывалась на сельском хозяйстве или потреблении продуктов моря, впервые возникли около 6 тыс. лет назад в Центральных Андах (закрашенный участок слева). Оседлое поселение Монте-Верде расположено гораздо южнее этой зоны, а обнаруженные на стоянке находки, как минимум, на 5000 лет древнее андских. Жители Монте-Верде, возможно, пытались одомашнивать растения, хотя на этот счет нет исчерпывающих доказательств. Судя по имеющимся данным, оседлый образ жизни развивался независимо друг от друга в нескольких районах Южной Америки. Монте-Верде находится на Чинчуапи-Крик, небольшом притоке реки Маульин (справа).

казывают предварительные исследования, остатки сооружений сохранились и на южном берегу. Площадь основного раскопа в северной части поселения составила 750 м². Она была произвольно разделена на восточную и западную части.

В восточной части обнаружены остатки 12 жилищ. Как свидетельствует конструкция их оснований, они были прямоугольными. При раскопках выявлен поразительный факт: стены хижин соединялись друг с другом, образуя два сплошных параллельных ряда жилищ. Пробные шурфы, заложенные в западной части и на южном берегу, говорят о том, что остатки многокамерных построек сохранились и там.

Фундамент жилищ выкладывался из небольших бревен и грубо обработанных досок из твердых пород древесины. Эти доски закреплялись врытыми в землю столбами. Судя по упавшим веткам и обломкам вертикальных конструкций, остовы хижин сооружались из местных деревьев твердых пород. Вдоль фундамента приблизительно через каждый метр стояли стволы молодых деревьев, которые и определяли стены жилищ. Благодаря нескольким небольшим фрагментам какого-то материала, сохранившегося на концах упавших жердей и предпо-

жительно идентифицированного как остатки шкур животных, можно сделать вывод, что сами стены делались из натянутых на жерди шкур.

Жилища варьировали по размерам от 3 × 3 м до 4 × 4,5 м, но сохраняли неизменный прямоугольный план строения. Обитатели домов, вероятно, входили в них, раздвинув служившие стенами шкуры. Внутри жилищ найдены каменные орудия, растительные и пищевые остатки, жаровни — неглубокие ямы, обмазанные глиной, с помощью которых люди обогрели хижину и разогревали ранее приготовленную пищу.

ОБИТАТЕЛИ жилого комплекса готовили пищу совместно — об этом свидетельствуют два больших очага, расположенных снаружи перед хижинами и занимающих центральное положение. В результате флотационного анализа, позволившего отделить органические вещества от земли и глины, в образцах, взятых из жаровен и с пола хижин, обнаружены уголь, съедобные семена, остатки орехов, фруктов и ягод. Возле наружных очагов были найдены три грубо выделанные деревянные ступки и несколько камней для размалывания семян, служившие, вероятно, для предварительной обработ-

ки растительной пищи перед ее приготовлением.

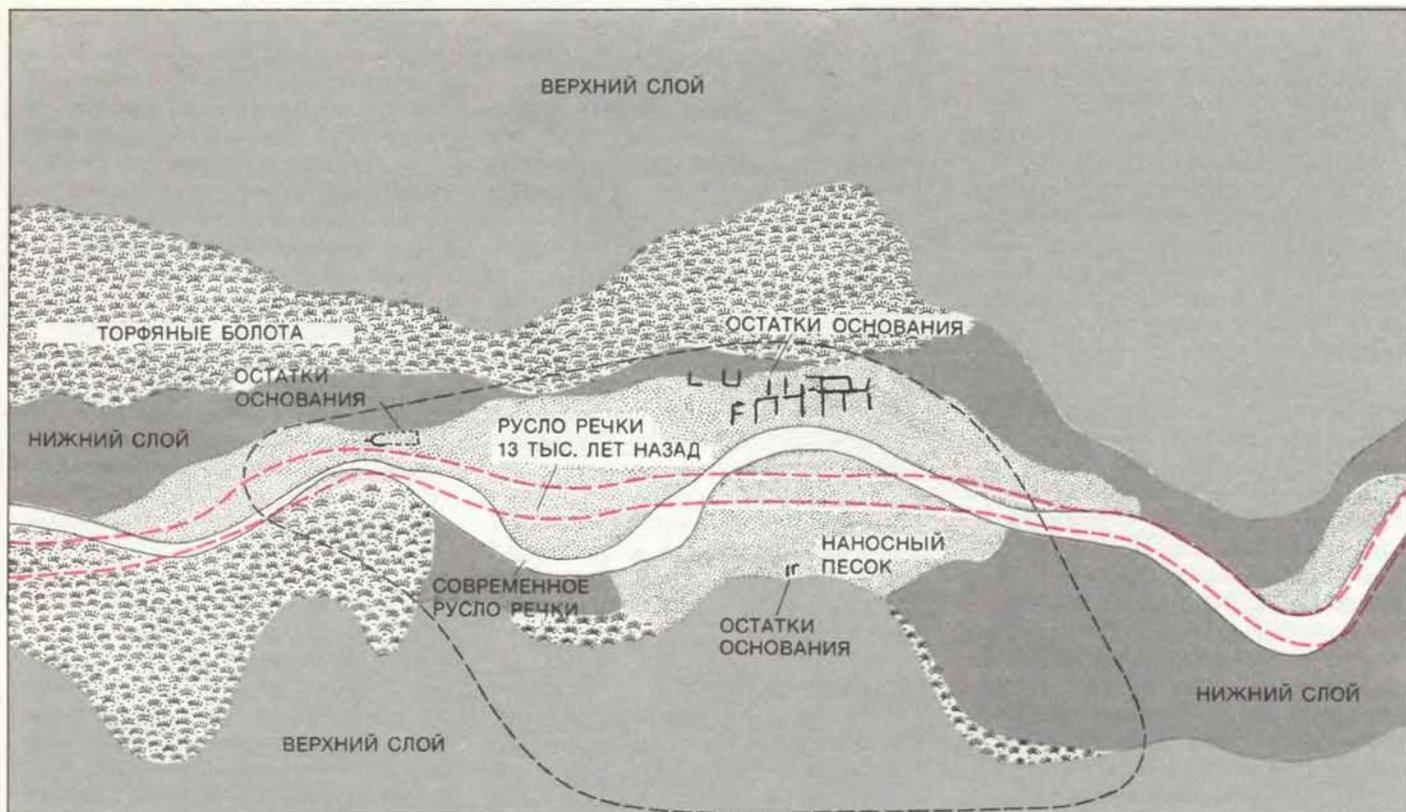
Находки из восточной части стоянки подтверждают важную роль дерева в жизни древних обитателей Монте-Верде. Обнаруженные здесь кучи бревен, других лесоматериалов и кусков дерева со следами обработки показывают, что местные жители запасали топливо и изготовляли деревянные орудия. Действительно, как свидетельствуют многие не до конца обработанные заготовки, найденные неподалеку от домов, работе по дереву уделялось много времени. Среди законченных деревянных изделий — три ручкоявки с прикрепленными к ним каменными скребками, которые, вероятно, предназначались для обработки шкур, остроконечное, напоминающее пику орудие длиной приблизительно 1,5 м, коллекция палок-копалок и других небольших предметов из дерева.

До сего дня при раскопках не было найдено человеческих костей, хотя не исключено, что могилы находятся в той части стоянки, которая еще не была тщательно исследована. Однако косвенные данные, которые позволяют судить об анатомии и физиологии древних жителей Монте-Верде, все-таки есть. Это прежде всего отпечаток левой ступни человека длиной 16 см, сохранившийся в глине возле одного из общинных очагов. На основании отпечатка ступни трудно с определенностью сказать, какова была длина тела индивидуума, но вероятнее всего предположить, что след был оставлен ребенком или подростком.

Косвенная информация о физиологии местных жителей получена благодаря копролитам (сохранившиеся фекалии), по-видимому, человеческого происхождения. Они были найдены в небольших ямах, расположенных возле общинных очагов. Копролиты нередко служат хорошим источником сведений о питании доисторических людей. Проводимый в настоящее время анализ позволит определить пыльцевое и растительное содержимое в образцах, найденных на территории поселения.

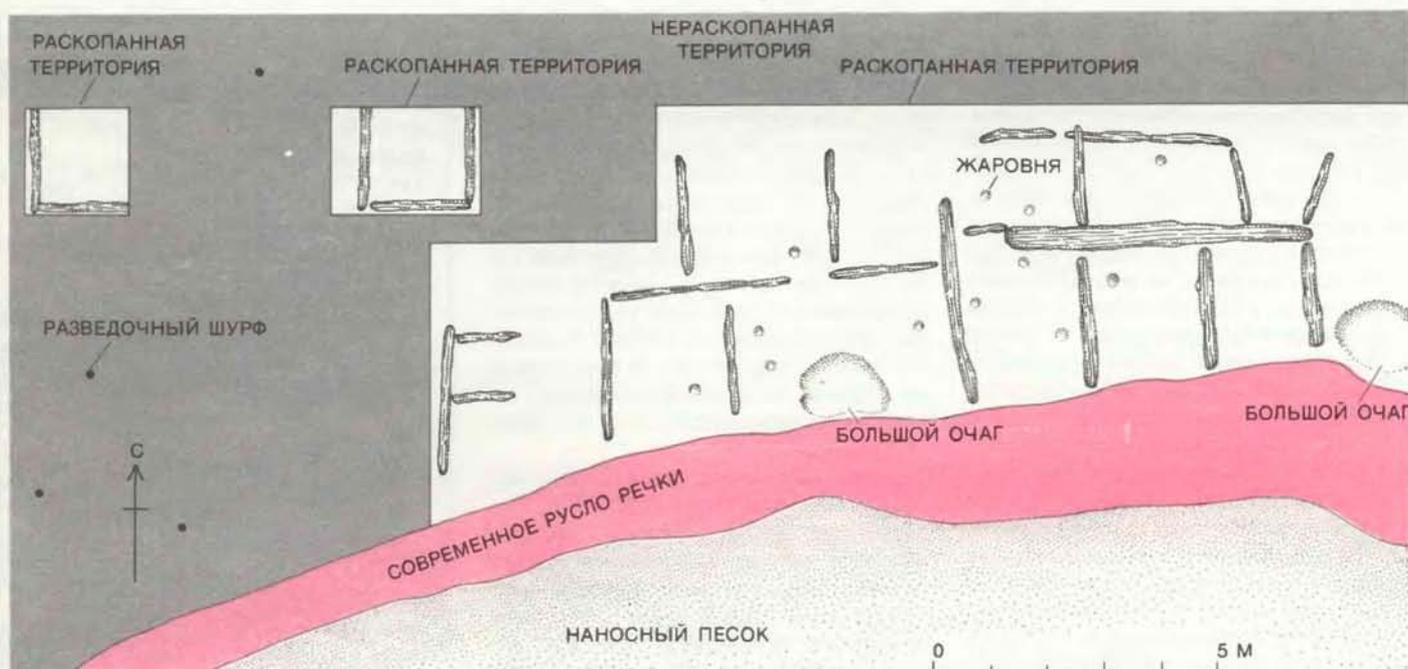
В исследуемом поселении, по-видимому, можно выделить жилые участки и участки, предназначенные для иных целей. Примерно в 30 м западнее жилого комплекса были обнаружены остатки сооружения, резко отличающегося от обычных жилищ.

Основание постройки, состоящее из плотно утрамбованного песка и гравия, по форме напоминало грудную кость птицы. Оно было вытянуто с запада на восток, так что небольшая поднятая платформа, как бы соответствующая выступу грудной кости, находилась на западной стороне, а две длинные изогнутые «ножки» простирались к востоку и пространство между их концами, напротив платформы, не бы-



ТОПОГРАФИЯ МЕСТНОСТИ, реконструированная для того, чтобы показать, как выглядела территория вокруг Монте-Верде в те времена, когда стоянка была заселена. Поселение расположено на террасе из двух слоев песка, отложенного отступающими ледниками в конце плейстоценового периода. После потепления Чинчуапи-Крик начала прорезать себе путь сквозь террасу. Позднее речка изменила свой бег. Современное русло показано сплошными темными ли-

ниями, а первоначальное — цветными прерывистыми линиями. Люди поселились на берегах речки между 13 и 12,5 тыс. лет назад. Площадь поселения составляла 7000 м² (черная пунктирная линия). Раскопки проводились в основном на северном берегу. В западной части северного берега найдены остатки жилищ; в восточной части — основание сооружения, в плане напоминающего грудную кость птицы.



ОСНОВАНИЯ 12 ЖИЛИЩ — отличительный признак западной части раскопа на северном берегу. Они делались из бревен твердых пород деревьев и закреплялись столбами. Десять из этих построек соединялись друг с другом, образуя два параллельных ряда жилищ. В полу нескольких хижин найдены плоские, обмазанные глиной ямы. Это жаровни,

которые, вероятно, использовались для разогревания пищи. Два больших очага, видимо, служили для ее приготовления. Обнаруженные в Монте-Верде постройки — это древнейшие остатки архитектурных сооружений в обеих частях американского континента.

ло замкнуто. Все основание достигало 3,9 м с востока на запад, 3 м — с севера на юг и около 0,6 м в высоту.

ВОЗЛЕ обеих «ножек» были найдены обломки деревянных опорных конструкций, поставленных с полуметровым интервалом. Вероятно, это были остатки полукруглого каркаса, который некогда покрывали шкурами. Входили в это округлое сооружение скорее всего не через проход в стене, как в обычных жилищах, а через проем между «ножками».

Перед входом в постройку находилось прямоугольное помещение, границы которого были обозначены ветками. Внутри него найдено несколько каменных орудий. Были обнаружены также жаровни, подобные тем, что имелись в жилищах. В образцах культурного слоя, взятых из жаровень и с поднятой платформы, расположенной в западном конце этого костеобразного сооружения, обнаружена удивительная смесь из кусочков шкур животных, обгоревших семян, стеблей растения тотора (*Scirpus californicus*) и пережеванных листьев болдо (*Peumus boldus*). Жители района Монте-Верде до сих пор заваривают чай из листьев болдо, считая их полезными для здоровья.

Около описанного сооружения были найдены очаги, кучи дров, деревянные изделия, каменные орудия и кости мастодонта. Они как бы образовывали большое кольцо вокруг постройки. Почти все кости мастодонта, все орудия из камня, которого нет в прилегающих окрестностях Монте-Верде, и все сложные каменные орудия с двусторонней обработкой были найдены именно в пределах этого кольца. Можно предположить, что сооружение предназначалось для разделывания мяса после охоты, изготовления каменных орудий и, возможно, какой-то медицинской практики.

Сооружение, напоминающее по форме грудную кость птицы и жилые помещения — это части поселения, которое было застроено по определенному плану и представляло собой — территориально и функционально — единое целое. Некоторые наблюдения позволяют предположить, что все постройки принадлежали одновременно одной общине, а не отдельным племенам, которые заселяли стоянку в разные периоды времени. Во-первых, основания всех сооружений покоились на поверхности одного и того же геологического слоя и, следовательно, строились в одно и то же время. Во-вторых, ни одна из построек не перекрывает другую, а это должно было произойти, если бы они строились неолдновременно разными группами людей. В-третьих, на всей территории стоянки встречаются одни и те же типы очагов, жаровен, каменных и деревянных орудий, остатков

растений и животных. Это означает, что все они по происхождению связаны с одной культурой.

Что ели обитатели древнего поселения в Монте-Верде? Благодаря участию в наших исследованиях ботаника К. Рамиреса из Южного университета Чили и палеонтолога Р. Касамикелы из Аргентины теперь об этом кое-что известно. Рацион древних людей состоял в основном из диких растений с добавлением некоторых видов мяса. Растения собирали в лесах, на соседних болотах и лугах, а также в дельте реки Маульин. На стоянке найдены и остатки пресноводных моллюсков. Костей рыб и морских раковин обнаружено не было, однако не исключено, что древние обитатели здешних мест ловили рыбу и собирали моллюсков в прибрежной зоне Тихого океана, там же разделявали добычу, оставляя кости, раковины и другие отбросы.

НА МАСТОДОНТОВ и более мелких животных охотились из-за мяса. Почти все кости животных, найденные на стоянке, относятся к скелетам 7 мастодонтов. По большей части это сломанные ребра, однако есть также несколько фрагментов черепа, зубов и длинных костей. Характер сохранившихся костных останков позволяет предположить, что туши животных убивали и разделяли за пределами стоянки и приносили домой только те части скелета, на которых было мясо. Была найдена также одна лопатка палеокамегида (предка современных камелидов, в число которых входят ламы, альпаки и викуны).

Монте-Верде — первый памятник эпохи плейстоцена на Американском континенте с таким обилием растительных остатков, что можно судить о той роли, которую в жизни обитателей этой стоянки играло сельское хозяйство. Среди находок — остатки клубней, в том числе дикого картофеля. Возможно, эта культура была уже частично одомашнена. Однако из-за того, что картофельных клубней сохранилось мало и история культивирования этого растения в Южной Америке по существу неизвестна, делать вывод, что жители исследуемого поселения занимались огородничеством, пока преждевременно.

Более важное значение имеют, по видимому, находки разнообразных съедобных семян, стеблей, листьев, фруктов, орехов, ягод и корней. Среди них растения, которые дают плоды в течение всего года, а также растения из различных природных зон. Это последнее обстоятельство свидетельствует, что обитатели стоянки заходили довольно далеко в поисках пищи. Однако то, что они использовали в пищу плоды растений, поспевающие на протяжении всего года, может служить

доказательством их оседлого образа жизни. В отличие от небольших групп охотников-собираателей, постоянно меняющих места обитания в поисках пищи, жители Монте-Верде круглый год жили в одном поселении, где в их распоряжении были богатые и надежные органические ресурсы.

Каменная технология играла важную роль в процессе обработки растительной и животной пищи. В найденных орудиях прослеживаются три технических приема: скальвание, пикетаж с последующей шлифовкой и использование галек, которые модифицировались в процессе их употребления. Орудия, изготовленные с помощью первых двух методов, напоминают изделия, встречающиеся в более поздних южноамериканских культурах. Что же касается галечной технологии, то она не имеет аналогий в обеих частях Американского континента.

При обработке техникой скола камню вначале придается грубое подобие желаемой формы, затем мастер скальвает с его поверхности чешуйки различной величины, используя орудие из камня, кости или твердых пород дерева. Скальванием можно обрабатывать одну или обе стороны изделия.

В Монте-Верде найдено 11 обработанных таким образом орудий, из них только 4 с двух сторон. Среди последних было два больших ручных рубила и два чопинга. Первые изготовлены из



РЕКОНСТРУКЦИЯ поселения Монте-Верде показывает, что оно имело заселенные и незаселенные участки. На рисунке представлен вид поселения с юга, через речку Чинчуапи-Крик. Жи-

базальта и кварцита, не встречающихся в Монте-Верде, вторые — из местного камня. Четыре орудия с двусторонней ретушью лежали среди костей мастодонта в западной части стоянки возле стросния, напоминающего по форме грудную кость птицы. Односторонне обработанные техникой скола орудия встречались в основном возле жилищ и все были изготовлены из местного камня.

Производство двусторонне обработанных орудий требует большего мастерства, чем обработка сколом с одной стороны, пикетаж и шлифовка или изготовление галечных орудий, которые были найдены в восточной части стоянки. Возможно, что различные технологические приемы практиковались разными группами людей в рамках одной общины.

При пикетажном методе мастер, делая мелкие сколы, вначале придавал целому камню грубую сферическую форму, а затем выравнивал поверхность, шлифуя заготовку другим камнем. Так делали наконечники, отбойники, зернотерки.

Среди обработанных этим способом орудий в Монте-Верде найдено 28 почти идеальных шаров, сделанных из местного тоналита и базальта. Два из них были опоясаны бороздами, вероятно, для того, чтобы можно было, привязав к ним веревку, использовать их в качестве метательного орудия во время охоты на крупных животных.

Шары без желобков, видимо, служили ядрами для пращи. Большинство камней сферической формы найдено в западной части стоянки.

С ПОМОЩЬЮ пикетажа и шлифовки изготавливались также предметы, необходимые в домашнем хозяйстве. Об этом свидетельствуют отбойники и зернотерки. В жилой и нежилой частях поселения мы обнаружили 15 отбойников, сделанных из местного гранита и базальта. 10 зернотерок лежало возле деревянных ступок и очагов вблизи жилищ. Зернотерки были изготовлены из местных пород гранита и мелкозернистого гранита, встречающегося на Тихоокеанском побережье. Обилие зернотерок и ступок подтверждает мысль о том, что растительная пища играла первостепенную роль в рационе жителей стоянки в Монте-Верде.

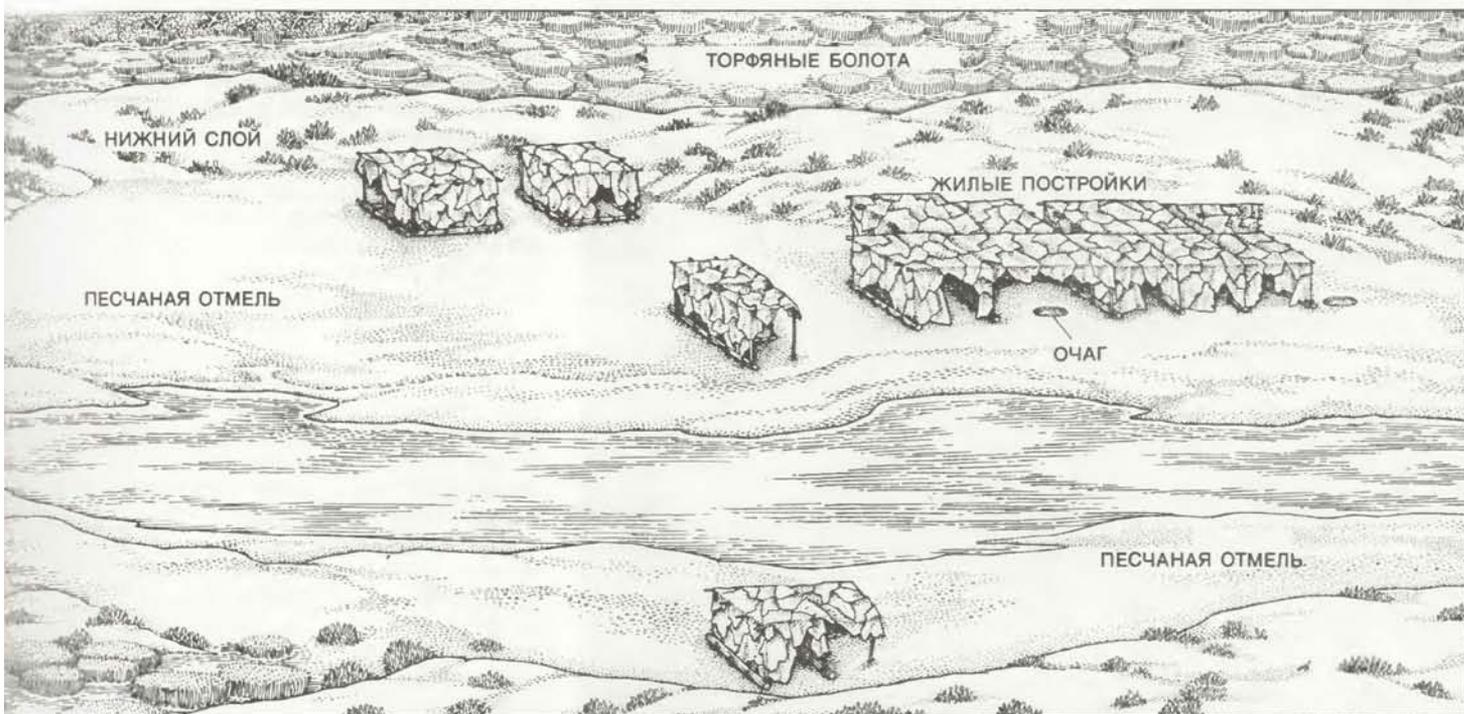
В качестве каменных орудий в большинстве случаев использовались подходящей формы камни, найденные в русле ручья, и слегка модифицированные в процессе использования. Как показала предварительная классификация, составленная автором этой статьи и М. Коллинзом, сотрудником Музея Юго-Запада в Мидленде (шт. Техас), 90% всех найденных каменных орудий представляют собой необработанные гальки. Всего их было найдено 550.

Дно речки Чинчиуапи-Крик содержит фрагменты скальных пород вулканического происхождения, таких, как

базальт, андезит и тоналит. Содержащиеся в них трещины образовались еще в те времена, когда происходило отложение пород — задолго до заселения стоянки. Некоторые из этих камней с естественно образованными сколами имели такие края, которые вполне годились для резки, нанесения ударов, выскабливания и долбления. Жителям нужно было только выбрать гальку с подходящим для той или иной цели краем. Иногда такие камни закрепляли в деревянной рукоятке, как очевидно, и было сделано с 2 орудиями. На рабочих краях большинства галек видны отчетливые следы износа.

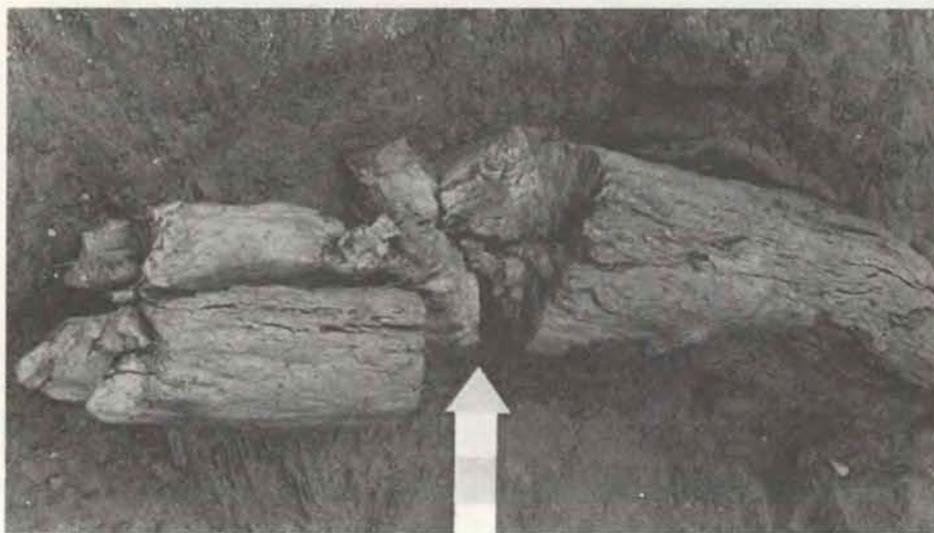
Относительно малое количество отходов в виде отщепов, по-видимому, свидетельствует о том, что обработка камня не играла в жизни первобытной общины такой важной роли, как обработка дерева. Наличие орудий, сделанных из пород камня, которые не встречались в районе Монте-Верде, может служить доказательством, что древние люди передвигались на значительные расстояния.

Помимо каменных орудий, на стоянке было найдено несколько изделий из костей мастодонта. На одном фрагменте длинной кости имелись небольшие насечки и углубления, похожие на те, которые встречались на орудиях, предназначенных для последующей обработки ретушью и обнаруженных на других позднеледниковых стоянках Южной Америки. Еще один обло-

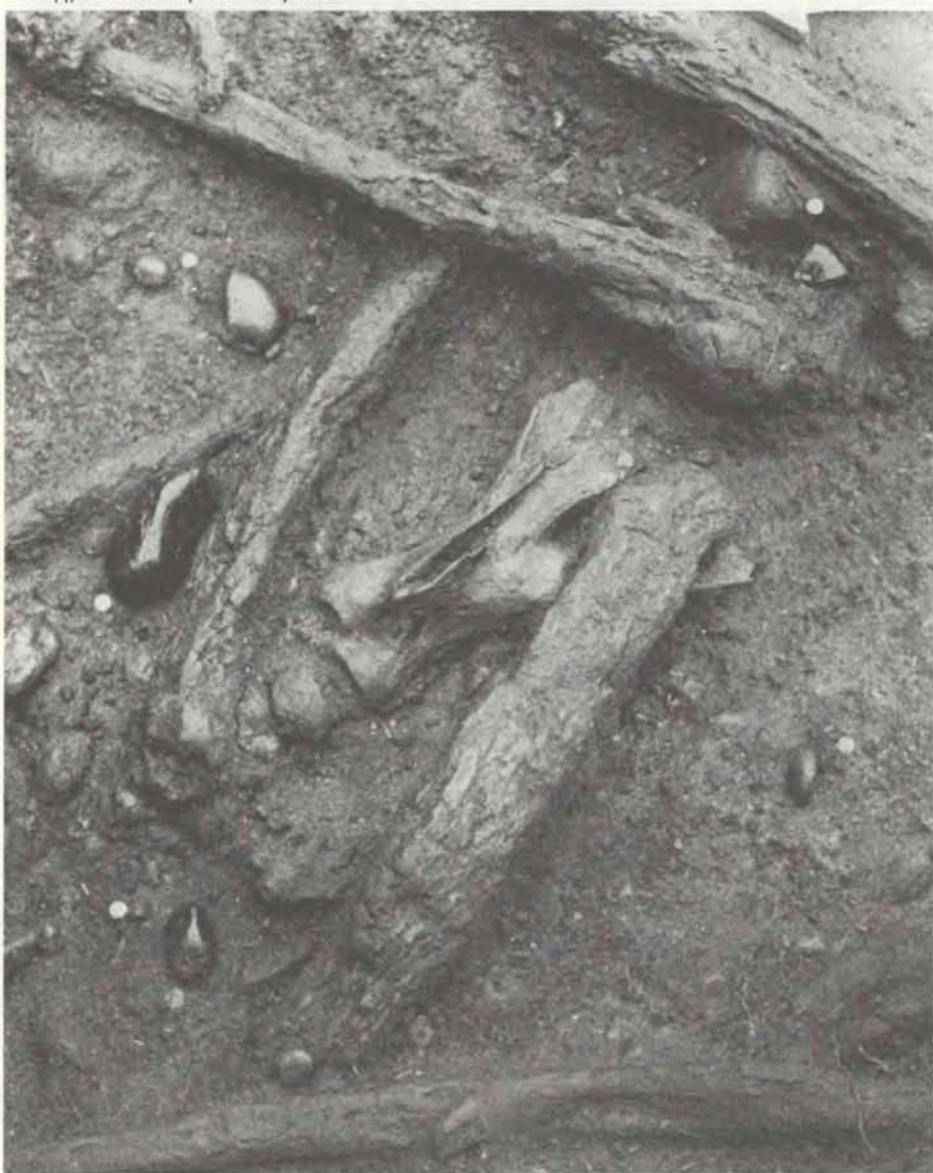


лые постройки находились в западной части северного и на южном берегу. Лесоматериалы, деревянные орудия и зернотерки найдены в основном около жилищ. Нежилой участок, где была найдена постройка в форме грудной кости птицы, находился в восточной части поселения на север-

ном берегу. Большинство костей мастодонта и сложных каменных орудий с двусторонней обработкой располагались неровным кольцом вокруг этой постройки. Кости и орудия были перемешаны с растениями, вероятно имевшими лечебное значение.



БРЕВНО, найденное в заселенной части стоянки, вероятно, было разрублено каменным топором в месте, указанном стрелкой. Бревно находилось возле одного из общинных очагов и, по-видимому, предназначалось для использования в качестве дров или строительного материала.



ЛОПАТКА ПАЛЕОКАМЕЛИДА обнаружена на полу одного из жилищ. Вокруг кости (в центре рисунка) располагались каменные и деревянные изделия, среди которых остатки каркаса хижины. Палеокамелиды — предки викуний, альпак и лам. Жители данного поселения занимались охотой, чтобы расширить свой рацион, преимущественно состоявший из растительной пищи.

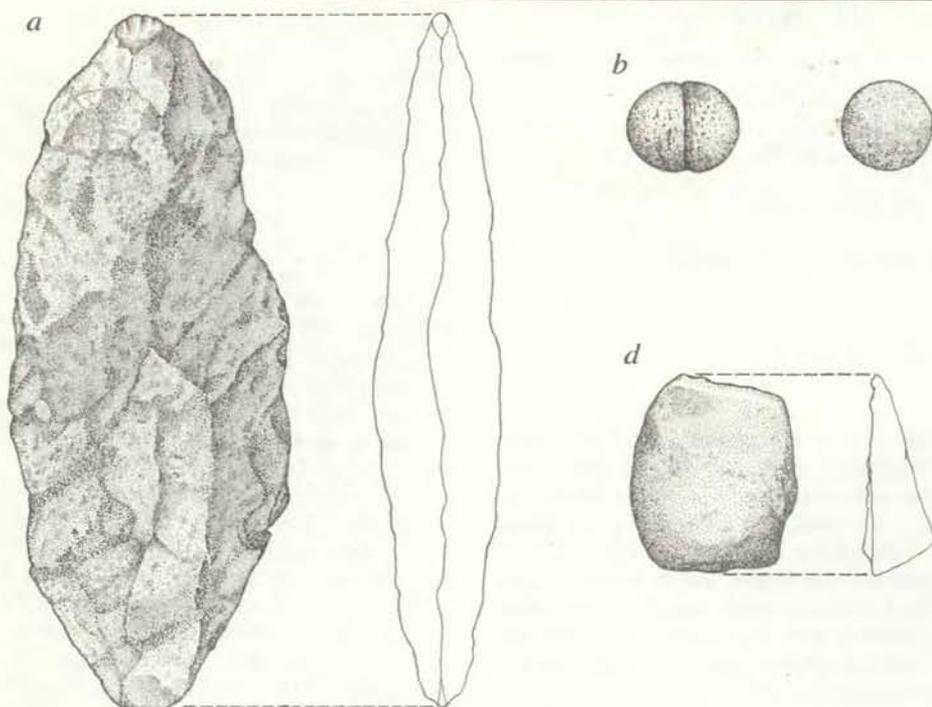
мок кости, возможно, служил наконечником копья или дротика. Два фрагмента бивня мастодонта были хорошо отполированы и имели глубокие параллельные следы износа с обеих сторон. Большинство орудий из кости найдено в западной части стоянки возле постройки, напоминающей грудную кость птицы.

МАТЕРИАЛ с берегов Чинчиуапикрик дает основания для коренного пересмотра общепринятых представлений о развитии первобытных культур в Новом Свете. Всего каких-нибудь 20 лет назад большинство археологов считали, что первые переселенцы пересекли материковый мост из Азии около 10 тыс. лет назад и принесли с собой специализированную культуру кочевых охотников на крупных животных. Однако исследования последних лет показывают, что Новый Свет был заселен 20 тыс. лет назад или еще раньше и что у первых его обитателей была комплексная экономика, включавшая и сбор растений, и охоту на крупных животных.

Одна из причин широкого распространения прежней гипотезы заключалась в плохой сохранности стоянок древностью 10 и более тысячелетий. Нарушенные слои почвы, неубедительные радиоуглеродные датировки, сомнительные орудия, смешение предметов, относящихся к различным периодам заселения стоянок, — все это существенно снижало научную ценность более древних памятников. Даже на хорошо сохранившихся стоянках изделия из камня и кости противостояли губительному действию времени гораздо успешнее, чем изделия из дерева или растительные остатки. В результате технология, связанная с охотой и разделыванием убитых животных, оказывалась намного лучше изученной, чем орудия, употреблявшиеся в домашнем хозяйстве, социальная структура или строительное искусство.

Археологические изыскания, проводившиеся до 1970 г., базировались в основном на анализе каменных и костяных предметов, подкреплявших концепцию культуры, развившейся около 10 тыс. лет назад и сосредоточившейся на изготовлении специализированных орудий для охоты на крупную дичь.

Находки 70-х годов из пещеры Пикимачай в Перу и в скальном убежище Мидоукрофт в Пенсильвании (см.: Дж.М. Адовейзио, Р.К. Карлайл. Стоянка индейских охотников с 20-тысячелетней историей заселения. «В мире науки», 1984, №7) способствовали получению данных иного рода. На обеих стоянках сохранились остатки древностью 15—20 тыс. лет. Органические остатки из Мидоукрофта показали, что сбор растений сопутствовал охоте даже в самые древние времена.



КАМЕННЫЕ ОРУДИЯ, найденные в Монте-Верде, изготовлялись с помощью трех технологических приемов. Наиболее сложные изделия, такие, как большое овальное ручное рубило, были обработаны двусторонним скалыванием (а). Округлые предметы вначале обрабатывались техникой пикетажа для придания им желаемой формы, а уже затем шлифовались. На некоторых круглых камнях имелись бороздки, вероятно, для привязывания веревок. Такие камни использовались для метания в животных во время охоты (b). Шары без желобков, видимо, служили ядрами для пращи (c). Простейший способ получения орудий заключался в том, чтобы найти камень с подходящим краем в русле ручья. Среди орудий этого типа — скребок, который, вероятно, использовался для выделки шкур животных (d).

Раскопки в Монте-Верде и данные, полученные в результате научного анализа найденных там предметов, существенно обогатили наши знания о жизни древнейших поселенцев на юге Чили. Торфяное болото, покрывшее территорию поселения, обеспечило хорошую сохранность многих предметов быта его обитателей и благодаря этому получена уникальная коллекция деревянных изделий, наиболее полная из всех, обнаруженных до сих пор в Новом Свете. Эта коллекция отчетливо продемонстрировала, что технология обработки дерева в неменьшей степени способствовала развитию древней культуры, чем производство каменных орудий. Кроме того, растительные остатки были найдены в Монте-Верде в большем количестве, чем в других местах. Они убедительно доказывают, что экономика древних людей базировалась на широкой основе, а их культура не была узко специализированной.

Другие особенности стоянки Монте-Верде обусловлены ее географическим положением. Как Пикимачай, так и Мидоукрофт представляют собой стоянки в пещерах. Их обитателям не нужно было строить жилища. Монте-Верде находится в открытой местности, и поэтому населявшие стоянку люди сооружали жилые и нежилые постройки. Характер этих сооружений свидетельствует, что от 13 до 12,5 тыс.

лет назад развитие материальной культуры Нового Света находилось на более высоком уровне, чем считали раньше.

И наконец, весьма существенно, что Монте-Верде расположено в лесу. Лесистая местность является столь подходящей средой для обитания человека, что развитие ранних стадий культуры должно было происходить именно там. Однако наиболее древние стоянки в обеих частях Американского континента находили, как правило, либо в пещерах и скальных навесах, либо на открытых равнинах и, следовательно, они не могут поведать нам о том, как жили обитатели лесов.

МНОЖЕСТВО вопросов относительно древнейших этапов истории человека в Новом Свете остается по-прежнему неясным. Не затихают споры о том, какой тип экономики развивался первым — комплексный или специализированный. Дебатируются и другие проблемы: в частности, были ли два типа культуры адаптацией к различным географическим условиям или они сосуществовали в рамках одной и той же среды обитания. Из-за малочисленности хорошо сохранившихся древних стоянок решение этих вопросов откладывается на будущее и останется предметом внимания археологов в течение ближайших десятилетий.

Издательство
МИР
предлагает:

А. Митчел, И. Гарсон
ГЛОБАЛЬНАЯ
ТЕКТОНИЧЕСКАЯ
ПОЗИЦИЯ
МИНЕРАЛЬНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Перевод с английского
Обобщающая металлогеническая работа, в которой характеристика рудных месторождений дается в связи с их тектонической позицией в соответствии с основными положениями тектоники плит. Рассматриваются принципы металлогенического анализа на основе этих новых взглядов, а также отдельные группы месторождений в зависимости от их конкретного тектонического положения: месторождения пассивных континентальных окраин, зон субдукции, зон трансформных разломов и линеаментов и т.д.

1984 г., 29 л.

Цена 4 р. 65 к.

Е. Зейболд, В. Бергер
ДНО ОКЕАНА.
Введение в морскую
геологию

Перевод с английского
Книга двух известных исследователей геологии дна Мирового океана — Президента Международного союза геологических наук проф. Е. Зейболда и д-ра В. Бергера представляет собой краткий обзор всех последних достижений мировой науки в области морской геологии. В простой и доступной форме изложены взгляды на происхождение и историю формирования структур дна Мирового океана и его континентальных окраин, рассмотрены состав, источники и различные факторы переноса осадков, распространение морских организмов, вопросы палеоокеанологии и минеральных ресурсов морского дна.

Для геологов, преподавателей, аспирантов и студентов всех геологических специальностей.

1984 г., 22 л.

Цена 3 р. 60 к.



«Чайниковый эффект», или почему жидкость, выливаемая из сосуда, течет по его наружной стенке

ДЖИРЛ УОЛКЕР

ЧАЙНИКОВЫМ эффектом называют нередко вызывающее неудобство «стремление» жидкости, выливаемой из сосуда, течь по его наружной стенке*. Чем обусловлен такой эффект? Первое, что приходит на ум, — это поверхностное натяжение, но оказывается, что важнее другой фактор — давление: на наружной поверхности жидкости оно больше, чем на внутренней.

В некоторых случаях, например при переливании кислоты, этот эффект необходимо устранить, чтобы кислота не лилась по стенке на стол. Для этого достаточно положить сверху на края сосуда стеклянную палочку-мешалку, тогда жидкость течет по палочке и, не разливаясь, попадает в тот сосуд, в который нужно.

Такой же способ можно рекомендовать и при налипании сливок или молока в кофе. Обычно и молоко, и сливки стараются лить медленно, чтобы не

пролить и не расплескать; при этом возникает чайниковый эффект. Его можно избежать, если на край молочника положить лезвие столового ножа.

Подобный эффект можно наблюдать и в фонтанах, когда вода под слабым напором переливается через края бассейна или выливается из горизонтальной трубы. Вода обтекает контур конструкции, вместо того чтобы течь в сторону в виде искривленной струи. Иногда этот эффект используют для украшения интерьеров влаголюбивыми растениями. Вода стекает по стене, в которой много выступающих камней. Стена, всегда влажная из-за чайникового эффекта обрастает мхом.

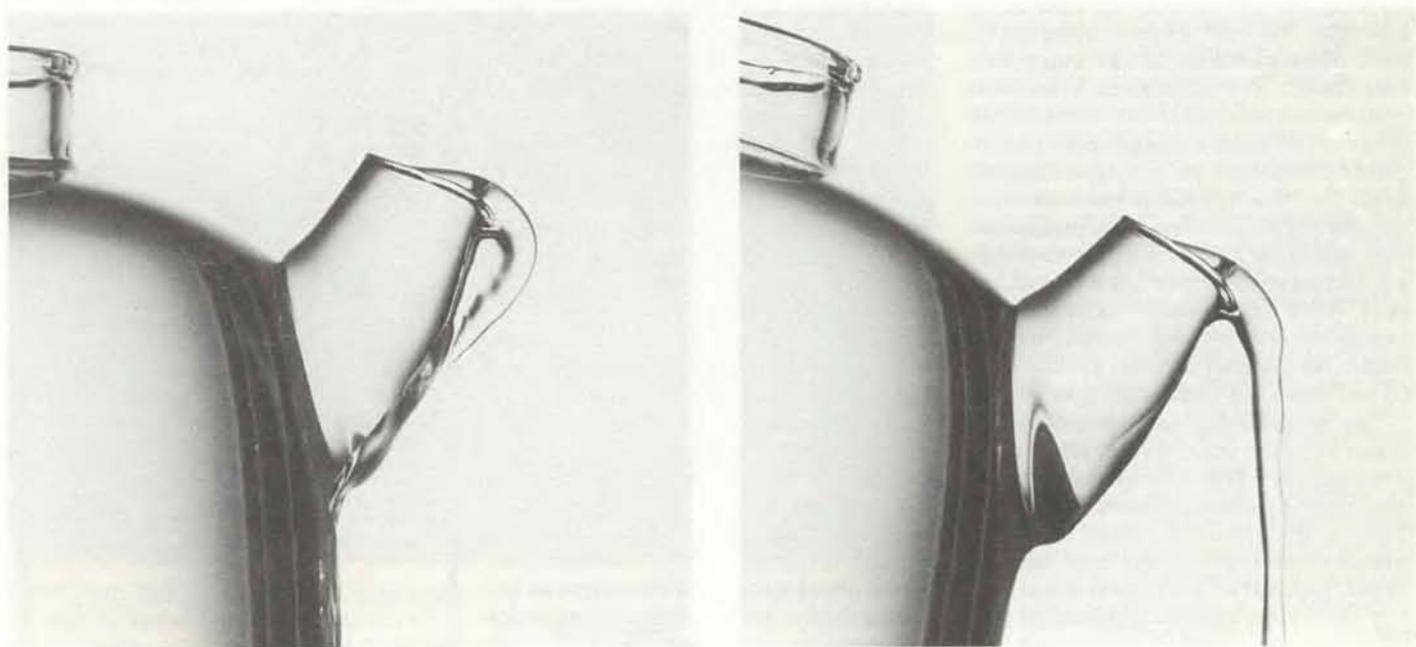
Но чаще подобный эффект нежелателен. Так, медленно стекая по нижней перекладине оконной рамы, дождевая вода может обгибать край перекладины и проникать в стык между рамой и стеной дома. Просачивание же воды в стык может приводить к повреждению стены. Чтобы этого не было, на перекладине снизу делают канавку прямоугольного сечения, параллельную стене. Вертикальные стороны канавки слишком круты, чтобы вода могла по

ним течь вверх, и она льется с рамы вниз.

Название «чайниковый» эффекту дал исследовавший его в 1956 г. М. Рейнер из Израильского технологического института. Сначала его заинтересовало явление, казалось бы, совсем из другой области. Если кубический кристалл соли опустить в воду так, чтобы его верхняя грань была расположена горизонтально, то он растворяется странным образом: его толщина по вертикали уменьшается, а ширина и положение нижней грани по глубине не меняются. Чтобы увидеть, как происходит растворение, нужно положить сверху на кристалл крупинку марганцовки, которая будет окрашивать соленую воду. Поскольку плотность соленой воды выше, чем обычной, соленая вода должна растекаться по верхней грани кристалла и затем течь в сторону от него. Вместо этого, обогнув верхние ребра куба, она течет вниз по его боковым сторонам, что, по-видимому, препятствует их растворению.

Другой опыт Рейнер провел с конической колбой, которую он помещал в перевернутом виде в большой сосуд с обычной водой. На дно колбы он направил струю соленой воды, так чтобы она проходила мимо крупинки марганцовки. Струя текла по дну колбы, обигала ее, и далее шла по наклонной боковой стенке колбы, вместо того чтобы дугой отходить в сторону. Через несколько сантиметров струя становилась неустойчивой, отрывалась от стенки колбы и шла вниз.

В следующем опыте такая же колба помещалась вверх горлышком в сосуд с концентрированным раствором соли. На дно колбы направлялась струя обычной воды. Она обигала дно и за-



Слева — вода, текущая по носу чайника (чайниковый эффект), справа — свободная струя

тем текла вверх по наклонной боковой стенке колбы, вместо того чтобы дугой идти от дна вверх. Через несколько сантиметров струя становилась неустойчивой, отрывалась от стенки колбы и поднималась к поверхности воды.

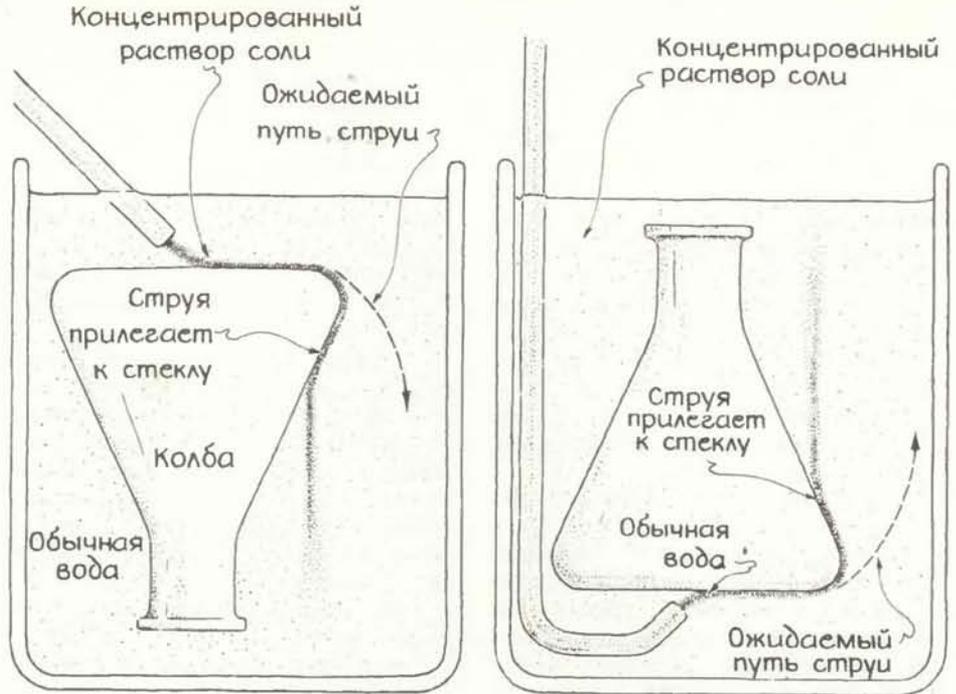
Рейнер проводил опыты и с другими твердыми предметами. Он изменял их наклон, создавал струю опускающейся холодной воды в сосуде с теплой водой, заменял округлый край дна колбы острой металлической кромкой. Что бы он ни делал, струя неизменно огибала край препятствия и хотя бы на каком-то небольшом участке прилегал к твердой поверхности.

Рейнер исследовал также течение воды, выливаемой из чайника для заварки. В этом случае среда, способная течь (вода), проходит через другую (воздух) в присутствии поверхности твердого тела. Если вода текла быстро, то от носика чайника шла дугообразная струя без капель. При медленном течении струя иногда шла по носику и отрывалась лишь от дна чайника. Иногда от самого края носика отделялась дугообразная струя, идущая назад. При некоторой промежуточной скорости потока струя разделялась: часть шла дугообразно, а часть текла по носику чайника.

Объяснение чайникового эффекта было опубликовано в 1957 г. Дж. Келлером из Нью-Йоркского университета. Графически поток изображают, проводя так называемые линии тока. Линия тока — это линия, касательная к которой в любой ее точке совпадает по направлению со скоростью движения жидкости в этой точке. Если жидкость (вода) течет над горизонтальной плоской поверхностью, то все линии тока горизонтальны и, если поток однороден, расстояние между любыми двумя соседними линиями тока одинаково. Когда на пути такого потока воды встречается невысокое препятствие, линии тока в этом месте сгущаются, что указывает на увеличение скорости течения.

На верхнем рисунке с. 94 показаны линии тока в потоке, огибающем ребро прямоугольного края и тонкую пластинку. В обоих случаях линии тока сгущаются, что указывает на увеличение скорости воды. Чем ближе к краю твердой поверхности, тем меньше расстояние между линиями тока, а значит, тем больше скорость жидкости.

Когда в какой-то части водяной струи скорость увеличивается, ее кинетическая энергия возрастает. Предположим, что струя течет под малым углом к горизонтали и, следовательно, такое увеличение энергии не может быть вызвано силой тяжести. Тогда увеличение кинетической энергии должно происходить за счет энергии, связанной с давлением в жидкости и представляющей собой одну из форм потен-



Опыты М. Рейнера с соленой и обычной водой

циальной энергии. Когда скорость в какой-то части струи увеличивается, давление в этом месте уменьшается. Полная энергия этой части струи, равная сумме ее кинетической энергии и энергии, связанной с давлением, остается постоянной.

Поскольку полная энергия воды на линии тока постоянна, повышение скорости вблизи края твердой поверхности должно сопровождаться снижением давления. Давление же воды на свободной поверхности струи всегда постоянно и равно атмосферному давлению. Поэтому когда струя достигает края, в ней существует разность давлений: на свободной поверхности — атмосферное давление, а вблизи края — пониженное давление. Эта разность давлений и заставляет струю огибать край твердой поверхности.

Струя воды несет импульс (количество движения), равный произведению ее скорости на массу. Если выливать воду из сосуда быстро, то ее импульс достаточно велик и разность давлений у края сосуда не может заставить воду огибать его. Вода льется дугообразной струей через край, как обычно. Но при меньшем импульсе (при меньшей скорости потока) разность давлений оказывается достаточной для того, чтобы заставить струю круто повернуть.

Рассмотрим теперь струю, обогнувшую край пластинки. Келлер обнаружил, что струя может течь по нижней стороне пластинки. В этом случае все линии тока тоже горизонтальны: следовательно, векторы скорости на разной глубине параллельны и одинаковы по величине. И все-таки в этом случае существует разность давлений на разной глубине. В нижней части потока

(на свободной поверхности струи) давление равно атмосферному, а в верхней (у пластинки) — меньше атмосферного.

Чтобы понять, как появляется разность давлений, рассмотрим бассейн со стоячей водой. На поверхности воды давление равно атмосферному; под поверхностью оно должно быть больше атмосферного, так как добавляется вес воды. Добавочное давление возрастает с увеличением глубины.

Когда вода течет по нижней стороне горизонтальной пластинки, давление в нижней части потока должно быть больше, чем в верхней (соответственно весу воды, находящейся между этими двумя уровнями). Поскольку давление на нижней границе потока равно атмосферному, давление на его верхней границе должно быть меньше атмосферного. Разность давлений прижимает поток к пластинке.

Такое течение неустойчиво и струя не может бесконечно долго течь по нижней стороне пластинки. Небольшие возмущения быстро возрастают, и струя отрывается от пластинки. Келлер установил, что по нижней стороне пластинки струя может течь на расстоянии нескольких сантиметров.

Если пластинка наклонена вниз, то струя дольше не отрывается от нее, поскольку теперь сила тяжести не перпендикулярна струе. К тому же и малые возмущения возрастают не столь быстро. Так течет вода по носику чайника при чайниковом эффекте.

Струя может течь и вверх снизу по слегка наклоненной поверхности. Но через несколько миллиметров ее движение замедляется под действием силы тяжести. Тогда она начинает либо собираться в растущие и падающие кап-

ли, либо колебаться так сильно, что отрывается от поверхности пластинки.

Для такого сосуда, как молочник, самое главное — придать правильную форму краю его носика. Если молоко может обогнуть его край и течь в горизонтальном направлении или вниз, то чайниковый эффект неизбежен. Если же придать краю носика такую форму, что, обогнув край, молоко будет течь круто вверх, то чайникового эффекта не будет даже при самых малых скоростях потока. Когда молочник имеет носик с неправильной формой края, единственный выход — положить на срез носика нож. Тогда молоко будет стекать по лезвию ножа.

С чайниковым эффектом сходен эффект Коанды, названный по имени открывшего его румынского инженера Г. Коанды. Иногда эффектом Коанды называют чайниковый эффект, но обычно под эффектом Коанды понимают два отдельных явления. Когда струя жидкости или газа, выходящая из прямоугольного отверстия, встречается на своем пути невысокий выступ, она может, обогнув его, течь по нижней стенке. Это объясняется увлечением воздуха из пространства между струей и выступом. Я не думаю, что такое явление существенно в чайниковом эффекте.

Иногда под эффектом Коанды понимают «облегание» струей плавно искривленной поверхности. Предпо-

жим, что мы направили горизонтальную струю воды на обточенный морем камень-голыш. Когда его поверхность, искривляясь, начинает уходить от струи, под прилегающей к ней поверхностью воды возникает частичный вакуум. Поскольку свободная поверхность струи остается под атмосферным давлением, разность давлений поперек струи прижимает ее к камню. Это явление очень похоже на чайниковый эффект.

Я провел опыт, подобный опыту Рейнера с солью. В сосуд с теплой водой я опустил кубик льда, наклоненный так, что вода, появляющаяся при его таянии сверху, должна была стекать с верхней его грани. (Образующаяся при таянии льда вода опускается вниз, так как ее плотность больше плотности теплой воды.) На верхнюю грань кубика я нанес каплю пищевого красителя, чтобы видеть, как течет жидкость. Струя огибала нижнее ребро кубика и на участке в несколько миллиметров текла по нижней его грани, прежде чем оторваться от нее и направиться вниз к дну сосуда.

После этого я проделал опыты со струей воды, выливающейся из прозрачного пластмассового сосуда («соусника», см. рисунок на с. 95). В такой соусник сливают жидкость, остающуюся на сковороде после поджаривания мяса, ждут, когда жир соберется в один слой на поверхности, и за-

тем сливают из-под слоя жира мясной сок. Для этого соусник снабжен носиком, идущим от самого дна, так что, когда его наклоняют, в первую очередь сливается жидкость из нижнего слоя.

Я закрепил такой соусник в кольцевом штативе, установленном в раковине на кухне так, чтобы вода из крана текла в него, а затем выливалась из его носика. Угол наклона можно было регулировать. Кроме того, я мог регулировать скорость течения воды в соусник и скорость потока через его носик.

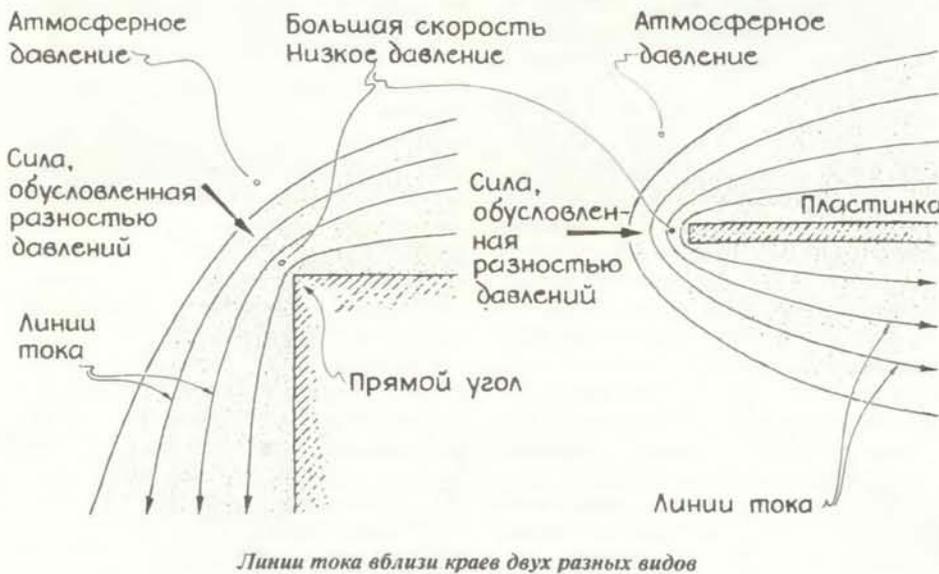
Сначала я наклонил соусник на 45° и пустил воду довольно быстро. Вода лилась из носика, как обычно, изогнутой струей. Когда я уменьшал скорость потока, струя все больше и больше приближалась к соуснику и с некоторого момента, обогнув край носика, лилась дугообразной струйкой, направленной в обратную сторону. При дальнейшем уменьшении скорости потока струя, обогнув край носика, шла вниз по носику, не отрываясь от него, до самого дна. Струя, текущая по поверхности носика, была довольно стабильна.

Чтобы следить за течением, я впрыснул в соусник несколько капель пищевого красителя. Течение было заметно в основном в верхней части носика. В нижней его части вода почти не двигалась. Переливаясь через край, она очень быстро перемешивалась, так что я не смог заметить различий в скорости здесь или дальше в струе.

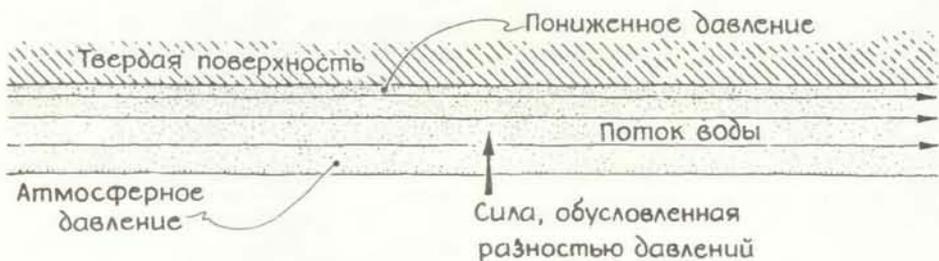
Когда установился чайниковый эффект, струя, идущая снизу по носику, изменила свою форму. Около края был довольно большой, но узкий «горб». Если я медленно увеличивал скорость потока, то «горб» увеличивался и начал колебаться. С носика часто срывались капли, но в основном вода текла вниз по носику. Я «позондировал» иглой поток вблизи края носика. «Горб» и остальная часть струи были устойчивы.

Тогда я стал медленно увеличивать струю воды из крана. Водяной «горб» превратился в «шнур» приблизительно круглого сечения, который, сделав петлю, возвращался к носику соусника на расстояние несколько больше сантиметра и переходил в широкую тонкую струю. Между шнуром и носиком оставалась тонкая пленка воды. Потрогав пленку иглой, я не вызвал никаких изменений ни в шнуре, ни в тонкой струе ниже шнура. Вода в пленке казалась неподвижной. В нижнем конце петли шнура были неподвижные «морщины». Я стал постепенно увеличивать скорость потока воды. Морщины стали более резко выраженными, и шнур вдруг оторвался от носика, образовав обычную дугообразную струю.

Подобные неподвижные морщины можно наблюдать в тонком слое текущей воды и в других условиях. Под-



Линии тока вблизи краев двух разных видов



Сила, удерживающая «перевернутый» поток, согласно Дж. Келлеру

ставьте под тонкую струю воды, текущей из крана, что-нибудь плоское и постепенно поднимайте плоскую поверхность. Когда она приблизится к крану, вы увидите, что появились «морщины». При дальнейшем приближении к крану они становятся еще более заметными и вызывают большие колебания диаметра струи.

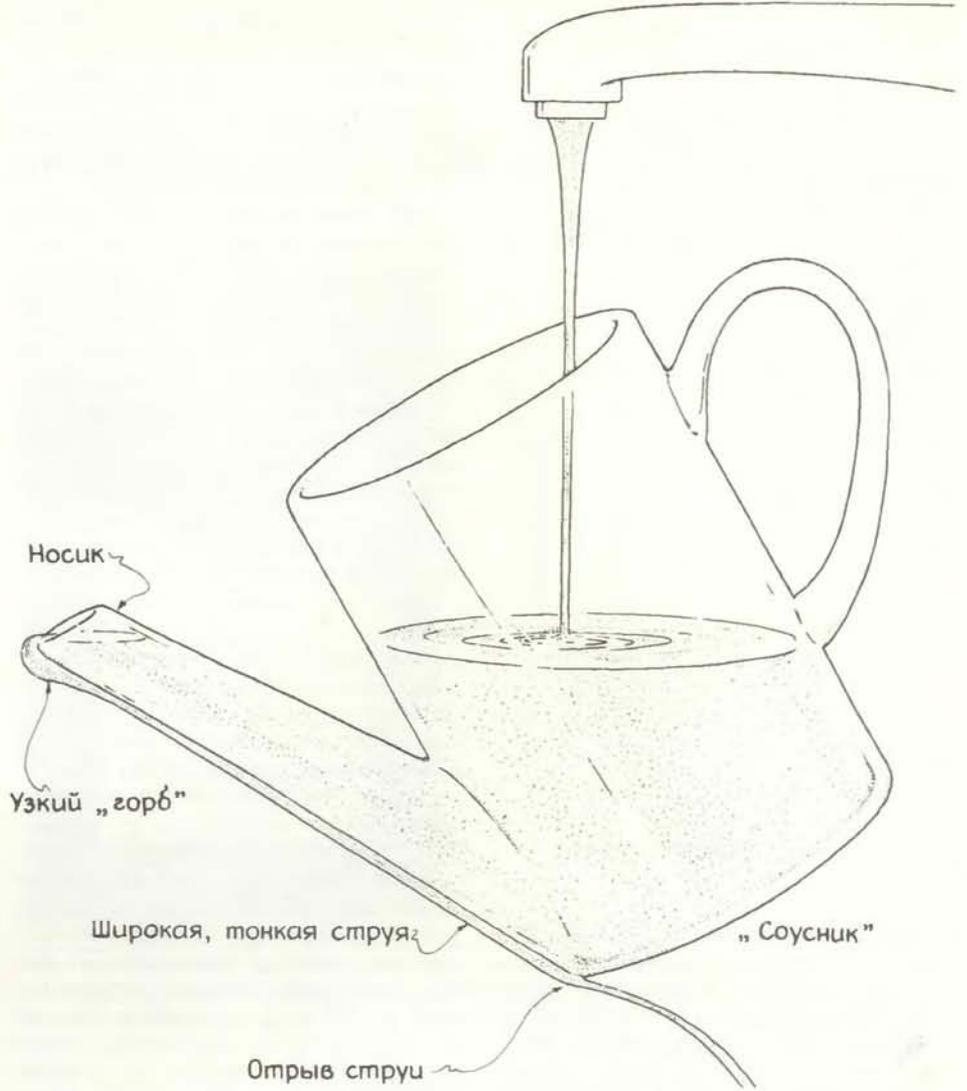
Такие волны исследовал когда-то Рэлей. Они неподвижны потому, что бегут по струе воды вверх точно с такой же скоростью, с какой вода в струе падает вниз. По-видимому, такого же рода стоячая волна возникает в тонком водяном шнуре, петлеобразно возвращающемся к носику соусника, из-за того, что шнур «ударяется» о носик.

При сравнительно низкой скорости потока, когда вместо шнура был горб, струя иногда столь сильно колебалась, что отрывалась от носика. Но стоило провести пальцем по краю носика, как она снова «прилипла» к нему. При более высокой скорости потока, при которой струя имела вид шнура, делавшего петлю, такой фокус не получался.

Горб за краем носика возникает, вероятно, по тем же причинам, что и в горизонтальном потоке воды. Когда в горизонтальном потоке оказывается невысокое препятствие, над этим препятствием или сразу же за ним возникает водяной горб. Над препятствием сгущаются линии тока соответственно увеличению скорости течения. Скорость течения может стать сверхкритической; это означает, что вода течет быстрее, чем могут бежать под ней волны. На заднем склоне горба течение становится докритическим. Здесь часто возникает турбулентность.

Нечто подобное происходит, по-видимому, и в струе воды, огибающей край носика. Край — это препятствие, сгущающее линии тока. На свободной поверхности воды образуется горб, расположенный за краем носика. Ниже горба вода замедляется, образуя широкую, но тонкую струю, текущую снизу по носику. Если скорость течения достаточно велика, то в нижней части горба течение оказывается турбулентным и от него отрываются капли. Остальная часть струи «подчиняется» давлению, прижимающему ее к носику, о котором говорил Келлер.

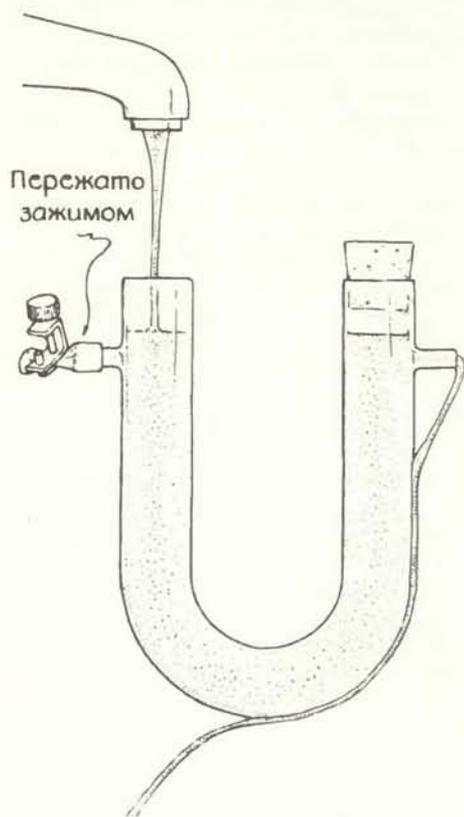
Если чуть-чуть увеличить скорость потока, то разность давлений у края носика окажется недостаточной для того, чтобы полностью прижать струю к краю. Вода, почти оторвавшаяся от носика, сжимается силами поверхностного натяжения и под их действием принимает форму шнура приблизительно круглого поперечного сечения. Шнур свисает вниз, но делает петлю из-за тонкой водяной пленки, которая остается между ним и носиком. Натяжение пленки возвращает шнур к носику, где струя замедляется и расширя-



Приспособление для исследования чайникового эффекта



Разные формы течения при наличии чайникового эффекта



Опыт с U-образной трубкой

ется. Петля довольно неустойчива. Если шнур полностью оторвется, то его не удастся вернуть, проведя пальцем по носику, так как при этом может образоваться тонкая водяная пленка, которая могла бы его удерживать. Стоит отвести палец, как силой течения шнур отбрасывается вперед в виде обычной изогнутой струи.

Некоторые думают, что чайниковый эффект можно устранить, помазав носик чайника снизу маслом. Я попробовал помазать (маргарином), но ничего этим не добился. Стерев маргарин, я установил соусник так, что его носик был приблизительно горизонтален. Если вода текла медленно, то струя

огибала край носика и текла по носику снизу один-два сантиметра. Далее она отрывалась в виде струи, направленной назад. Сразу же за краем носика был узкий (несколько миллиметров) горб. За горбом струя принимала форму широкого тонкого слоя воды.

При очень малой скорости потока струйка воды на нижней стороне носика начинала пульсировать — по ней пробегали одиночные волны. В точке отрыва движение воды настолько замедлялось, что образовывались висющие капли. Каждая пульсирующая волна добавлялась к капле, заставляя ее падать. Но сначала волна «толкала» каплю, вынуждая ее немного сместиться вниз по носику. После отрыва капли оставшаяся вода возвращалась к верхнему концу носика и лишь с новой пульсирующей волной опять шла вперед.

Далее я установил соусник так, чтобы край его носика был расположен горизонтально. При малых скоростях потока вода огибала край носика, образовывала горб и затем переходила в широкую сплюснутую струйку. Когда я увеличивал скорость потока, возникала петля, она увеличивалась, и в конце концов струя отрывалась от носика. Но не вся вода переходила в оторвавшуюся струю. Частично она продолжала течь снизу по носику. Между струей и слоем воды на носике образовывалась короткая узкая водяная пленка, на которой были видны частые стоячие волны. Вода отрывается от носика тогда, когда ее импульс достаточен для преодоления разности давлений по глубине потока, существующей у края носика. По-видимому, часть воды теряет значительную долю своего импульса, проходя через край носика. Поэтому она может стекать вниз по носику так, как объяснял Келлер.

Я проводил также опыты с U-образной трубкой, снабженной боковыми отростками. Один ее конец был закрыт пробкой, а другой я подставил под струю воды из крана. Вода вытека-

ла через боковой отросток закрытого колена трубки. Очень плавно регулируя скорость потока, можно было добиться того, что вода лилась из бокового отростка струйкой, направленной назад, и, дойдя ниже до трубки, шла по ее поверхности. Такая форма струи неустойчива, струя почти сразу же подтягивалась вверх и обтекала весь нижний контур бокового отростка и основную трубку.

Мне захотелось узнать, насколько далеко может течь вода по нижней стороне не очень круто наклоненного предмета. В своем саду я установил двухметровую металлическую пластину, наклонив ее на 45° к вертикали. К ее верхнему концу я привязал снизу шланг для полива. Отрегулировав скорость потока воды, я добился того, что вода струйкой текла снизу по всей длине пластины. Иногда она огибала боковой край металлической пластины и текла по ней сверху. Иногда струйка (и на нижней, и на верхней стороне пластины) медленно извивалась, как живая змейка.

Такие же опыты я проделал с тонкими металлическими, стеклянными и пластмассовыми стержнями, наклоненными на некоторый угол. На них я направлял струйку воды из крана, отрегулировав его так, чтобы она была тоньше стержня. Если струйка падала на стержень сбоку, то она шла по его нижней стороне, а затем обходила его несколько раз спиралью. Она никогда не шла вверх (от раковины), но в некоторых местах проходила горизонтально.

Спиральная форма струи обусловлена кривизной поверхности стержня. Поскольку разность давлений по глубине струи заставляет ее следовать по искривленной поверхности, она огибает стержень сначала снизу, а затем и сверху. Такое огибание продолжается дальше по всей длине стержня. Струя перестает идти по спирали, если взять стержень большего диаметра (наклоненный на тот же угол). Тогда струйка начинает двигаться по спирали, но, сделав петлю, возвращается на нижнюю сторону стержня и идет дальше вниз в виде «перевернутого» потока.

В своем последнем опыте я подставил под струйку воды, текущей из крана, круглый мерный черпачок. Дно черпачка было вертикально, вода падала на черпачок сбоку. Струйка шла по его боковой поверхности, огибая ее, до самого низа. Здесь она, прежде чем оторваться, поднималась вверх на небольшое расстояние. Очевидно, что разность давлений, удерживающая струйку в состоянии «перевернутого» потока, достаточно велика для того, чтобы вода действительно могла течь вверх, пока под действием силы тяжести она не замедлится и не оторвется от поверхности черпачка.



Струйка, обвивающая спиралью стержень

Опыт с черпачком

Издательство МИР предлагает:

И. Мадсен, Р. Милгрэм

**КЛАССИФИЦИРУЮЩИЕ ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ ПЕРЕСТРОЕК
И КОБОРДИЗМОВ МНОГООБРАЗИЙ**

Перевод с английского



Книга известных математиков И. Мадсена (Дания) и Р. Милгрэма (США) посвящена важному разделу современной алгебраической топологии, имеющему фундаментальное общематематическое значение. Она является

итогом двадцатилетнего периода решения труднейшей проблемы классификации структур на многообразиях.

Для математиков различных специальностей, алгебраистов и топологов.

1984, 14 л. Цена 2 р. 10 коп.



Крупномасштабные ирригационные системы; калибровочные теории; метод мысленного моделирования в психологии; живое наследство

ФИЛИП MORRISON

ПЕРЕБРОС ВОДЫ НА БОЛЬШИЕ РАСТОЯНИЯ (ПРИМЕР СОВРЕМЕННОГО КИТАЯ И МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ). Под редакцией Э. Бисуоза, З. Даканга, Дж. Никума, Лиу Чангмина

LONG-DISTANCE WATER TRANSFER: A CHINESE CASE STUDY AND INTERNATIONAL EXPERIENCES, edited by Asit K. Biswas, Zuo Dakang, James E. Nickum and Liu Changming. Published for the United Nations University by Tycooly International Publishing Limited, distributed in the U.S. by UNI-PUB, 205 East 42 Street, New York, N.Y. 10017 (\$ 65; paperbound, \$ 37.50).

КНИГА посвящена ирригационным системам прошлого и настоящего. Значительное место в ней отводится довольно крупному современному китайскому проекту. Начало его осуществлению должен положить канал, по ширине не уступающий Саскуэханне*, который направит воды Чанцзян (Янцзы) в засушливые районы Северного Китая. Цель создания этих сооружений та же, что стояла перед человечеством тысячелетия назад: повысить плодородие земель.

В этой не совсем обычной книге рассматриваются точки зрения китайских и иностранных специалистов на самый широкий круг проблем, связанных с реализацией проекта. Приблизительно четверть книги посвящена описанию современного опыта многих стран в области сооружения ирригационных систем. Не менее чем в двух десятках статей анализируется китайский проект во всех аспектах — от конкуренции между различными провинциями до проблемы выживания мальков лосося, которые, кстати сказать, обычно благополучно преодолевают вращающиеся турбины. Технические проблемы освещены довольно поверхностно: приводится подробная карта русла канала, однако не указывается ни его поперечный разрез, ни приблизительная стои-

мость его сооружения. В разделе под заголовком «Каждая медаль имеет две стороны» подробно исследуются возможные результаты и последствия осуществления проекта.

Янцзы — самая полноводная из всех рек умеренного пояса, и потому она открывает перед авторами проекта необычайно широкие возможности. По объему воды, доставляемой к морю, ее превосходят лишь Амазонка и Конго, питаемые влагой тропических лесов. Попутно отметим, что величайшая река Северной Америки Миссисипи с притоком Миссури по величине стока занимает лишь седьмое место в мире. К югу от Янцзы расположены теплые влажные районы, где каждая низина превращена в рисовое поле. На противоположном ее берегу раскинулась Великая Китайская равнина, простирающаяся от Нанкина до Пекина. Именно здесь, на плодородных землях, образованных илстыми наносами своеобразной Хуанхэ (Желтой реки), и зародилась китайская цивилизация. Эта неоднократно менявшая свое русло река ныне течет почти параллельно своей старшей сестре, но на 500 км севернее. И в наши дни на огромной равнине площадью в 3—4 сельскохозяйственных штата США, почти целиком распаханной под поля, огороды и сады, проживает пятая часть населения Китая.

Следует сказать, что получить хороший урожай в этих местах нелегко. Основная сельскохозяйственная культура этого региона — озимая пшеница — высевается осенью и после относительно суровой зимы успевает созреть до начала сезона дождей. Часто весенние засухи наносят посевам серьезный ущерб. Еще большую угрозу для урожая представляют неожиданные летние дожди, иногда кончающиеся катастрофическими наводнениями, в результате которых, согласно письменным источникам, крупные реки не раз меняли свое русло. В этом районе много ирригационных сооружений в виде колодцев, число которых достигает сотен тысяч, водохранилищ или каналов, по которым вода отводится из рек. Хуанхэ, Хуайхэ и Хайхэ взяты под стро-

гий контроль, и тем не менее часто меняющийся нестабильный сток всех рек северных равнин меньше, чем сток Янцзы.

По одному из вариантов проекта новая «река» в провинции Хэнань, по полноводности не уступающая Саскуэханне, будет брать свое начало из уже существующего водохранилища, связанного с Янцзы в ее среднем течении, и потечет на север в направлении Пекина вдоль возвышенных районов к западу от равнин. Глубина канала в его верхнем течении будет 4,5—6 м, а ширина — 500 м; под действием силы тяжести он будет медленно нести свои воды на север на расстояние почти в 1000 км, постепенно мелея, как и положено подобным искусственным сооружениям. Канал будет отводить около 1/30 всей воды из большой реки и ежегодно доставлять на засушливые равнины около 30 куб. км воды, т.е. более половины того, что в настоящее время поступает на десятки миллионов расположенных там полей. Это даст возможность выращивать пшеницу в тех местах, где не бывает наводнений, но в настоящее время не хватает влаги. Кроме того, это поможет спасти от весенней засухи поля, уже получающие воду из других ирригационных систем.

Во что же обойдется сооружение этого канала? По объему земляных работ — это дюжина Панамских каналов, т.е. в несколько раз больше, чем было сделано предшествующими поколениями, когда пришлось сооружать насыпи вдоль русла Желтой реки, чтобы обуздать ее опасные разливы. В леднежном выражении расходы, видимо составят 10 млрд. юаней. Трудности будут связаны с тем, что канал на своем пути должен пересечь сто пятьдесят больших и малых рек, в том числе саму Хуанхэ.

На страницах книги обсуждается целый ряд других вопросов: приток морской воды в устье Янцзы из-за уменьшения стока реки; использование сухих русел рек; загрязнение окружающей среды в прилегающих к каналу городах; возможные климатические изменения. Предварительные оценки позволяют сделать вывод, что сооружение искусственной реки не вызовет столь серьезных воздействий на окружающую среду, чтобы отказать от осуществления проекта. Вопрос заключается в том, что в конечном итоге окажется выгоднее при одних и тех же затратах: сооружение канала или постепенное улучшение агротехники на каждом поле? Ответ на этот вопрос пока неоднозначен.

А что мы знаем из международного опыта? Самое известное из ирригационных сооружений нашей эпохи — водный бассейн, образовавшийся в результате строительства по советскому проекту Асуанской плотины на Ниле, из

* Река в северо-восточной части США, впадающая в Чесапикский залив. — Прим. перев.

которого на поля ежегодно подается около 90 куб. км воды. Махмуд Абузайд, сотрудник министерства ирригации в Каире, не сомневается, что «преимущества от сооружения плотины намного превосходят его отрицательные последствия». Раньше во время летнего половодья Нила влаги хватало для получения одного урожая в год; теперь же воды, накапливаемой круглый год в водохранилище, достаточно для получения двух, а в некоторых районах и трех урожаев. К сожалению, авторы не приводят никаких данных о размерах получаемых урожаев в этом регионе. Потеря нильского ила компенсируется (с небольшими дополнительными затратами) азотистыми удобрениями, получаемыми с помощью гидроэнергии плотины. Уменьшение улова сардин в устье реки восполняется рыбными запасами в самом водохранилище. Распространение моллюска — источника заболевания шистосоматозом поддается ограничению. Известно, что вода, поступающая в почву, несет в себе растворенные соли. Когда воды слишком много, она, просачиваясь, поднимает уровень подпочвенных вод, в результате чего к корням растений поступают и соли. Не избежала этой участи и дельта Нила, где за последние 10 лет значительно возросла засоленность почв.

Эта проблема стара как мир. На Инде, где ирригационные сооружения существуют тысячелетия, положение не лучше. В обоих случаях необходимы серьезные усилия для борьбы с засолением почв: строгий контроль за потреблением воды на каждом поле и создание разветвленной дренажной системы. Однако авторы большинства проектов наивно полагают, что «с сооружением дренажей можно подождать лет 10—15». Засоление почв можно снизить лишь в результате целого комплекса мер. Для этого необходимо постоянно контролировать уровень воды и ее подачу, выравнивать поверхность земли, укреплять арыки глиной, гипсом или кирпичом, прокладывая глиняные или пластиковые водоводы и устраивать зеленые насаждения для уменьшения испарения влаги. Таким образом, вполне очевидно, что сооружения гигантской сети каналов, как бы хорошо она ни была спроектирована, далеко не достаточно. Результативность ирригационного сооружения в конечном итоге определяется тем, как будет использоваться вода на полях миллионами крестьян. Необходимо добиться разумного расходования воды каждым потребителем. В качестве примера можно привести успешно осуществляемую программу в районе Инда, которую горячо поддерживают местные фермеры. Будет ли этот опыт распространен на все 80 тыс. каналов, существующих в долине Инда, каждый

из которых снабжает водой около 40 фермерских хозяйств? Удастся ли организовать подобным же образом распределение воды на территории Великой Китайской равнины? Если этого не произойдет, все усилия по сооружению канала пропадут даром и урожай зерна будет падать.

В одном из разделов анализируется проект, предусматривающий компенсацию недостатка грунтовых вод в засушливых районах западной части Техаса путем подачи воды через отводные каналы из крупных рек, протекающих у восточных границ штата. Этот проект, впервые выдвинутый в 1968 г., «получил печальную известность из-за отсутствия мер по защите окружающей среды». Однако мы вряд ли будем свидетелями его осуществления, так как после пересмотра этот проект превратился в долгосрочный и рассчитан до 2020 г.

Рецензируемая книга — одна из наиболее серьезных публикаций, выпущенных под эгидой Организации Объединенных Наций и под редакцией крупнейших специалистов в данной области. Она вышла одновременно на английском и китайском языках.

К. Мориасу. ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ УЧЕБНИК ПО КАЛИБРОВочНЫМ ТЕОРИЯМ AN ELEMENTARY PRIMER FOR GAUGE THEORY, by K. Moriyasu. World Scientific Publishing Co., distributed in the U.S. by Heyden & Son, Inc. (\$28)

ЗА ПОСЛЕДНИЕ десять лет теория калибровочных полей достигла в своем развитии таких успехов, равных которым мы не знали на протяжении полувека — со времен блестящего десятилетия конца 20-х — начала 30-х годов, когда только что созданная квантовая механика сорвала «покров таинственности» со звезд, атомов, металлов и молекул. Однако «власть» новой теории установилась не в результате научной революции в физике, как это было в 1925 г. Скорее старый, но по-прежнему могущественный «режим» распространил свой суверенитет на некогда «дикие и необжитые» области физики элементарных частиц. Современная теория опирается на основные принципы квантовой теории поля, в частности на ее релятивистский фундамент. Суть новой теории заключается в более тонком использовании идей о симметрии. И вновь успешное развитие теории связано с новыми группами преобразований. Разумеется, новые симметрии еще более изощренны и абстрактны, чем прежние. Самое удивительное — это то, что нарушенные симметрии ценятся сейчас чуть ли не больше, чем строгие.

Эта краткая книга представляет собой неформальное, опирающееся на

физические явления введение в калибровочные теории, включающее динамическую теорию цветных кварков и экспериментально подтвержденную теорию слабых и электромагнитных взаимодействий. Изложение касается и в некоторой степени спекулятивных теорий великого объединения, разрабатываемых в последние годы, и оставается на теориях, использующих пространство-время высших размерностей. В книге прослеживаются математические основы и физический смысл уравнений новой теории. Это делается преимущественно путем сравнения с более старыми и простыми теориями, что позволяет также осветить историю развития новых идей.

Следует иметь в виду, что к книге стоит обращаться только тем, кто разбирается в математике и получил подготовку в объеме курса квантовой механики. Читателю надо иметь представление о частных производных, четырехвекторах, волновом уравнении Шрёдингера, но знания собственно квантовой теории поля не обязательно. Для таких читателей (в основном ученых и студентов, знакомство которых с теоретической физикой еще не дошло до физики элементарных частиц) эта книга может служить компактным (150 страниц) путеводителем в познавательном путешествии по новой обширной области знаний. Книга включает 10 глав, последовательность изложения которых отражает не только логику, но и историю развития новых идей в том порядке, в каком они постигались теоретиками.

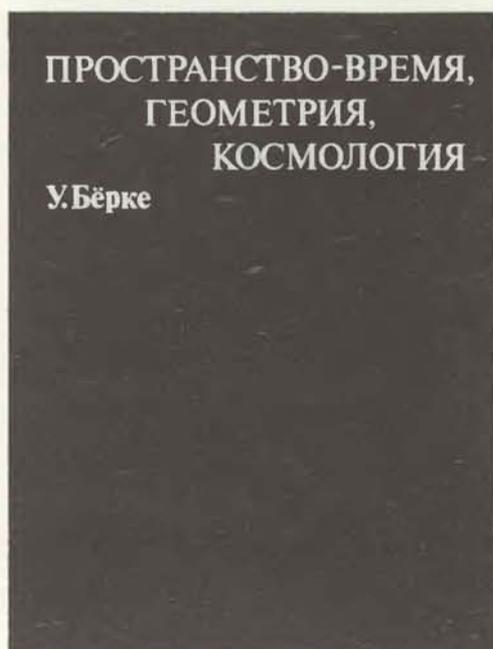
Основная идея новой теории заключается в том, что при перемещении физической системы из одной точки пространства-времени в другую возникают определенные геометрические связи, диктующие некоторые законы, которые управляют внутренними свойствами системы. Само слово «калибровка» применительно к таким проблемам было введено Г. Вейлем в 1919 г. при неудавшейся, но дерзкой попытке обобщить общую теорию относительности Эйнштейна (он употреблял немецкий термин «Eichung»). Эйнштейну удалось построить геометрическую теорию, в которой каждый наблюдатель локально видел пространство-время, подчиняющееся простым законам специальной теории относительности. Однако взаимное расположение пространственно-временных осей, используемых наблюдателями, плавно изменяется при переходе от точки к точке в пространстве-времени, которое искривлено гравитирующей материей. По своей природе это изменение напоминает вращение: физические интервалы в пространстве-времени могут изменять свое направление, но не длину. Вейль искал способ избежать такое ограничение: в его тео-

Издательство МИР предлагает:

Бёрке У.

ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ, ГЕОМЕТРИЯ, КОСМОЛОГИЯ

Перевод с английского



В книге, написанной известным американским астрофизиком, излагаются геометрические аспекты физики пространства-времени и их приложения к космологии. Пожалуй, трудно найти более подходящую книгу, которая могла бы служить связующим звеном между научно-популярной литературой и монографиями, посвященными специальной теории относительности, гравитации и космологии. Наряду с широко известной диаграммой пространства-времени автор использует изобретенную им волновую диаграмму, облегчающую понимание многих сложных идей и представлений физики искривленного пространства-времени. Обсуждаемые вопросы иллюстрируются многочисленными рисунками и примерами,

взятыми из соответствующих областей теоретической физики. Почти каждый раздел книги снабжен задачами различной степени трудности, позволяющими глубже проникнуть в суть рассматриваемой проблемы. Книга состоит из четырех глав: Специальная теория относительности; Геометрия; Тяготение; Космология.

По образному выражению автора, эта книга вооружает читателя языком и инструментами, позволяющими предсказывать и объяснять результаты астрономических наблюдений.

Для широкого круга читателей, знакомых с математикой и физикой в объеме, читаемом студентам начальных курсов технических и естественных факультетов вузов.

1985, 370 с.

Цена 2 р.



рии физические величины могут также менять свои масштабы — калибровку. Связь между такими величинами в разных точках вводилась им так же, как в классической теории электромагнетизма вводятся потенциалы, описывающие ту часть энергии-импульса частицы, которая изменяется при ее движении. Вскоре, однако, стало ясно, что электрический заряд и масса движущейся частицы строго сохраняются.

От теории Вейля чуть было не отказались. Не прошло и десяти лет, как с помощью квантовой механики было доказано, что фазовый множитель волновой функции заряженной частицы может изменяться и измененная (не по величине) в зависимости от ее положения в электромагнитном поле. Чтобы электрический заряд оставался постоянным, эти изменения должны быть скомпенсированы преобразованиями электрических потенциалов. От всех идей Вейля остался только этот важный результат, касающийся электрического заряда, и само слово «калибровка». Примерно в 1960 г. Я. Ааронов и Д. Бом показали, что такие изменения фазы не просто продиктованы требованием непротиворечивости теории, а могут быть обнаружены экспериментально. Опыт по интерференции электронных пучков, проведенный на оригинальной электронно-оптической установке, вскоре подтвердил их предположение: относительная разность фаз двух пучков зависела от величины потенциалов в пространстве, хотя ни один из электронов не попадал в область, занятую электромагнитным полем.

Несколькими годами раньше Ч. Янг и Р. Миллс предложили смелое обобщение всеми признанной и единственно известной в то время калибровочной теории — электромагнетизма. На их работу долгое время также не обращали внимания. Янг и Миллс поставили перед собой задачу найти такой аналог электромагнитных потенциалов, чтобы фазовые эффекты можно было использовать для описания сильных взаимодействий. И они искусно нашли этот аналог. Однако построенная величина была не столь проста, как электрический потенциал. Для установления связи между состояниями нуклона в разных точках было недостаточно простого изменения фаз, и потребовалось ввести более сложные математические конструкции — многомерные операторы, результат действия которых на волновую функцию, вообще говоря, зависит от порядка действия. Причина этого кроется в том, что внутренние степени свободы, определяющие взаимные превращения протонов и нейтронов в ядерных реакциях, имеют близкую аналогию с вращениями в трехмерном пространстве. При описании же электрического заряда фазовые изменения могут быть интерпретиро-

ваны как вращения вокруг фиксированной оси. Такие вращения двумерны и определяются единственным углом.

В одной из глав д-р Мориасу предлагает читателям обобщение вывода физического результата, известного в теории электромагнетизма: он тщательно прослеживает поведение волновой функции пробного заряда при его переносе по небольшому пути в электромагнитном поле. Изменения потока вычисляют обычным образом в первом приближении, откуда находят уравнения поля. Точно такой же прием можно использовать в гораздо более сложном случае изменения фазы частицы в поле Янга — Миллса. Из-за более сложного внутреннего строения частиц, описываемой величинами совершенно иной алгебраической структуры, в уравнениях поля появляются новые члены. Полученный результат ошеломляет: поля больше не могут складываться линейно, т.е. не выполняется принцип суперпозиции. Далее, плотность тока не является более сохраняющейся величиной: в этой теории сохраняются не локальные значения тока и поля, а интегральные величины полного тока и поля источника. Сами поля переносят ток частиц. В какой-то степени поля сами себе служат источником. Это напоминает ситуацию в теории гравитации: гравитационное поле обладает энергией и, следовательно, массой, которая в свою очередь создает дополнительное гравитационное поле.

Модель Янга — Миллса была построена аналогично теории Максвелла, причем эта аналогия была проведена настолько далеко, насколько она вообще могла быть проведена в теории, описывающей симметрию нуклонных взаимодействий. Сложные взаимодействия нуклонов не только влияют на выражения для энергии-импульса, подобно электромагнитным потенциалам для заряженных частиц, но и отвечают за изменения самой природы нуклонов. От значения фазы зависит, будет ли нуклон протоном или нейтроном, поэтому фазу, по-видимому, нельзя выбирать произвольно. В то время отсутствовало полное физическое понимание этих результатов, но «мораль всей истории» заключается в том, что теории с подобной алгебраической структурой (специалисты называют их неабелевыми калибровочными теориями) «могут описывать объекты, существование которых в рамках применявшихся ранее физических представлений считалось невозможным».

Современная теория была создана в 70-х годах. Она опиралась на новые экспериментальные факты и частично на некоторые теоретические представления, взятые из квантовой теории твердых тел, прежде всего из той ее части, которая описывает явление сверхпроводимости. Наконец, появились

блестящие результаты объединенной теории электрослабых взаимодействий Вайнберга — Салама, которая недавно получила новые экспериментальные подтверждения. Необходимым компонентом теории Янга — Миллса стало понимание того факта, что она может иметь смысл, если существует способ выделения какого-то предпочтительного направления в абстрактном пространстве, соответствующем внутренним степеням свободы частицы. Это предпочтительное направление фиксировало бы физическое состояние данного нуклона, т.е. происходило бы нарушение симметрии. Игнорировать эту симметрию не имело бы смысла: любой прием должен учитывать наблюдаемое равноправие сил, действующих между нуклонами. На этих представлениях и основана идея Янга — Миллса. Необходимо было ввести дополнительное поле новых частиц. Это поле могло быть простым, соответствующим частицам без электрического заряда и спина, единственная задача которого — фиксировать выбор состояния нуклона. Более того, коль скоро этот выбор сделан, состояние нуклона будет определено единообразно во всех точках пространства-времени.

Такое решение проблемы было дано в середине 60-х годов П. Хиггсом. Частицы Хиггса все еще не обнаружены экспериментально и пока являются гипотетической, чисто теоретической конструкцией. Их роль — создавать среду, в которую «погружены» все другие частицы, т.е. их поля. Они выступают как своеобразный фон или, если можно так сказать, как современный вариант «эфира», одновременно и квантового, и релятивистского. Частицам Хиггса приписывается определенное выражение для их внутренней потенциальной энергии, подобранное соответствующим образом по величине и достаточно сложное по форме так, чтобы они могли выполнять свою основную функцию по нарушению симметрии. Тем не менее частицы Хиггса подчиняются некоторым ограничениям: они должны взаимодействовать с калибровочными полями вполне определенным симметричным образом. Полуclassическая интерпретация частиц Хиггса очень похожа на интерпретацию, которую можно дать слабосвязанному скоррелированному электронным парам в теории сверхпроводимости. Конечно, в последнем случае роль «эфира» играет кристаллическая решетка — естественный физический фон, а частицами Хиггса являются реально существующие скоррелированные электроны, которые активно взаимодействуют на расстояниях, намного меньших характерного масштаба самого микроскопического явления сверхпроводимости. Вполне правдоподобно представление, что существует

еще один структурный уровень для реальных частиц и полей. Этот уровень должен характеризоваться настолько малыми пространственными масштабами, что при современной технике измерений он будет находиться внутри состояния, соответствующего вакууму. Такие идеи сейчас интенсивно разрабатываются.

В остальных главах сделан краткий экскурс в калибровочные теории цветных полей, которые предполагаются обладающими строгой локальной симметрией относительно совершенно иной группы преобразований. Такие теории способны правдоподобно объяснить, почему из-за облака виртуальных частиц источники цветных полей — кварки связаны между собой необычными силами, увеличивающимися с ростом расстояния между кварками. В конце книги с точки зрения топологии рассмотрены магнитные монополи. Однако продемонстрирована не более чем методологическая связь с гораздо более сложными решениями, имеющими свойства монополей, которые получены в более изощренных калибровочных теориях великого объединения. Несколько последних страниц посвящены теории групп. Здесь объясняются термины, которыми насыщены современные статьи по физике элементарных частиц.

Валентино Брайтенберг. МОДЕЛИ: ЭКСПЕРИМЕНТЫ С СИНТЕТИЧЕСКОЙ ПСИХОЛОГИЕЙ. VEHICLES: EXPERIMENTS IN SYNTHETIC PSYCHOLOGY, by Valentino Braitenberg. The MIT Press (\$14.95)

ЕЩЕ со времен Галилея метод мысленного эксперимента получил широкое признание в науке. Этот метод, привлекающий ученых отсутствием формализма и предельной четкостью, с успехом использовали и создатели современной физики, в том числе Эйнштейн и Бор. Теперь читатель имеет возможность познакомиться с применением метода мысленного эксперимента в области науки, казалось бы весьма далекой от физики.

Автор этой увлекательной книги — известный исследователь мозга из Тюбингенского университета. Суть его мысленных экспериментов — не анализ закономерностей, лежащих в основе неких воображаемых наблюдений, а синтез: построение моделей. Компоненты, из которых строятся эти модели, крайне просты и функционально полностью описаны. При этом автора не интересует конкретное техническое воплощение моделей. Их можно представить себе в виде коробочек с моторчиками и колесиками или гребными винтами, если они должны перемещаться по воде, а можно и как-нибудь

иначе. Все это не существенно: предметом исследования здесь являются лишь психологические аспекты. Как будут себя вести эти модели? Как изменится поведение и взаимоотношение моделей по мере их эволюции от простых к более сложным? Могут ли они обладать элементами мышления или эмоциями?

Достоинства такого метода исследования очевидны. Как замечает сам автор, синтез — всегда более простая операция, чем анализ. На функциональном уровне устройство и работа моделей, используемых в книге в качестве примеров, понятны любому читателю; кроме того, мы можем в точности предсказывать их поведение. Однако, как выясняется, даже такие простые псевдоорганизмы (называемые автором моделями) способны на то, что можно назвать предвидением, эгоизмом и оптимизмом. А ведь все эти модели различной сложности легко построить из тех же элементов, из которых сделаны прочно вошедшие в наш быт электрические и электронные приборы.

Всего в книге рассматриваются 14 типов моделей, каждому из которых посвящена небольшая глава. При этом последовательное рассмотрение сначала простейшей модели, а затем более сложных позволяет автору убедительнее и доступнее изложить свою точку зрения. Здесь можно провести аналогию с эволюцией живых организмов: ничто так не подтверждает ее, как открытие палеонтологами различных «недостающих звеньев». Поскольку в этой краткой рецензии невозможно рассказать обо всех 14 типах моделей, рассмотрим лишь два из них.

Поведение моделей типа 3 автор характеризует несколько неожиданно словом «любовь». Если рассматривать модели как маленькие подвижные конструкции, снабженные моторчиками и сенсорными элементами, то тип 2 можно описать как модель, имеющую по одному моторчику и одному чувствительному элементу с каждой стороны, причем чем сильнее возбуждение, тем быстрее вращается соответствующий моторчик. Здесь мы, как и эволюция в начальный период существования жизни, имеем возможность выбора между двумя вариантами соединения чувствительных элементов с моторчиками. Нетрудно понять, что модель, у которой связи прямые, т.е. каждый чувствительный элемент управляет моторчиком на своей стороне, а не на противоположной, будет всегда двигаться прямо на источник возбуждения (в случае живого организма этим возбудителем может быть свет или концентрация кислорода) и в конце концов столкнется с ним.

Однако модели типа 3 столкновение такого рода уже не угрожает. Чтобы предотвратить его, между чувстви-

тельным элементом и моторчиком помещается специальная схема, инвертирующая сигнал, если его величина превышает некоторое пороговое значение. Таким образом, когда возбуждение становится больше порогового, вращение моторчика начинает замедляться и в конце концов прекращается. Поведение такой модели также зависит от характера соединения чувствительных элементов с моторчиками. Модель с прямыми связями подойдет к ближайшему источнику возбуждения и «навсегда останется там, полная восхищения». В случае же перекрестных связей модель ведет себя несколько иначе — она подходит к источнику возбуждения, но может удалиться от него, если неподатку появится еще один источник возбуждения.

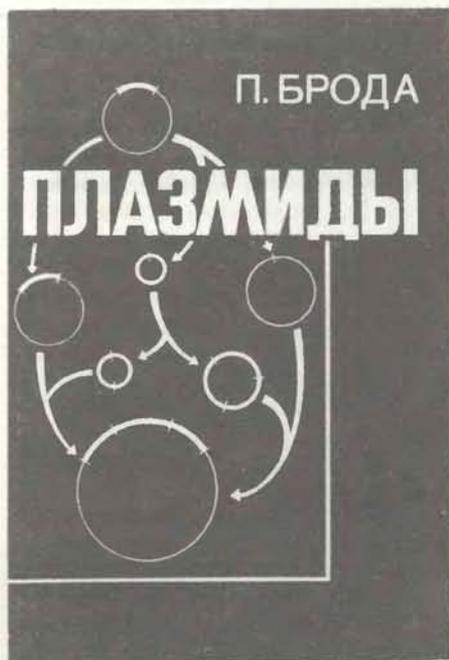
Представим теперь, что у модели такого типа имеются четыре пары различных датчиков, например реагирующие на интенсивность света, температуру, концентрацию кислорода и какого-либо вещества, растворенного в среде. Эти восемь чувствительных элементов можно соединить с моторчиками самыми различными способами, используя при этом и упомянутые выше устройства, инвертирующие пороговые сигналы. Поведение такой модели может быть уже довольно сложным. Например, она может избегать горячих предметов, но подходить к электрическим лампочкам и даже сталкиваться с ними, держаться мест, где концентрация кислорода достаточно высока, и покидать их, если кислорода станет меньше. На самом деле модель можно снабдить сколь угодно большим числом различных датчиков, по-разному влияющих на работу моторчиков. И тогда поведение модели станет еще более сложным. Конечно, вы можете не согласиться, что такая машина обладает системой ценностей, но даже если вы примете более нейтральное слово «тропизм», автор книги может считать, что достиг своей цели.

По мере дальнейшего усложнения моделей у них появляется целая сеть «пороговых» устройств, разделяющих датчик и моторчик, как, например, у модели типа 7. Эти устройства просто срабатывают или не срабатывают в зависимости от величины сигнала. Они соединяются проводами, образуя разветвленные цепи, так что на каждое из устройств действует уже совокупность многих сигналов. Такая система способна производить вычисления, и посвященная им глава книги носит название «Логика». Модели типа 7 обладают уже не только логикой. Они снабжены целой сетью «специальных связей», уменьшающих возросшее по мере введения новых элементов общее сопротивление схемы. Эти проводники соединяют между собой все пороговые устройства весьма сложной модели,

Издательство МИР предлагает:

П. Брода
ПЛАЗМИДЫ

Перевод с английского



Книга, написанная крупным английским ученым П. Бродой, посвящена молекулярной биологии и биохимии бактериальных плазмид. Подробно изложены выделение и методы исследования плазмидной ДНК, структура и эволюция плазмид, их реплика-

ция и конъюгация, значение плазмид в медицине и ветеринарии.

Предназначена для молекулярных биологов, биохимиков, генетиков, вирусологов, микробиологов.

1982, 224 страницы, с иллюстрациями.

Цена 2 р. 30 к.



обладающей логикой. В результате модель оказывается способной делать некоторые обобщения, она как бы создает для себя модель окружающего мира. Например, если среди окружающих ее собратьев модели с агрессивным поведением будут, как правило, красного цвета, то достаточно соединить детекторы красного цвета и агрессивности проводом с низким сопротивлением, как модель будет избегать красных соседей. Можно добиться также и того, что она будет избегать мест, где чувствуется «запах смерти» — большая концентрация химических веществ, попавших в среду из поврежденной модели.

В этом разделе книги аргументация автора выглядит особенно убедительно. «Пусть философы проанализируют поведение моделей типа 7 и... сделают некоторые выводы», — пишет он. Эти создания способны делать обобщения, например, что модели любого цвета, кроме серого, агрессивны. Таким образом, отдельные понятия, такие, как «красный», «синий», «зеленый» и т.п., объединяются для них в более общее понятие «цветной». Впрочем, даже серый цвет модель будет интерпретировать как смесь других цветов, и такая «перестраховка» является вполне естественным следствием реализованного в ней механизма обобщения. «Что ж, — пишет наш философствующий автор, — никто в здравом уме не станет утверждать, что в основе «способности к обобщению» лежит что-то загадочное».

Вслед за этим утверждением Брайтенберг предлагает нам интересную подборку фактов, касающихся устройства мозга и поведения животных, обнаруженных им в ходе научных исследований. Не удивительно, что многие неожиданные свойства его моделей имеют аналоги в природе. Один из вопросов, затронутых в этой части книги, — перекрестные связи глаз со зрительными центрами мозга, столь характерные для позвоночных. Наиболее известная теория, объясняющая этот факт, была предложена еще в прошлом веке испанским нейрофизиологом Сантьяго Рамоном-и-Кахаль. Он предположил, что перекрестная проекция необходима для компенсации инверсии изображения в оптической системе глаза. Если бы не хиазма, эта инверсия привела бы к несовместимости двух сторон изображения. Можно предположить, что остальные системы просто скопировали устройство зрительной из соображений экономии. Однако на самом деле две половины нервной сети, передающей изображение дальше в средний мозг, скажем, лягушки, нигде не соединяются между собой. Казалось бы, ориентация различных участков изображения не должна иметь никакого значения, поскольку их сопоставление производится только через

нервы, выполняющие роль проводов.

Около 20 лет назад автор книги высказал другую точку зрения на причину перекрестных связей. Он обратил внимание на тот факт, что из всех органов чувств лишь органы обоняния соединяются с полушариями мозга без перекрестивания путей. У позвоночных двигательные связи как раз перекрещиваются. Это означает, что любой запах сначала вызывает у них реакцию двигательной системы на стороне тела, более удаленной от источника запаха. Однако это наблюдение мало что дает: мы не знаем, какие запахи имели большее значение для первых позвоночных — привлекающие или отпугивающие; мы также не можем сказать, как работали их двигательные органы.

Подобные наивные механистические представления о живых организмах давно уже вышли из моды. Теперь, когда люди создали сложнейшую вычислительную технику, их подход к вопросам физиологии существенно изменился. И если первые модели Брайтенберга столь же примитивны, как представления ученых прошлого века, то модели типа 14 уже вполне соответствуют современному уровню развития науки. Такие модели на основе собственного опыта вырабатывают внутреннюю картину мира и шкалу ценностей, с помощью которых выбирают, преследуя ту или иную цель, линию поведения, способствующую ее скорейшему достижению. При этом моделям этого типа часто удается решать довольно сложные задачи. «По-видимому, эта погоня за мечтой — неплохая стратегия, — пишет автор. — Мне кажется, что ее изучение помогло сорвать с целенаправленного поведения ореол загадочности».

Эта небольшая, увлекательная и умная книга доставит читателю немало удовольствия. Интересны также иллюстрации пером, выполненные художником Маэком Альбрехтом, попытавшимся представить себе видный облик этих порожденных фантазией автора моделей. Некоторых читателей аргументация автора, возможно, убедит сразу, других же, тех, кто привык считать разум чем-то исключительным и непостижимым, убедить будет значительно труднее. Так или иначе, хотя мы еще не можем создать подлинную модель мозга, путь к этому уже, по-видимому, открыт. И однако, как ни убедительно подчас выглядят аналогии между моделями и живыми существами, не следует забывать об огромном количественном различии между ними. Ведь мозг любого животного состоит из великого множества частей, и фантастическая комбинация всех его компонентов, быть может, таит в себе немало важных особенностей систем в целом, о которых мы до сих пор не имеем понятия. Так что исследо-

вателей мозга ждет еще много работы и немало неожиданных открытий.

Каролина Джэбс. РАСТЕНИЕВОДСТВО: НАСЛЕДИЕ ПРОШЛОГО
THE HEIRLOOM GARDENER, by Carolyn Jabs. Sierra Club Books (\$17,95; paperbound, \$9.95)

МНОГО потеряет тот любитель овощных блюд, который не попробует только что сорванные початки сладкой кукурузы сорта «черный мексиканский». Такую выразительную характеристику дали эксперты Государственной экспериментальной станции в изданной в 30-е годы монографии о сортах сладкой кукурузы штата Нью-Йорк. «Черный мексиканский» — необычный сорт. На стадии молочной спелости зерна у него белые, а зрелые початки черные как смоль. Огороднику-энтузиасту, желающему вырастить культуру, получившую столь высокую оценку, окажет практическую помощь CORNS — организация по обмену семенами и другим посадочным материалом, находящаяся в г. Терпин, шт. Оклахома. Огромные початки с удивительными синими зернами, которые прежде собирали лишь на полях, орошаемых водами высокогорного священного Голубого озера, теперь доступны не только привилегированным посетителям тех мест: фирма Taos Pueblo Native Seed Company высылает прекрасные семена сорта «таос пуэбло голубой» всем желающим.

Предлагаемая вниманию читателей книга насыщена информацией. Автор рассматривает ее, исходя из трех закономерностей исторического характера. Первое: те растения, которые люди используют в пищу, как и декоративные растения, представляют собой не просто живые организмы, но и продукт деятельности человека; от прежних времен нам остались в наследство не только березовые комоды и оловянная посуда, но и старинные разновидности культурных растений, над выведением которых трудились многие поколения. Большинство культурных разновидностей, произрастающих ныне в Северной Америке, завезены из других стран. В настоящее время растения-иммигранты, веками осваивавшиеся на новой земле, предоставляют нам богатейший выбор; их основа — древние дикие разновидности, а желанное разнообразие сложилось в результате длительного культивирования и селекционной работы.

Второе: в наши дни собственно работники сельского хозяйства, т.е. те, кто зарабатывает этим на жизнь, составляют лишь небольшую долю населения США, но садоводством и огородничеством увлекаются многие американцы (быть может, это наилучшим

образом соответствует изначальному призванию вида *Homo sapiens*). И наконец, третье, наиболее очевидное обстоятельство: законы рынка в такой большой стране, как Соединенные Штаты, приводят к тому, что разнообразие сортов сокращается. Крупные компании, занимающиеся производством семян, стремятся выращивать и поддерживать те разновидности, которые пользуются наибольшим спросом у покупателей, т.е. сорта с оптимальным сочетанием определенных свойств — высокоурожайные, устойчивые к засухе и болезням, имеющие привлекательный и в то же время привычный внешний вид. К сожалению, многие прекрасные выведенные в прошлом сорта обладают такими качествами (например, нежная фактура, разнообразие внешнего вида, тонкий аромат), которые не очень ценятся в наш век, когда в сельском хозяйстве правит прибыль и предъявляют свои требования необходимость дальних перевозок и интересы независимой от сезона торговли.

В последнее время возникли объединения садоводов-любителей, которые с готовностью делятся имеющимся у них живым «наследством». Появились небольшие торговые предприятия, распространяющие семена незаслуженно забытых сортов. Во многих исторических музеях в дополнение к основной экспозиции устроены сады, где посетители могут увидеть растения, типичные для того или иного времени, для того или иного ушедшего уклада жизни. Все подобные организации и их адреса перечислены в книге К. Джэбс, к их перечню даны полезные комментарии. Такие пути сохранения старинных сортов подразумевают широкое введение их в культуру. Деятельность любителей в этом направлении — необходимое дополнение к работе Национальной системы банков генетического материала растений, которая занимается централизованным хранением в жидком азоте и систематическим высаживанием поддерживаемых сортов. В центре, находящемся в Форт-Коллинсе, с помощью целой сети региональных и местных хранилищ и растениеводческих станций собрано 200 тыс. разновидностей различных культурных растений. Смысл этой системы главным образом в том, чтобы поддерживать прижившиеся в США, но неиспользуемые разновидности; в гораздо меньшей мере решается задача популяризации таких сортов. В отношении этих культур именно растениеводолюбители могут добиться «переоценки ценностей».

Для каждой культуры автор приводит краткие сведения о методах выращивания из семян и способах контроля за опылением, который иногда совершенно необходим. Например, кукуруза опыляется ветром, и обеспечить чисто-

ту сорта далеко не просто. Тому, кто хочет успешно поддерживать «черный мексиканский», придется либо согласовывать расписание сельскохозяйственных работ на кукурузном поле со своими соседями, либо пользоваться специальными приспособлениями, чтобы закрывать соцветия и осуществлять опыление вручную.

Думается, книга Джэбс привлечет многих как опытных, так и неумелых, как действительно увлеченных, так и лишь слегка заинтересовавшихся этим своеобразным коллекционированием — выращиванием живых древностей. На семейном огороде можно хоть сто лет

поддерживать какой-нибудь необыкновенный картофель с лилово-красными клубнями или томаты с пахнущими брэнди плодами тончайшего вкуса. Вспомним и удивительные голубые кукурузные хлопья, «потомки» особого хлеба «пики», который когда-то пекли индейцы хопи (не заинтересуются ли этим в Батл-Крик*?).

* Батл-Крик — город в шт. Мичиган, стоящий у слияния рек Батл-Крик и Каламазу. В Батл-Крик находятся крупнейшие предприятия хлебной промышленности, экспортирующие свою продукцию во многие страны мира. — *Прим. ред.*

Наука и общество

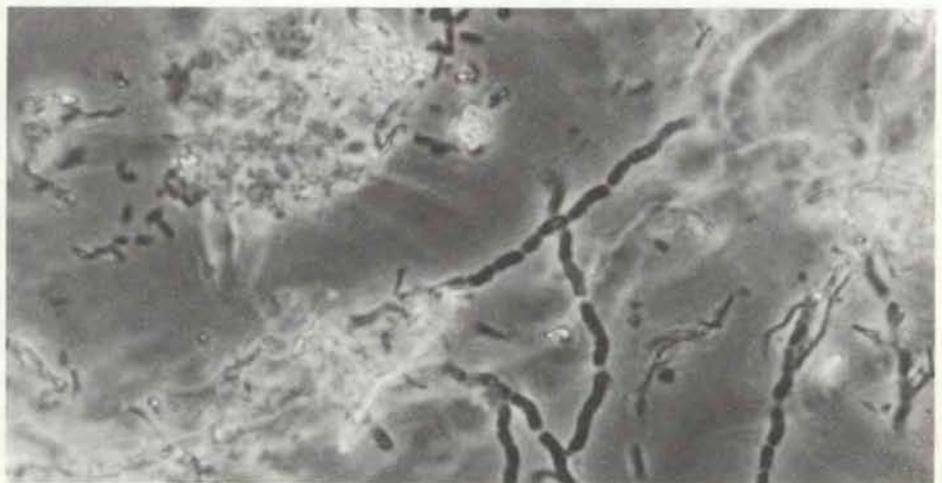
Бактерии-мусорщики

БАКТЕРИИ, растущие, как на дрожжах, в сероводороде (H_2S), который выбрасывается из гидротермальных отверстий на дне океана, могут помочь справиться с загрязнением нашей планеты соединениями серы (одно известное проявление этого загрязнения — кислотные «дожди»).

Такое предположение основано на результатах исследований двух микробиологов, К. Тэйлора и Х. Джаннаша, которые проводят эксперименты с «серными бактериями» в Вудс-Холском океанографическом институте. Естественной средой обитания этих бактерий являются глубокие слои океана. Серные бактерии относятся к хемотрофным организмам: они получают энергию, необходимую для обмена веществ и роста, за счет химической реакции — окисления сероводорода. Тэйлор и Джаннаш сообщают, что поддерживали культуру таких бактерий в течение двух лет. Они полагают, что их методику можно применить и в

больших масштабах: заставить бактерии «ориентироваться» на некоторые виды промышленных отходов как на источники энергии и тем самым уменьшить загрязнение окружающей среды этими отходами.

Сообщество микроорганизмов можно было бы поселять в газообразных или жидких отходах, содержащих сероводород (который стоит в начале цепочки процессов, приводящих к выпадению кислотных дождей) и углекислый газ. Эти два продукта образуются при таких процессах, как сжигание и газификация угля, переработка геотермальной энергии, очистка сточных вод и другие. Бактерии будут окислять сероводород и другие соединения серы и использовать выделяющуюся энергию, а также имеющиеся углерод и азот для размножения. Образующуюся биомассу можно использовать для производства синтетического горючего (метана) или химического сырья. Ее можно использовать также при разведении аквакультур как пищу для морских организмов (например, мидий).



Эти бактерии можно использовать для борьбы с кислотными дождями

ПРИОНЫ

UNCONVENTIONAL VIRUSES AND THE ORIGIN AND DISAPPEARANCE OF KURU. D. Carleton Gajdusek in *Science*, Vol. 197, No. 4307, p. 943-960; Sept. 2, 1977.

NOVEL PROTEINACEOUS INFECTIOUS PARTICLES CAUSE SCRAPIE. Stanley B. Prusiner in *Science*, Vol. 216, No. 4542, pages 136-144; April 9, 1982.

SCRAPIE PRIONS AGGREGATE TO FORM AMYLOID-LIKE BIREFRINGENT RODS. Stanley B. Prusiner, Michael P. McKinley, Karen A. Bowman, David C. Bolton, Paul E. Bendheim, Darlene F. Groth and George G. Glenner in *Cell*, Vol. 35, No. 2, pages 349-358; December, 1983.

SOME SPECULATIONS ABOUT PRIONS, AMYLOID AND ALZHEIMER'S DISEASE. Stanley B. Prusiner in *The New England Journal of Medicine*, Vol. 310, No. 10, pages 661-663; March 8, 1984.

СЕЙСМИЧЕСКАЯ ТОМОГРАФИЯ

WORLDWIDE DISTRIBUTION OF GROUP VELOCITY OF MANTLE RAYLEIGH WAVES AS DETERMINED BY SPHERICAL HARMONIC INVERSION. Ichiro Nakanishi and Don L. Anderson in *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 72, No. 4, pages 1185-1194; August, 1982.

ANISOTROPY AND SHEAR-VELOCITY HETEROGENEITIES IN THE UPPER MANTLE. H.-C. Nataf, I. Nakanishi and Don L. Anderson in *Geophysical Research Letters*, Vol. 11, No. 2, pages 109-112; February, 1984.

MAPPING THE LOWER MANTLE: DETERMINATION OF LATERAL HETEROGENEITY IN P VELOCITY UP TO DEGREE AND ORDER 6. Adam M. Dziewonski in *Journal of Geophysical Research*, Vol. 89, No. B7, pages 5929-5952; July 10, 1984.

MAPPING THE UPPER MANTLE: THREEDIMENSIONAL MODELLING OF EARTH STRUCTURE BY INVERSION OF SEISMIC WAVEFORMS. John H. Woodhouse and Adam M. Dziewonski in *Journal of Geophysical Research*, Vol. 89, No. B7, pages 5953-5986; July 10, 1984.

Woodhouse J., Dziewonski A. M. MAPPING THE UPPER MANTLE: THREE DIMENSIONAL MODELLING OF EARTH STRUCTURE BY INVERSION OF SEISMIC WAVEFORMS. 27-й МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ КОНГРЕСС. Тезисы докладов, т. IX, ч. 1. — М.: Наука, 1984.

Прозоров А. Г., СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НЕВЯЗОК ВСТУПЛЕНИЙ ВОЛН P И ПРОГНОЗ ВРЕМЕНИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ. В сб. «Вычислительная сейсмология», вып. 11. — М.: Наука, 1978.

ХРЯЩ

ADULT ARTICULAR CARTILAGES. Edited by M.A.R. Freeman. Pitman

Medical Publishing Co., Ltd., 1979.

CELL BIOLOGY OF EXTRACELLULAR MATRIX. Edited by Elizabeth D. Hay. Plenum Press, 1981.

PROTEOGLYCANS: STRUCTURE AND FUNCTION. Vincent Hascall in *Biology of Carbohydrates: Vol. 1*, edited by Victor Ginsburg and Phillips W. Robbins. John Wiley & Sons, Inc., 1981.

CARTILAGE, Vol. 2: Development, Differentiation and Growth. Edited by B.K. Hass, Academic Press, 1983.

ЭПСИЛОН ВОЗНИЧЕГО

THE INTERPRETATION OF ϵ AURIGAE. G.P. Kuiper, O. Struve and B. Strömgren in *The Astrophysical Journal*, Vol. 86, No. 5, pages 570-612; December, 1937.

THE ATMOSPHERE OF THE I COMPONENT OF EPSILON AURIGAE. Robert P. Kraft in *The Astrophysical Journal*, Vol. 120, No. 3, pages 391-400; November, 1954.

AN INTERPRETATION OF ϵ AURIGAE. Su-Shu Huang in *Astrophysical Journal*, Vol. 141, No. 3, pages 976-984; April 1, 1965.

THE ZETA AURIGAE STARS. K.O. Wright in *Vistas in Astronomy*, Vol. 12, pages 147-182; 1970.

INTERACTING BINARY STARS. Jorge Sahade and Frank Bradshaw Wood. Pergamon Press, 1978.

THE MYSTERY OF EPSILON AURIGAE. Francis J. Reddy in *Sky and Telescope*, Vol. 63, No. 5, pages 460-462; May, 1982.

ПОМУТНЕНИЕ ХРУСТАЛИКА

LENS AGING AND DEVELOPMENT OF SENILE CATARACTS. Herausgegeben von Otto Hockwin. Interdisciplinary Topics in Gerontology. S. Karger Verlag, Basel — München — Paris — London — New York — Sidney 1978.

CATARACT AND ABNORMALITIES OF THE LENS. Herausgegeben von John G. Bellows. Grune & Stratton Inc., New York — San Francisco — London 1975.

MOLECULAR AND CELLULAR BIOLOGY OF THE EYE LENS. Herausgegeben von Hans Bloemendal. John Wiley & Sons, New York — Chichester — Brisbane — Toronto 1981.

AKTUELLE OPHTHALMOLOGIE. Fachalmanach für die Augenheilkunde 1976. Herausgegeben von H.J. Kuchle. J.F. Lehmanns Verlag, München.

ALTERN DER LINSE. ZUR PATHOGENESE VON LINSENTRÜBUNGEN IM ALTER UND DER MÖGLICHKEIT DER MEDIKAMENTÖSEN BEEINFLUSSUNG. Symposium Strasbourg 1982. Herausgegeben von Otto Hockwin. Verlag Bergemann & Mayr, Miesbach.

КВАНТОВАЯ ХИМИЯ ГЛУБОКОГО ХОЛОДА

Гольдманский В. И., Франк-Каменецкий М. Д., Баркалов И. М. ЯВЛЕНИЕ КВАНТОВОГО НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПРЕДЕЛА СКОРОСТИ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ. — Доклады АН СССР, 1973, т. 211, № 1, с. 133-136.

Гольдманский В. И. ЯВЛЕНИЕ КВАНТОВОГО НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПРЕДЕЛА СКОРОСТИ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ. — Успехи химии, т. 44, № 12, с. 2121-2149.

Белл Р. ПРОТОН В ХИМИИ. Перев. с англ. — М.: Мир, 1977.

Goldanskii V. I. FACTS AND HYPOTHESES OF MOLECULAR CHEMICAL TUNNELING. — Nature, 1979, Vol. 279, p. 109-115.

Barkalov I. M., Goldanskii V. I., Kiryukhin D. P., Zanin A. M. THRESHOLD EFFECTS AND AUTOWAVE PROCESSES IN LOW-TEMPERATURE CHEMICAL REACTIONS IN IRRADIATED SOLIDS. — International Reviews in Physical Chemistry, 1983, vol. 3, p. 247-262.

ХРУСТАЛЬНЫЙ ДВОРЕЦ

THE WORKS OF SIR JOSEPH PAXTON, 1803-1865. George F. Chadwick. The Architectural Press, London, 1961.

THE GLASS HOUSE. John Hix. The MIT Press, 1974.

DEVELOPMENTS IN STRUCTURAL FORM. Rowland Mainston. The MIT Press 1975.

PAXTON'S PALACE. Anthony Bird. Cassell and Company, Ltd., 1976.

IRON BRIDGE TO CRISTAL PALACE: IMPACT AND IMAGES OF THE INDUSTRIAL REVOLUTION. Asa Briggs. Thames and Hudson in collaboration with the Ironbridge Gorge Museum Trust, 1979.

ВСЕОБЩАЯ ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ. В 12 томах — М., Стройиздат, 1972, т. 10, с. 156.

СТОЯНКА

ПОЗДНЕЛЕДНИКОВОГО ПЕРИОДА В ЮЖНОМ ЧИЛИ

EARLY MAN IN THE NEW WORLD. Richard S. MacNeish in *American Scientist*, Vol. 64, No. 3, pages 316-327; May — June, 1976.

ANCIENT SOUTH AMERICANS. Edited by Jesse D. Jennings. W.H. Freeman and Company, 1983.

EARLY MAN IN THE NEW WORLD. Edited by Richard Shutler. Sage Publications, 1983.

НАУКА ВОКРУГ НАС

THE TEAPOT EFFECT... A PROBLEM. Markus Reiner in *Physics Today*, Vol. 9, No. 9, pages 16-20; September, 1956.

TEAPOT EFFECT. Joseph B. Keller in *Journal of Applied Physics*, Vol. 28, No. 8, pages 859-864; August, 1957.

Перечень статей, опубликованных в журнале «В мире науки» в 1984 г.

ИЮНЬ

ЯНВАРЬ

- Дж. Бернс, Р. Прайс* ЦЕНТАВР А — БЛИЖАЙШАЯ АКТИВНАЯ ГАЛАКТИКА, с. 4
Э. Уосп ТРУБОПРОВОДЫ ДЛЯ ТРАНСПОРТА ГИДРОСМЕСЕЙ, с. 16
Р. Вайнберг МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОСНОВЫ РАКА, с. 26
В. Л. Янин АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАСКОПКИ ВЕЛИКОГО НОВГОРОДА, с. 38
Г. Дёхлер ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ СВЕРХСТРУКТУРЫ, с. 50
Дж. Розенталь АДАПТАЦИЯ ЖУКОВ-ЗЕРНОВОК К ЯДОВИТЫМ СЕМЕНАМ, с. 60
П. Фрэнсис, С. Селф ИЗВЕРЖЕНИЕ КРАКАТАУ, с. 68
К. Рецфрю СОЦИАЛЬНАЯ АРХЕОЛОГИЯ МЕГАЛИТИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ, с. 80
Дж. Уолкер НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ЖИЗНЬЮ ВОДОМЕРОК — НАСЕКОМЫХ, КОТОРЫЕ ХОДЯТ (И ДАЖЕ БЕГАЮТ) ПО ВОДЕ, с. 92
Б. Хэйес ПРЕВРАЩЕНИЕ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ЧЕПУХУ, с. 103

ФЕВРАЛЬ

- Дж. Харброн* СОВРЕМЕННЫЕ ЛЕДОКОЛЫ, с. 4
Т. Джонсон, Л. Содерблом ИЮ, с. 12
П. Уэллс СЕЛЬСКИЕ ОБЩИНЫ В НАЧАЛЕ РАННЕГО ЖЕЛЕЗНОГО ВЕКА НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЕВРОПЫ, с. 26
Р. Дикерсон СПИРАЛЬ ДНК, с. 34
Б. Де Витт КВАНТОВАЯ ГРАВИТАЦИЯ, с. 50
А. Бергрэд СМЕНА ЖЕРТВЫ В ПРОСТОЙ ЭКОСИСТЕМЕ, с. 64
А. Гросс, Ч. Кайл, Д. Мэйлуки АЭРОДИНАМИКА АППАРАТОВ, ДВИЖИМЫХ МУСКУЛЬНОЙ СИЛОЙ ЧЕЛОВЕКА, с. 74
Д. Хоффман ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ЗРИТЕЛЬНЫХ ИЛЛЮЗИЙ, с. 84
Дж. Уолкер ПОМЕЩАЯ НА ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ КАПЕЛЬКИ МАСЛА ИЛИ ДРУГИХ ВЕЩЕСТВ, МОЖНО НАБЛЮДАТЬ МНОГО ИНТЕРЕСНЫХ ЯВЛЕНИЙ, с. 91
Б. Хэйес О КОНЕЧНОМ АВТОМАТЕ И ПРОСТЕЙШИХ МОДЕЛЯХ МЫШЕЛОВОК, РИБОСОМ И ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ ДУШИ, с. 98

МАРТ

- М. Сваминатан* РИС, с. 4
М. Рампино, С. Селф ИЗВЕРЖЕНИЕ ЭЛЬ-ЧИЧОНА И ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЕ НА АТМОСФЕРУ ЗЕМЛИ, с. 16
У. Мак-Харрис, Дж. Расмуссен СТОЛКНОВЕНИЕ АТОМНЫХ ЯДЕР ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ, с. 28
Е. А. Козловский КОЛЬСКАЯ СВЕРХГЛУБОКАЯ СКВАЖИНА, с. 38
Ч. Коул Однополюе ящерицы, с. 50

- М. Номура* РЕГУЛЯЦИЯ БИОСИНТЕЗА РИБОСОМ, с. 58
Н. Дж. Слоэн Упаковка шаров, с. 72
А. Скотт ИЗОБРЕТЕНИЕ ВОЗДУШНОГО ШАРА И РОЖДЕНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ХИМИИ, с. 84
Дж. Уолкер СПЕКТРЫ УЛИЧНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ КАК ИЛЛЮСТРАЦИЯ К ОСНОВНЫМ ПРИНЦИПАМ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ, с. 94
Б. Хэйес Взлеты и падения чисел-градин, с. 102

АПРЕЛЬ

- Д. Леви* СПЕКТРОСКОПИЯ ПЕРЕОХЛАЖДЕННЫХ ГАЗОВ, с. 4
Г. Видаль ДРЕВНЕЙШИЕ ЭУКАРИОТИЧЕСКИЕ КЛЕТКИ, с. 14
К. Кови ОРБИТА ЗЕМЛИ И ЛЕДНИКОВЫЕ ЭПОХИ, с. 26
Н. Ануин, Р. Хендерсон СТРУКТУРА БЕЛКОВ В БИОЛОГИЧЕСКИХ МЕМБРАНАХ, с. 36
О. К. Скобелкин, Е. И. Брехов, В. И. Корепанов ЛАЗЕРНАЯ АБДОМИНАЛЬНАЯ ХИРУРГИЯ, с. 48
Й. Фриберг ЧИСЛА И МЕРЫ В ДРЕВНЕЙШИХ ПИСЬМЕННЫХ ДОКУМЕНТАХ, с. 58
С. Батра ОДИНОЧНЫЕ ПЧЕЛЫ, с. 70
Т. Солтхауз ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МАШИНОПИСИ, с. 79
Дж. Уолкер КАК ОСТАНОВИТЬ ВРАЩАЮЩИЙСЯ ПРЕДМЕТ ГУДЕНИЕМ И КАК УВИДЕТЬ НЕОБЫЧНЫЕ СИНИЕ ДУГИ ВОКРУГ НЕБОЛЬШОГО ИСТОЧНИКА СВЕТА, с. 86
Б. Хэйес ПОВОРАЧИВАЮЩАЯСЯ ЧЕРЕПАХА ПОЗВОЛЯЕТ ВЗГЛЯНУТЬ НА ГЕОМЕТРИЮ «ИЗНУТРИ», с. 98

МАЙ

- Ч. Холлистер, А. Науэлл, П. Джу-марс* НЕСПОКОЙНЫЕ ГЛУБИНЫ, с. 4
Н. Кейфиц НАСЕЛЕНИЕ КИТАЯ, с. 18
Р. Шеллер, Р. Аксель КАК ГЕНЫ КОНТРОЛИРУЮТ ВРОЖДЕННОЕ ПОВЕДЕНИЕ, с. 28
Д. Пилбим Происхождение гоминидов и гоминид, с. 38
А. Мизирович, Дж. Вольф ЭКСИТОННОЕ ВЕЩЕСТВО, с. 50
Дж. Остер ЗВУКИ МЫШЦ, с. 62
Ф. Бронсон ПРИСПОСОБИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ДОМОВОЙ МЫШИ, с. 70
Б. Козн ФЛОРЕНС НАЙТИНГЕЙЛ, с. 80
Дж. Уолкер КАКИМИ ПРЕДСТАВЛЯЮТСЯ РЫБЕ РЫБОЛОВ И БРОШЕННАЯ НА ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ НАЖИВКА? с. 90
Б. Хэйес Клеточный автомат создает модель мира и мир вокруг себя, с. 97

- А. Джаяраман* АЛМАЗНЫЕ НАКОВАЛЬНИ В ФИЗИКЕ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ, с. 4
Н. Сквилл, Дж. Янг МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОБЛАКА, ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЕ И СТРОЕНИЕ ГАЛАКТИК, с. 15
А. П. Еришов СМЕШАННЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ, с. 28
Дж. Сноу ТОРНАДО, с. 44
Т. Поджио ЗРЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА И ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВИДЕНИЯ, с. 58
Дж. Эдельман «МОЛЕКУЛЫ АДГЕЗИИ КЛЕТОК» И ИХ РОЛЬ В ЭМБРИОНАЛЬНОМ РАЗВИТИИ, с. 70
Дж. Хорнер ГНЕЗДОВОЕ ПОВЕДЕНИЕ ДИНОЗАВРОВ, с. 84
С. Хигэм Древнее культивирование риса в Юго-Восточной Азии, с. 92
Дж. Уолкер ФИЗИЧЕСКИЕ СЕКРЕТЫ БЕСПОДОБНОГО ДОМАШНЕГО МОРОЖЕНОГО МОЕЙ БАБУШКИ, с. 100
Ф. Грюенбергер КАК ОПЕРИРОВАТЬ С ТЫСЯЧЕЗНАЧНЫМИ ЧИСЛАМИ И ЗАЧЕМ ЭТО НУЖНО, с. 110

ИЮЛЬ

- Дж. Миллер* Сталеплавильные мини-заводы, с. 4
Э. Бонатти, К. Крэйн ОКЕАНИЧЕСКИЕ ЗОНЫ РАЗЛОМОВ, с. 14
А. Дотри-Варса, Х. Лодиш КАК РЕЦЕПТОРЫ ЗАТЯГИВАЮТ БЕЛКИ И ЧАСТИЦЫ ВНУТРЬ КЛЕТОК, с. 28
Дж. Хопкрофт МАШИНЫ ТЬЮРИНГА, с. 36
Дж. Мур ПАРАЗИТЫ, КОТОРЫЕ ИЗМЕНЯЮТ ПОВЕДЕНИЕ СВОЕГО ХОЗЯИНА, с. 48
А. Гут, П. Стейнхардт РАЗДУВАЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ, с. 56
Дж. Адовейзио, Р. Карлайл Стоянка индейских охотников с 20-тысячелетней историей заселения, с. 72
Э. Клифф, П. Хаггет ЭПИДЕМИИ КОРИ В ИСЛАНДИИ, с. 80
Дж. Уолкер ЗАГАДОЧНЫЕ ЯВЛЕНИЯ, НАБЛЮДАЕМЫЕ ПРИ НАГРЕВАНИИ СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ, с. 90
А. Дьюдни В ИГРЕ «БОЙ В ПАМЯТИ» КОМПЬЮТЕРНЫЕ ПРОГРАММЫ ВЕДУТ БИТВУ ЗА БИТЫ, с. 96

АВГУСТ

- Н. Федорофф* Подвижные генетические элементы кукурузы, с. 4
Х. Лечтмен ПОКРЫТИЕ МЕТАЛЛОВ ЗОЛОТОМ И СЕРЕБРОМ В ДОКОЛУМБОВОЙ АМЕРИКЕ, с. 18
С. Стэнли МАССОВОЕ ВЫМИРАНИЕ В ОКЕАНЕ, с. 26
Р. Шорт Грудное вскармливании, с. 36
М. Бушья, Л. Потье НЕСОХРАНЕНИЕ ЧЕТНОСТИ В АТОМНЫХ СИСТЕМАХ, с. 44
Л. Райкер АКУСТИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ЖУКА, с. 56

Издательство
МИР
предлагает:

Л. Эрман, П. Парсонс

**ГЕНЕТИКА
ПОВЕДЕНИЯ
И ЭВОЛЮЦИЯ**

Перевод с английского

Книга ученых США и Австралии содержит современные данные о методах исследования генетики поведения, связи генетических признаков поведения с отдельными генами и хромосомами, о взаимодействии генетических факторов и факторов внешней среды в формировании систем поведения у животных и человека, об особенностях генетики поведения человека. Рассмотрены также материалы относительно эволюционных аспектов поведения, роли географических и этнических факторов.

Для генетиков, этологов, психофизиологов, эволюционистов, для преподавателей и студентов биологических специальностей.

1984, 35 л. Цена 4 р. 70 к.



**ОСНОВЫ
ФИЗИОЛОГИИ**

Перевод с английского

В коллективной монографии, написанной известными американскими физиологами, представлены все разделы современной физиологии позвоночных. Последовательно рассмотрены строение органов и тканей, задачи общей и клеточной физиологии, функции и организация нервной системы и органов чувств, высшие функции головного мозга, работа мышц, кровеносных и лимфатических сосудов, сердца, органов дыхания, почек, эндокринной, репродуктивной и выделительной систем, процессы обмена веществ, питание и система крови.

Для студентов биологических и медицинских специальностей, для физиологов и врачей.

1984, 34 л. Цена 2 р. 80 к.



Дж. Гринберг МЕЖЗВЕЗДНАЯ ПЫЛЬ: СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ, с. 66
Ф. Грейвс БОЛТЫ И ГАЙКИ, с. 79
Дж. Уолкер МАЛЕНЬКИЕ КУЛИНАРНЫЕ ХИТРОСТИ И ЗАКОНЫ БОЛЬШОЙ ФИЗИКИ, с. 87
А. Дьюдни О МАКАРОННОМ КОМПЬЮТЕРЕ И ДРУГИХ АНАЛОГОВЫХ УСТРОЙСТВАХ, с. 92

СЕНТЯБРЬ

Э. Бассук БЕЗДОМНЫЕ В США, с. 4
Р. Экиньян ПОДВОДНЫЕ ВУЛКАНЫ, с. 12
Р. Кольер, Д. Каплан ИММУНОТОКСИНЫ, с. 24
П. Узбб КОРРЕЛЯЦИЯ МЕЖДУ ФОРМОЙ И ФУНКЦИЕЙ В ПЛАВАНИИ РЫБ, с. 34
М. Кафатос, Э. Михалицианос СИМБИОТИЧЕСКИЕ ЗВЕЗДЫ, с. 48
Дж. Беккер ОБРАБОТКА МНОГОЯЗЫЧНЫХ ТЕКСТОВ, с. 62
У. Тёрстон, Дж. Уикс МАТЕМАТИКА ТРЕХМЕРНЫХ МНОГООБРАЗИЙ, с. 74
Т. Рейнолдс СРЕДНЕВЕКОВЫЕ КОРНИ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ, с. 90
Дж. Уолкер В КОЛОКОЛЬНОМ ЗВОНЕ МОЖНО РАССЛЫШАТЬ ТАКИЕ ЗВУКИ, КОТОРЫЕ КОЛОКОЛ НЕ ИЗДАЕТ, с. 100
А. Дьюдни ПРОГРАММА, ИГРАЮЩАЯ В ШАШКИ, ЧАСТО «ВИДИТ» ИГРУ НА ХОД ДАЛЬШЕ ПРОТИВНИКА, с. 106

ОКТАБРЬ

Р. Турко, О. Тун, Т. Аккерман, Дж. Поллак, К. Саган КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЯДЕРНОЙ ВОЙНЫ, с. 4
Г. Уриссон, П. Альбрехт, М. Ромер МИКРОБНОЕ ПРОИСХОЖДЕНИЕ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ, с. 18
Дж. Матис, Б. Савадж, Дж. Кассинелли ОБЪЕКТ НЕОБЫЧАЙНО ВЫСОКОЙ СВЕТИМОСТИ В БОЛЬШОМ МАГЕЛЛАНОВОМ ОБЛАКЕ, с. 30
Т. Хантер БЕЛКИ ОНКОГЕНОВ, с. 40
Э. Моктесума ВЕЛИКИЙ ХРАМ ТЕНОЧТИЛАНА, с. 52
Д. Мандоли, У. Бриггс СВЕТОВОДЫ У РАСТЕНИЙ, с. 66
К. Хорн, К. Икеути МЕХАНИЧЕСКОЕ МАНИПУЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫМИ ОБЪЕКТАМИ, с. 76
П. Стэси, В. Кёниг ГРУППОВОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ У ЖЕЛУДЕЧНОГО ДЯТЛА, с. 88
Дж. Уолкер РАЗМЫШЛЕНИЯ О ТОМ, КАК ПАДАЮТ ПОСТАВЛЕННЫЕ В РЯД КОСТЯШКИ ДОМИНО, И О ТОМ, КАК ОНИ СОХРАНЯЮТ РАВНОВЕСИЕ НА КРАЮ СТОЛА, с. 104
А. Дьюдни ОХОТА С КОМПЬЮТЕРОМ НА БОБРА-РАБОТЯГУ, ИЛИ ПОИСК САМОЙ ТРУДОЛЮБИВОЙ МАШИНЫ ТЬЮРИНГА, с. 98

НОЯБРЬ

А. Кэй ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭВМ, с. 4
Н. Вирт СТРУКТУРЫ ДАННЫХ И АЛГОРИТМЫ, с. 16

Л. Теслер ЯЗЫКИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ, с. 27
П. Деннинг, Р. Браун ОПЕРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, с. 37
Т. Виноград ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАБОТЫ С ЕСТЕСТВЕННЫМИ ЯЗЫКАМИ, с. 46
А. Ван Дам ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МАШИНОЙ ГРАФИКИ, с. 60
М. Леск ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ, с. 74
А. Спектор ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ, с. 86
С. Уолфрэм ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, с. 98
Д. Ленат ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА, с. 112
Дж. Уолкер ФИЗИКА СЛОЖНЫХ УДАРОВ ПРИ ИГРЕ В РЭКИТБОЛ, с. 122
А. Дьюдни НЕДОСТАТКИ ЭЛЕКТРОННОГО ГЛАЗА ГОВОРЯТ О ТОМ, ЧТО ЗРИТЕЛЬНОЕ ВОСПРИЯТИЕ НЕВОЗМОЖНО БЕЗ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ВИДИМОМ ОБЪЕКТЕ, с. 127

ДЕКАБРЬ

С. Прузинер ПРИОНЫ, с. 4
Д. Андерсон, А. Дзевонский СЕЙСМИЧЕСКАЯ ТОМОГРАФИЯ, с. 16
А. Каплан ХРЯЩ, с. 26
М. Хак ЭПСИЛОН ВОЗНИЧЕГО, с. 36
О. Хоквин ПОМУТНЕНИЕ ХРУСТАЛИКА, с. 46
В. И. Гольданский КВАНТОВАЯ ХИМИЯ ГЛУБОКОГО ХОЛОДА, с. 56
Ф. Кихлиштедт ХРУСТАЛЬНЫЙ ДВОРЕЦ, с. 68
Т. Дилхей СТОЯНКА ПОЗДНЕЛЕДНИКОВОГО ПЕРИОДА В ЮЖНОМ ЧИЛИ, с. 84
Дж. Уолкер «ЧАЙНИКОВЫЙ» ЭФФЕКТ, ИЛИ ПОЧЕМУ ЖИДКОСТЬ, ВЫЛИВАЕМАЯ ИЗ СОСУДА, ТЕЧЕТ ПО ЕГО НАРУЖНОЙ СТЕНКЕ, с. 92

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 21.11.84.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/8.
Гарнитуры таймс, гелиос.
Офсетная печать.
Объем 6,75 бум. л.
Усл.-печ. л. 13,50.
Уч.-изд. л. 17,47.
Усл. кр.-отт. 42,86.
Изд. № 36/3482. Заказ 767.
Тираж 20000 экз. Цена 2 р.
Издательство «Мир»
Набрано в редакции по подготовке оригинал-макетов издательства «Мир» на фотонаборном комплексе «Компьюграфик»
Типография В/О «Внешторгиздат» Государственного комитета СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
127576, Москва, Илимская, 7

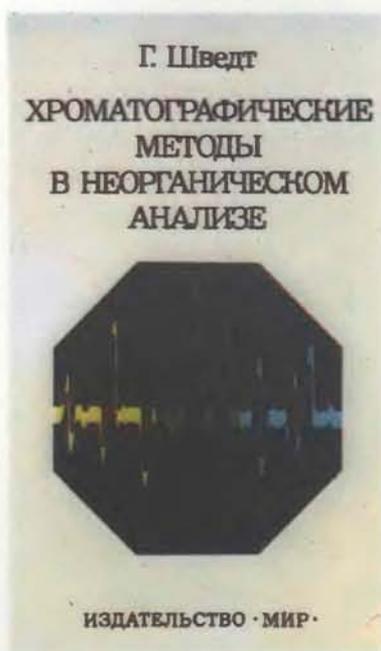


Издательство МИР предлагает:

Г. Шведт

**ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
В НЕОРГАНИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ**

Перевод с английского



Книга посвящена одному из наиболее универсальных аналитических методов—хроматографии, причем рассматриваются все основные виды хроматографии—газовая, колоночная, жидкостная, тонколинейная, что позволяет выбрать оптимальный способ анализа неорганических соединений. Положительными

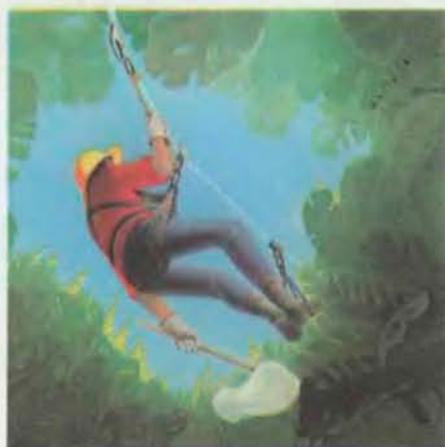
особенностями монографии являются ее практическая направленность и лаконичность изложения в сочетании с превосходной организацией изложенного материала.

Для химиков, металлургов, биологов, медиков, геологов, работников служб контроля окружающей среды.

1984, 15 л. Цена 2 р. 60 коп.



В следующем номере:



ОРИГИНАЛЬНЫЙ СПОСОБ ИЗУЧЕНИЯ
ДРЕВЕСНОГО ПОЛОГА
ТРОПИЧЕСКОГО ДОЖДЕВОГО ЛЕСА

ЦЕННОСТЬ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУКИ

«ИНФРАКРАСНОЕ» НЕБО

РЕЦЕПТОРЫ ЛИПОПРОТЕИНОВ,
ОБМЕН ХОЛЕСТЕРОЛА И РАЗВИТИЕ АТЕРОСКЛЕРОЗА

СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ХЛЕБОПЕЧЕНИЯ

НОВОЕ В ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКЕ

ЖИЛИЩА ИЗ КОСТЕЙ МАМОНТА
НА РУССКОЙ РАВНИНЕ

ЭКСПЕРИМЕНТИРОВАНИЕ
В ГОТИЧЕСКОЙ АРХИТЕКТУРЕ

ОПТИЧЕСКИЕ ОПЫТЫ
С МАЛЕНЬКИМ ШАРИКОМ ОТ ПОДШИПНИКА

«ХАНОЙСКАЯ БАШНЯ»
И «КИТАЙСКИЕ КОЛЬЦА»