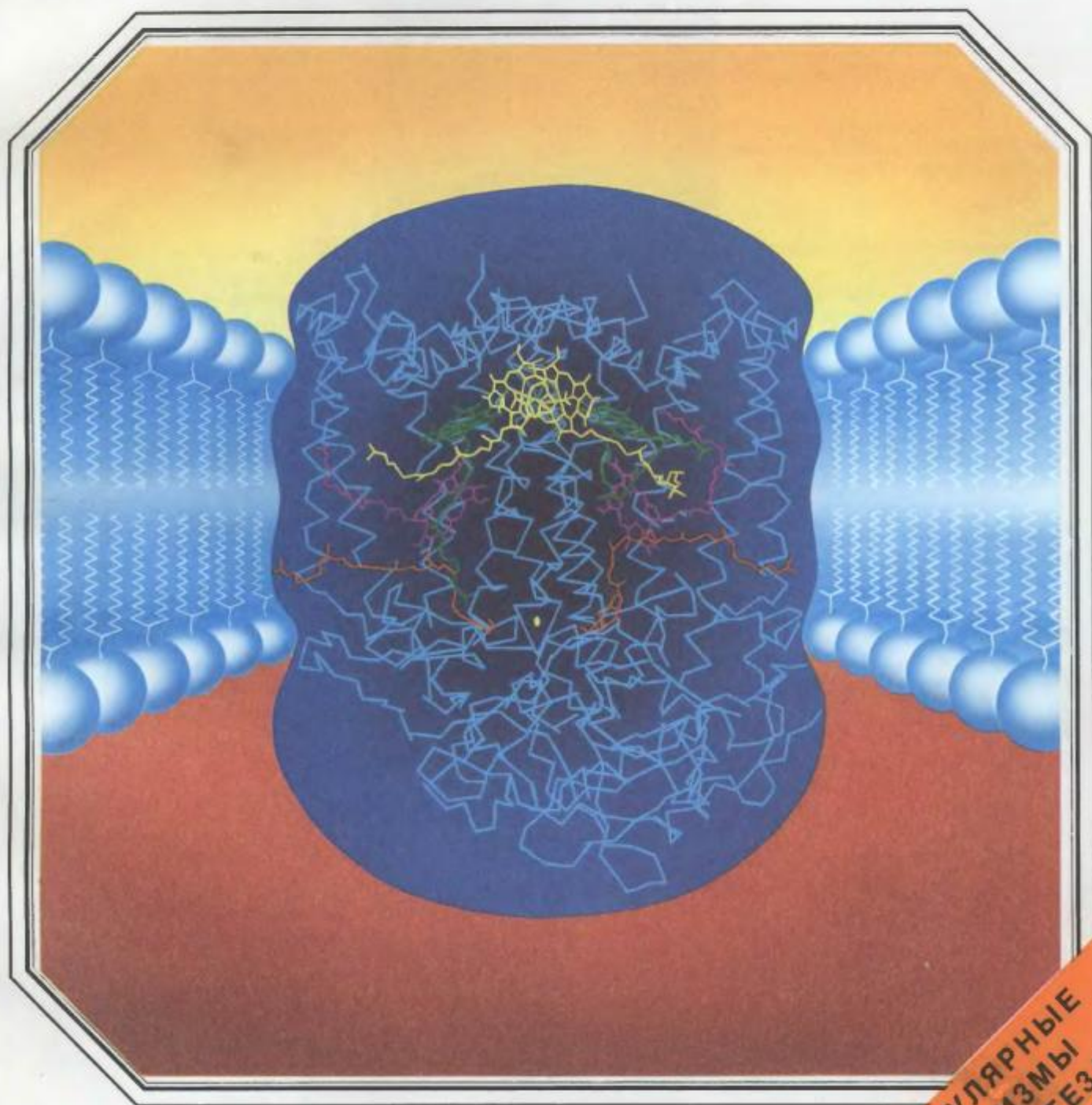


В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Август **8** 1987

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ
МЕХАНИЗМЫ
ФОТОСИНТЕЗА

Издательство МИР предлагает:

С. Тейлор, С. Мак-Леннан
**КОНТИНЕНТАЛЬНАЯ КОРА,
ЕЕ СОСТАВ И ЭВОЛЮЦИЯ**

Перевод с английского



Новая фундаментальная работа известных австралийских петрологов-геохимиков, подытоживающая опыт многолетних исследований по истории формирования и развития континентальной коры, а также ее состава. Приводится обширный справочный материал по распределению редких элементов и их изотопов в древних осадочных, метаморфических и магматических породах. На основании новых данных обсуждаются наиболее вероятные модели эволюции земной коры материков.

Книга имеет важные достоинства: глубокая проработка первичного фактического материала; единая методика обработки результатов и их представление в виде графиков, диаграмм и таблиц, позволяющих читателю самому делать те или иные заключения независимо от вывода авторов; простое и ясное изложение материала, что делает книгу доступной не только специалисту-геохимику, но и геологам других специальностей.

Для геологов широкого профиля, петрологов, геохимиков.

1988, 27 л. Цена 3 р. 90 к.

Предварительные заказы на книги выпуска 1988 г.
принимаются магазинами научно-технической литературы
Издательство заказов не принимает.



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

№ 8 · АВГУСТ 1987

В номере:

СТАТЬИ

- 4 Засуха в Африке *Майкл Х. Гланц*
Это периодически повторяющееся климатическое явление часто наносит большой урон экономике стран Африки южнее Сахары — крупнейшей тропической пустыни земного шара. Чтобы производство сельскохозяйственной продукции в странах этого региона было стабильным, проводимая в них экономическая политика должна учитывать местные климатические условия
(Scientific American, June 1987, Vol. 256, No. 6)
- 12 Молекулярные механизмы фотосинтеза *Дуглас К. Юван, Барри Л. Маррс*
Сочетание методов спектроскопии, рентгеноструктурного анализа и молекулярной генетики позволяет получить детальную картину событий, происходящих при фотосинтезе, и выявить роль различных молекул, участвующих в этом процессе
(Scientific American, June 1987, Vol. 256, No. 6)
- 20 Гравитационно-волновые обсерватории *Эндрю Д. Джеффрис, Питер Р. Соулсон, Роберт Е. Сперо, Майкл Э. Цукер*
Из общей теории относительности Эйнштейна следует, что Земля «омывается» гравитационными волнами, пришедшими от далеких звезд. К началу 90-х годов планируется создать обсерватории, которые смогли бы принимать даже внегалактические гравитационные сигналы
(Scientific American, June 1987, Vol. 256, No. 6)
- 30 Анатомия памяти *Мортимер Мишкин, Тим Эппенцеллер*
Изучение природы амнезии у человека показало, каким образом глубинные структуры мозга могут взаимодействовать с системами восприятия во внешних слоях мозга при преобразовании сенсорного стимула в след памяти
(Scientific American, June 1987, Vol. 256, No. 6)
- 42 Обрушение вулканов *Питер Френсис, Стивен Селф*
В жизненном цикле многих вулканов катастрофическое обрушение, можно сказать, «нормальное» явление. О том, как происходит этот процесс, рассказывают отложения, оставленные опустошительными лавинами обломочного материала
(Scientific American, June 1987, Vol. 256, No. 6)
- 52 Как тюлень Уэдделла приспособлен к нырянию *Уоррен М. Запол*
Благодаря спадлощамся легким и селезенке, действующей подобно аквалангу, тюлень Уэдделла может нырять глубже и задерживать дыхание дольше, чем большинство других млекопитающих
(Scientific American, June 1987, Vol. 256, No. 6)
- 60 Коммутационная машина *У. Дэниел Хиллис*
В «параллельном компьютере» новой конструкции вместо одного центрального процессора, как в обычной ЭВМ, используется сразу 65 536 процессоров. Достижимое при этом быстродействие в скором времени может коренным образом изменить ситуацию в нескольких областях, включая искусственный интеллект
(Scientific American, June 1987, Vol. 256, No. 6)
- 70 Рождение программы разработки бактериологического оружия в США *Бартон Дж. Бернштейн*
Недавно рассекреченные правительственные документы проливают свет на то, как в США начинались исследования, связанные с разработкой бактериологического оружия. Осуществление этой программы, относительно которой сейчас возникли острые дискуссии, начиналось с создания секретных лабораторий во время второй мировой войны
(Scientific American, June 1987, Vol. 256, No. 6)

РУБРИКИ

3 Об авторах

19, 41, 50, 69,

88, 95 Наука и общество

59 50 и 100 лет назад

78 Наука вокруг нас

84 Занимательный компьютер

90 Книги

103 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Harry Myers

PUBLISHER

Jonathan Piel

EDITOR

BOARD OF EDITORS

Philip Morrison

BOOK EDITOR

Armand Schwab, Jr.

Timothy Appenzeller

Timothy M. Beardsley

John M. Benditt

David L. Cooke, Jr.

Ari W. Epstein

Gregory R. Greenwell

John Horgan

Robert Kunzig, James T. Rogers

Ricki L. Rusting, Karen Wright

Samuel L. Howard

ART DIRECTOR

Richard Sasso

DIRECTOR OF PRODUCTION

Georg-Dieter von Holtzbrinck

PRESIDENT

Gerard Piel

CHAIRMAN OF THE BOARD

© 1987 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. Шенелева

научные редакторы

З. Е. Кожанова О. К. Кудрявов

Т. А. Румянцев А. М. Смотров

А. Ю. Краснопевцев

литературные редакторы

М. М. Попова

М. В. Суrowова

художественный редактор

С. А. Стулов

заведующая редакцией

Т. Д. Франк-Каменецкая

руководитель группы фотонабора

Г. С. Азимов

технический редактор

Л. П. Чуркина

корректор

Н. А. Вавилова

оформление обложки русского издания

М. Г. Жуков

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», 1987

На обложке



МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ФОТОСИНТЕЗА

На обложке изображена молекулярная структура фотосинтетического реакционного центра бактерии из рода *Rhodospseudomonas*. В нем осуществляются первичные процессы фотосинтеза. Реакционный центр, основу которого составляет комплекс белковых молекул (синий), располагается в толще мембраны особой структуры бактериальной клетки, называемой фотосинтетическим пузырьком. Мембрана образована двойным слоем липидных молекул, обращенных друг к другу своими гидрофобными «хвостами» (голубые). В белок погружены небольшие молекулы — простетические группы, формирующие две спирали. На пересечении этих спиралей находится специальная пара молекул хлорофилла (желтая), которая поглощает фотоны. Целостное представление о строении и функционировании фотосинтетического реакционного центра сложилось в результате разносторонних исследований (см. статью Дугласа К. Ювана и Барри Л. Маррса «Молекулярные механизмы фотосинтеза» на с. 12).

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Hank Iken

СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК
5 National Oceanic and Atmospheric Administration	42 Lunar and Planetary Institute, с разрешения Johnson Spaceflight Center	71 U.S. Army
6-8 Andrew Tomko	43-45 George V. Kelvin, Science Graphics	82 Quesada/Burke, с разрешения Washington National Records Center
9 Food and Agriculture Organization, National Aeronautics and Space Administration	46-47 Stephen Self	73 U.S. Army
10 Andrew Tomko	48 Cascades Volcano Observatory, U.S. Geological Survey	74 Quesada/Burke, с разрешения New York Public Library
13 Douglass C. Youvan, Massachusetts Institute of Technology	49 Quesada/Burke, с разрешения New York Public Library	75 U.S. Army
14-15 James Kilkelly	53 Randall W. Davis, Sea World Research Institute	78-82 Michael Goodman
16-17 Dana Burns	54-57 Tom Prentiss	85-87 Thomas C. Moore
21 Jon Brenneis	55 Tom Prentiss (вверху); Warren M. Zapol (внизу)	
22-25 George Retseck	61-62 Stephen Grohe	
26 George Retseck (вверху и внизу), James Kilkelly (посередине)	63-65 Gabor Kiss	
27-28 George Retseck	66 T. Alan Egolf, J. P. Massar	
31 James Kilkelly	67 Karl Sims	
32-39 Carol Donner		

Об авторах

Michael H. Glantz (МАЙКЛ Х. ГЛАНЦ «Засуха в Африке») возглавляет группу по изучению взаимного влияния окружающей среды и социальных явлений в Национальном центре атмосферных исследований (НЦАИ). Специалист в области электротехники, имеет степень бакалавра в области машиностроения для металлургии, которую получил в 1961 г. в Университете шт. Пенсильвания. После этого несколько лет работал на промышленных фирмах, а затем вновь перешел в Университет шт. Пенсильвания, где в 1970 г. ему была присвоена степень доктора философии. В НЦАИ работает с 1974 г.

Douglas C. Youvan, Barry L. Marrs (ДУГЛАС К. ЮВАН, БАРРИ Л. МАРРС «Молекулярные механизмы фотосинтеза»). Юван получил докторскую степень в области биофизики в Калифорнийском университете в Беркли. Впоследствии перешел в Лабораторию в Колд-Спринг-Харборе, а затем в Массачусетский технологический институт, где в настоящее время он ассистент. Маррс получил степень бакалавра в Уильямс-Колледже (г. Уильямстаун), степень доктора философии — в Университете западной резервной территории. Занимал должности профессора биохимии в Медицинской школе Сент-Луисского университета и старшего научного сотрудника в фирме Exxon Research and Engineering Company. В 1985 г. перешел в E.I. du Pont de Nemours and Company, Inc., где в настоящее время он управляющий научными исследованиями в области микробиологии. Сотрудничество этих ученых сложилось после того, как в 1981 г. Юван заинтересовался бактериальным фотосинтезом под впечатлением семинара, который вел Маррс в Лаборатории Мелвина Калвина в Беркли. Они открыли и охарактеризовали комплекс генов, кодирующих информацию, необходимую для осуществления первых стадий фотосинтеза.

Andrew D. Jeffries, Peter R. Saulson, Robert E. Spero, Michael E. Zucker (ЭНДРЮ Д. ДЖЕФФРИС, ПИТЕР Р. СОУЛСОН, РОБЕРТ Э. СПЕРО, МАЙКЛ Э. ЦУКЕР «Гравитационно-волновые обсерватории») интересуются трудно обнаружимыми явлениями в космосе. Джеффрис — физик-экспериментатор из Центра космических исследований Массачусетского технологического института (МТИ). Степень бакалавра в области физики получил в 1977 г. в Калифорнийском университете в Беркли, сте-

пень доктора философии — в 1983 г. в МТИ. Его научные интересы включают широкий круг проблем от твердотельных лазеров до анизотропии космического фонового излучения. Соулсон — один из ведущих исследователей на физическом факультете МТИ. После окончания Гарвардского колледжа в 1976 г. перешел в Принстонский университет, где ему была присуждена докторская степень за исследование скрытой массы в спиральных галактиках. В 1981 г. в МТИ он начинает изучение гравитационных волн. Сперо — сотрудник Калифорнийского технологического института (КТИ), физику изучал в Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе и в Калифорнийском университете в Ирвине, где в 1979 г. получил степень доктора философии. В 1980 г. перешел в КТИ, где занимается разработкой методов измерения микроскопических перемещений интерферометрическими способами. Такие измерения представляются решающими для обнаружения гравитационных волн. Цукер получил степень бакалавра в Рочестерском университете, сейчас работает над докторской диссертацией в КТИ.

Mortimer Mishkin, Tim Appenzeller, (МОРТИМЕР МИШКИН, ТИМ ЭППЕНЦЕЛЛЕР «Анатомия памяти»). Мишкин окончил Дартмут-Колледж (г. Ганновер) и Университет Мак-Гилла (г. Монреаль). В 1951 г. за исследование функций височной доли мозга у обезьян, которое он вел в Йельском университете, получил в Университете Мак-Гилла степень доктора философии. После этого перешел в Институт жизни (г. Хартфорд, шт. Коннектикут), где он участвовал в организации лаборатории по изучению поведения приматов. Одновременно работал в Медицинском центре Нью-Йоркского университета в Белвью; здесь он изучал последствия ранений мозга у ветеранов войны. В 1955 г. стал сотрудником отдела психологии Национального института психического здоровья, включившись в небольшую исследовательскую группу, занимавшуюся «нейропсихологией». Со временем эта группа выросла в целую лабораторию, руководителем которой Мишкин является с 1980 г. Он также президент Неврологического общества. Эппенцеллер — заместитель редактора журнала «Scientific American».

Peter Francis, Stephen Self (ПИТЕР ФРЕНСИС, СТИВЕН СЕЛФ «Обрушение вулканов») отличаются обра-

зованностью и широтой интересов. Они вышли из стран Содружества (Френсис из Замбии, бывшей Северной Родезии, а Селф из Англии), получили ученые степени в Имперском колледже науки и техники в Лондоне. Оба они — геологи и интересуются климатическими эффектами вулканических извержений. В настоящее время работают в Техасе. Френсис, защитивший диплом и получивший степень доктора философии в Имперском колледже, сотрудничает с факультетом наук о Земле Открытого университета в Англии и является приглашенным старшим научным сотрудником в Институте Луны и планет в Хьюстоне. Селф выполнял дипломную работу в Университете Лидса, а степень доктора философии получил в Имперском колледже. В настоящее время он доцент геологии в Техасском университете в Арлингтоне.

Warren M. Zapol (УОРРЕН М. ЗАПОЛ «Как тюлень Уэдделла приспособлен к нырянию») изучал биологию в Массачусетском технологическом институте. В медицинской школе Рочестерского университета ему была присвоена степень доктора медицины. В настоящее время профессор анестезиологии в Медицинской школе Гарвардского университета и в Массачусетской больнице общего типа. Занимается и практической работой в клинике, а именно анестезией органов грудного отдела при хирургическом вмешательстве и интенсивной терапии, но большую часть времени посвящает научным исследованиям. В Массачусетской больнице он возглавляет специализированный центр (организованный Национальными институтами здоровья) по изучению нарушений дыхательной системы у взрослых. Начиная с 1977 г. принимал участие в шести экспедициях в Антарктику с целью изучения физиологии тюленей, в частности их приспособлений к нырянию.

W. Daniel Hillis (У. ДЭНИЕЛ ХИЛЛИС «Коммутационная машина») — основатель фирмы Thinking Machine Corporation («Думающие машины») и автор архитектуры коммутационной машины. В 1978 г. окончил Массачусетский технологический институт, а в 1982 г. получил там же степень доктора наук. В 1985 г. его докторская диссертация была удостоена премии ассоциации АСМ, присуждаемой за лучшие диссертационные работы. Эта работа была выполнена им в Лаборатории искусственного интеллекта МТИ. Помимо данной статьи Хил-

(продолжение см. на с. 103)

Засуха в Африке

Это периодически повторяющееся климатическое явление часто наносит большой урон экономике стран Африки южнее Сахары — крупнейшей тропической пустыни земного шара. Чтобы производство сельскохозяйственной продукции в странах этого региона было стабильным, проводимая в них экономическая политика должна учитывать местные климатические условия

МАЙКЛ Х. ГЛАНЦ

ИЗ СТРАН Африки южнее Сахары то и дело поступают фотоснимки с изображением голодающих детей, истощенных животных, переполненных лагерей мигрантов и пересохших колодезев. Эти безрадостные картины — следствие периодически случающихся здесь засух. Уже более 20 лет к этому району приковано внимание всего мира. Человечество озабочено положением живущих здесь людей, нуждающихся в помощи.

Каждый раз, когда в этом африканском регионе наступает засуха, правительства, международные организации и благотворительные общества в срочном порядке разрабатывают программы чрезвычайной помощи; немало пишется о неправильном использовании земель, о дезертификации. Однако возвращаются дожди, как, например, в прошлом году, и ощущение тревоги спадает, о засухе уже говорят как о чем-то прошлом. Но факт остается фактом. Засуха — характерная черта климата в этом регионе, и она вновь и вновь будет приходить сюда. Это обстоятельство тесно связано с проблемой обеспечения устойчивого и достаточного по объему производства сельскохозяйственной продукции в большинстве африканских стран южнее Сахары, и поэтому его больше нельзя не учитывать в планах их развития. Первый шаг на пути к более глубокому пониманию такого явления, как засуха, заключается в том, чтобы разобраться в причинах, которые ее вызывают. Затем можно ставить вопрос о последствиях засух и способах борьбы с ними.

Наблюдаемые на африканском континенте засухи вряд ли имеют одну причину, поэтому искать ее бесполезно. Различия в атмосферных процессах и топографические особенности

местности обуславливают многообразие режимов климата на локальном и региональном уровнях. Отметим также, что населяющие рассматриваемый район многочисленные народности применяют самые разнообразные формы землепользования с различным уровнем потребления водных ресурсов.

В мировом масштабе засухи — довольно обычное явление. Картина может сильно меняться год от года. В одном году их может быть мало, в другом — много. В региональном же масштабе в некоторых районах один сезон дождей, в других — два. В одних районах дожди выпадают зимой, в других — летом. Например, в западных районах Сахеля — области, являющейся переходной зоной между Сахарой и влажной саванной к югу, сухой сезон длится восемь месяцев, а сезон дождей — четыре, которые приходятся на летний период в Северном полушарии. На локальном уровне колебание количества осадков как во временном, так и в территориальном разрезе на протяжении одного дождливого сезона может быть весьма значительным.

ОДНА ИЗ главных трудностей в исследовании засух заключается в том, что это явление не имеет четких временных границ. Как начало, так и конец засухи часто трудно установить, потому что ее проявление не отличается резко от обычных сухих пери-

одов. «Первый недождливый день в период хорошей погоды можно с тем же основанием считать началом засухи, что и последний день, — заявил однажды сотрудник американского Бюро погоды И. Тэннехил, — но никто точно не знает, насколько суровой она будет до тех пор, пока не пройдет последний сухой день и снова не начнутся дожди».

Для разных людей засуха означает не одно и то же, в зависимости от их заинтересованности или потребности в дождливой погоде. По общепринятым представлениям, засуха — это метеорологическое явление. Но случаются также сельскохозяйственные и гидрологические засухи. Эти понятия не являются синонимами.

Метеорологическую засуху можно определить по степени сухости (измеряемую выраженным в процентах понижением количества выпавших за год или за сезон осадков относительно среднеемноголетних показателей) и по продолжительности сухого периода в данном районе. Существует несколько десятков таких определений, потому что они часто отражают специфические условия того или иного региона и зависят от той деятельности людей, для которой измеряется количество осадков. Иногда метеорологическую засуху трудно идентифицировать с определенной степенью надежности, частично из-за сложной природы самого явления и частично из-за того, что метеорологическая и

ОЗЕРО ЧАД, расположенное на границе Камеруна, Чада, Нигера и Нигерии, значительно обмелело с 60-х годов в результате длительной засухи в зоне Сахеля на западе Африки. В 1972 г., когда с борта искусственного спутника Земли «Landsat» был сделан снимок (вверху), площадь поверхности озера составляла 25 тыс. кв. км. В 1979 г. после нескольких лет с осадками ниже среднегодовой нормы площадь озера стала менее 2 тыс. кв. км, как показал снимок (внизу), сделанный другим искусственным спутником «Landsat». На снимке видны древние дюны, которые в течение долгого времени были скрыты под водой.



климатологическая информация во многих африканских странах имеется лишь по немногим годам или она не отвечает требуемому качественному уровню. Кроме того, сам по себе показатель количества осадков часто не может быть использован при разработке политики и планировании сельскохозяйственного производства из-за наличия других переменных (влажность почвы, температура воздуха и интенсивность испарений), которые влияют на реальный эффект от выпадения осадков.

С точки зрения сельского хозяйства засухой считаются такие погодные условия, при которых выращиваемые культуры не получают достаточно влаги во время их роста и созревания. Время выпадения осадков в течение всего вегетационного периода является столь же важным показателем, как и их абсолютное количество за месяц или за сезон, поскольку потребность во влаге у растений по мере роста меняется. Как недавно показали М. Деннет (Университет Ридинга) и его коллеги Дж. Элстон и Дж. Роджерс, сезонное распределение дождей в западных районах Сахеля изменилось в первую очередь за счет снижения ко-

личества осадков в августе, который в среднем является самым влажным месяцем. Для сельского хозяйства такое изменение неблагоприятно. Чтобы узнать, носит ли оно характер тренда, необходимо обратиться к ретроспективным данным.

Гидрологическая засуха отмечается тогда, когда уровень воды в водоемах опускается ниже определенной отметки, установленной для данного периода времени. Чаще всего считается, что такая засуха имеет место, если уровень воды снижается настолько, что возникают значительные трудности в осуществлении определенных видов человеческой деятельности, таких, как поливное земледелие и производство электроэнергии на гидроэлектростанциях. В Западной Африке с конца 60-х годов отмечается резкий спад стоков на реках Нигер, Чэри и Синегал.

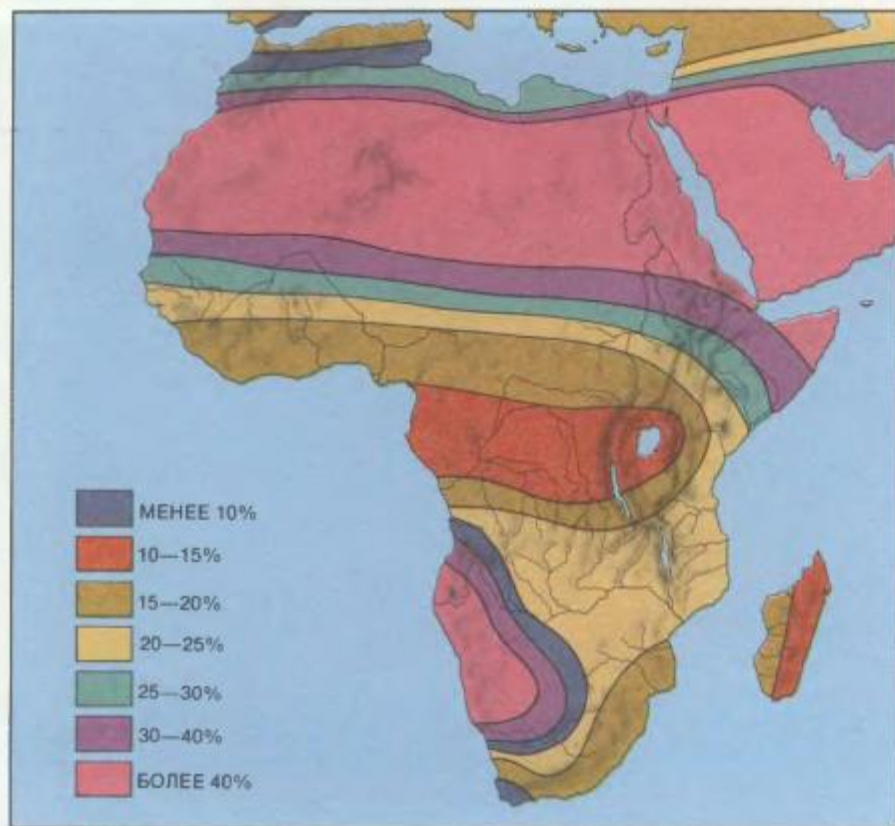
ЕСЛИ ИСХОДИТЬ из понятия метеорологической засухи, то на территории Западной Африки наблюдается 17-летний «сухой период». Данные за прошлые годы указывают на то, что в упомянутом районе в течение XX в. это уже третий сильно вы-

раженный засушливый период. Анализируя данные за более длительные периоды в прошлом, можно обнаружить, что климатические изменения происходят в нескольких временных масштабах. В рамках рассматриваемой проблемы для нас представляют интерес три таких масштаба — тысячелетие, десятилетие и год.

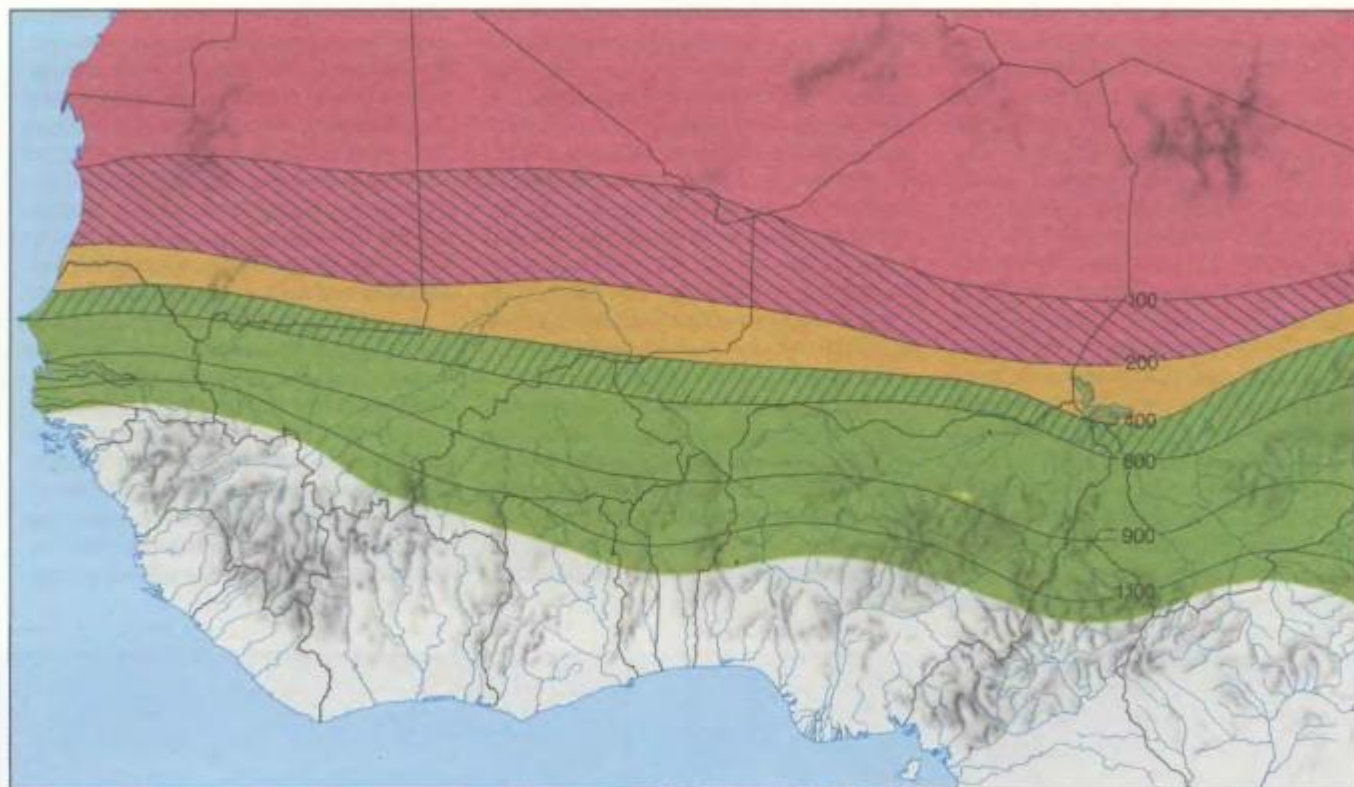
Что касается климатических изменений в тысячелетнем масштабе, то ряд исследователей при объяснении тенденции к аридизации климата, которая наблюдается в странах Африки южнее Сахары, ссылаются на действие так называемого механизма Миланковича. Как известно, в 1930 г. сербский астроном М. Миланкович высказал гипотезу о том, что изменения эллиптической орбиты, по которой наша планета движется вокруг Солнца, могут оказывать влияние на климат. Такие изменения, происходящие за периоды в несколько тысячелетий, обусловлены гравитационными силами, действующими на Землю со стороны крупнейших планет Солнечной системы.

Под влиянием этого механизма примерно 10 тыс. лет назад Северное полушарие получало солнечной энергии примерно на 8% больше в летний период и на 8% меньше в зимний период по сравнению с количеством энергии, поступающей от Солнца на Землю в наши дни. Поэтому летние периоды тогда, как правило, были теплее, а зимние — холоднее. В результате этого увеличения амплитуды сезонных колебаний температуры в Северном полушарии неизбежно должно было произойти усиление как летней, так и зимней циркуляции муссонов. Именно вследствие этих циркуляций, особенно в летний период, в субтропиках наблюдаются дождливые сезоны.

По мнению Дж. Куцбаха (Висконсинский университет в Мадисоне) и А. Стрит-Перрота (Оксфордский университет), теоретическая модель климата, учитывающая эти и другие погодные вариации, способна достаточно надежно предсказывать изменения количества осадков в субтропиках Северной Африки, Южной и Юго-Восточной Азии и Центральной Америки. О том, что такие климатические изменения имели место в прошлом, свидетельствуют колебания уровня воды в озерах на протяжении последних 18 тыс. лет. Самые высокие уровни воды в озерах в основном приходились на период от 10 тыс. до 5 тыс. лет назад; в большинстве озер когда-то достигнутый максимальный уровень воды с тех пор продолжает снижаться, что говорит об очень медленной тенденции к аридизации. В насто-



КЛИМАТИЧЕСКИЕ РАЗЛИЧИЯ на африканском континенте показаны в виде областей с неодинаковым отклонением среднегодовой величины осадков от нормы. В тех областях, где количество осадков колеблется сильно и где их выпадает мало, особенностью климата является постоянная угроза засухи. В наибольшей степени это характерно для областей, отмеченных красным цветом (нижнее условное обозначение).



РАЙОНЫ ЗАПАДНОЙ АФРИКИ, начиная с тех, что окрашены в красный цвет, и далее вниз — это зона Сахары, Сахаро-Сахелийская подзона, зона Сахеля, ● Судано-

Сахелийская подзона и Суданская зона. Справа для каждой зоны указаны среднегодовые количества осадков в миллиметрах.

ящее время Земля находится на самом близком расстоянии от Солнца во время зимы в ее Северном полушарии. В ближайшие тысячелетия она снова будет на самом близком расстоянии от светила, но уже в период лета в Северном полушарии. Это приведет к увеличению муссонной активности (а стало быть, и количества осадков) в зонах с тропическим климатом.

В масштабе десятилетий и отдельно взятых годов предположения относительно причин засухи в Африке в основном строятся на учете как природных, так и антропогенных факторов. Под природными факторами понимаются случайные кратковременные флуктуации климата, долговременное климатическое изменение, колебания температуры воды на поверхности Атлантического океана, Эль-Ниньо и связанные с ним события в южном полушарии, вызывающие климатические аномалии, которые являются примером того, что метеорологи называют телесвязью, имея в виду связь погодных явлений, наблюдающихся на больших расстояниях друг от друга. В качестве антропогенных факторов выдвигаются как увеличение в атмосфере диоксида углерода (углекислого газа) и других относительно активных газов, так и изменение земной поверхности.

СРЕДИ кратковременных климатических флуктуаций засухи в засушливых и полусухих районах можно рассматривать как часть «нормального» климата. Для таких районов статистика среднегодового количества осадков получается искаженной, поскольку незначительное число лет с большим количеством осадков усредняется с учетом значительно большего числа лет, когда осадков выпадало мало. Число лет, в которых количество выпавших осадков близко к среднему, сравнительно невелико. Говорить о засухе в этих районах просто как о явлении, выражающемся в отклонении количества осадков от среднегодовой величины, было бы ошибочным. Чтобы составить более правильное представление о динамике осадков в том или ином районе Африки, необходимо обратиться также к другим статистическим показателям, таким, как средняя норма осадков (величина, соответствующая середине упорядоченного диапазона зарегистрированных количеств осадков), диапазон (самое высокое и самое низкое значения) и мода (наиболее часто встречающаяся величина).

Результаты палеонтологических исследований показывают, что в различных районах Африки южнее Сахары имели место как длительные влажные периоды, так и длительные

сухие периоды, продолжительность которых составляла по несколько тысячелетий. Многие исследователи проанализировали статистические и исторические данные с целью выявления засушливых циклов в определенных районах, но их заявления об обнаружении таких циклов не получили широкого научного признания. И действительно, полученные ими данные указывают на отсутствие строгой периодичности засух. Таким образом, можно сделать заключение, что засуха — это явление повторяющееся и в то же время не периодическое.

Что же касается продолжительных климатических изменений, то по этому вопросу в начале 70-х годов климатологи вели научные дебаты, пытаясь установить, поднимается или опускается в наше время средняя температура на земном шаре. Сторонники гипотезы о глобальном похолодании утверждали, что сейчас надвигается новый ледниковый период, поскольку, как они говорили, межледниковый период, в который мы живем, уже длится столько, сколько обычно в прошлом длились все другие межледниковые периоды (от 10 тыс. до 15 тыс. лет). Они к тому же указывали, что за прошедшие 500 тыс. лет температура на Земле была столь же теплая, как в XX в., лишь 25 тыс. лет.

Около 10 лет назад доминирующей

стала точка зрения о том, что температура на земном шаре все же повышается. Тщательные наблюдения позволили установить, что начавшееся примерно в 1940 г. похолодание в Северном полушарии к середине 70-х годов сменилось потеплением. Более длительная тенденция к глобальному повышению температуры начиная примерно с 1900 г. объясняется главным образом увеличением в атмосфере диоксида углерода. Пока не ясно, приведет ли глобальное потепление к увеличению или уменьшению количества осадков в тех областях Африканского континента, которые в настоящее время, как считают, подвержены засухам.

Эль-Ниньо представляет собой периодическое вторжение теплых поверхностных вод в восточную экваториальную часть Тихого океана у берегов Перу и Эквадора. Это — локальное проявление так называемого Южного колебания, в основе которого лежит поочередное изменение разности средних значений давления (на уровне моря) между западной и восточной экваториальными частями Тихого океана. Вызываемые Эль-Ниньо атмосферные процессы связывают с засухами и другими климатическими аномалиями на земном шаре.

В 1982—1983 гг. интенсивность Эль-Ниньо была самой сильной по меньшей мере за последние сто лет с точки зрения как степени повышения температуры воды на поверхности океана, площади распространения, так и последствий для человека. Согласно данным Ю. Расмуссона (Университет Колледж-Парка в штате Мэриленд), между Эль-Ниньо и количеством осадков в Юго-Восточной Африке (Мозамбике и Зимбабве) существует сильная корреляция: в 22 случаях из 28 Эль-Ниньо сопровождается уменьшением количества осадков. В то же время Расмуссон отмечает и значительно более слабую корреляцию между Эль-Ниньо и количеством дождей в Эфиопии, западных районах Сахеля и в восточной части Африки (на территории Танзании, Кении и Уганды).

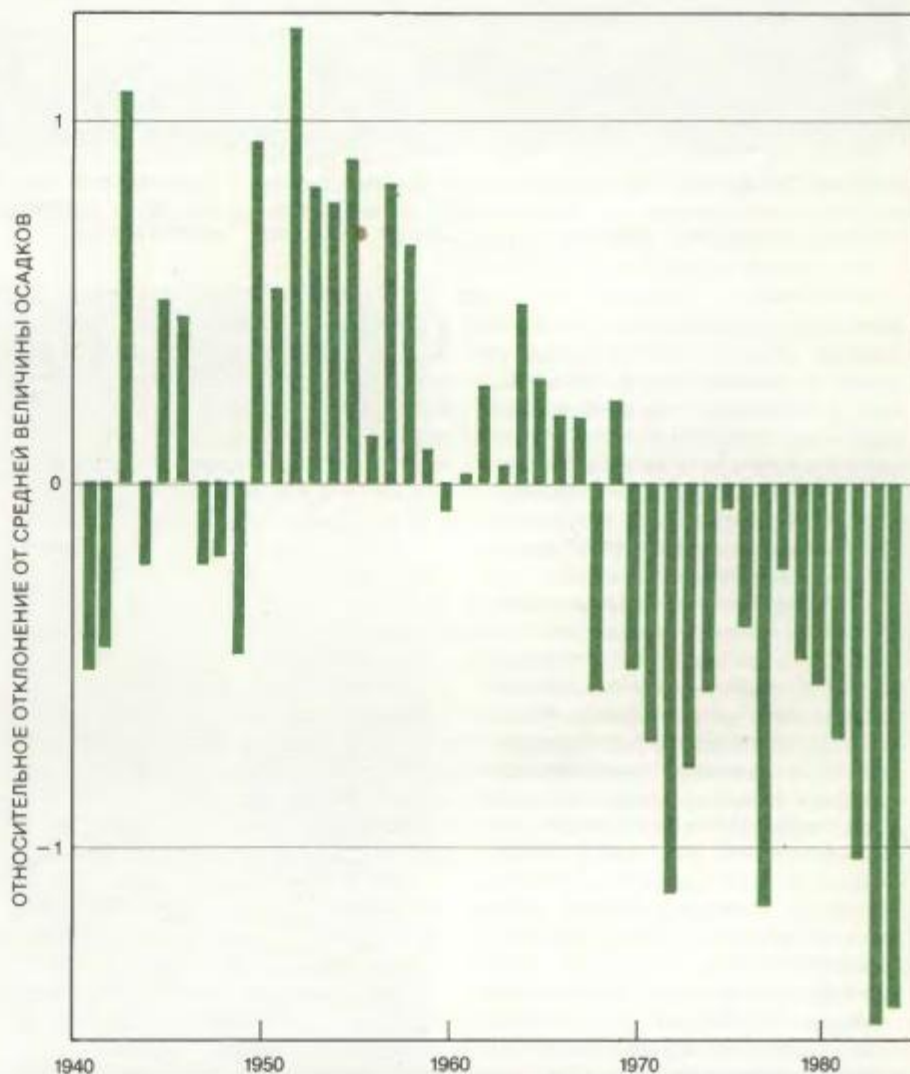
Засухи в западной части Африки, возможно, лучше коррелируют с колебаниями температуры воды на поверхности Атлантического океана. Исследователи Британского метеорологического бюро Д. Паркер, С. Фолланд и Т. Палмер, занимающиеся моделированием климата, считают, что «потепление воды в тропической зоне южной Атлантики, особенно в Гвинейском заливе, вызывает изменения в атмосферной циркуляции и перенос влаги в тропики, что ведет к засушливой погоде в зоне Сахеля во время влажного сезона».

СИЛЬНУЮ озабоченность вызывает такой важный вид человеческой деятельности, как сжигание колоссальных количеств минерального горючего. Все большее число ученых придерживаются мнения, что увеличивающееся содержание в атмосфере диоксида углерода и газов, активно задерживающих солнечную радиацию, таких, как метан, озон, фторуглеродистые соединения и оксиды азота, ведет к нагреванию ее нижних слоев. Это — газы, вызывающие парниковый эффект: они прозрачны для коротковолнового солнечного излучения (видимой его части), но поглощают или излучают обратно на Землю длинноволновое (инфракрасное) солнечное излучение, отражающееся от земной поверхности.

Повышение температуры в нижних

слоях атмосферы окажет влияние на гидрологические процессы и на распределение осадков по земной поверхности, хотя, как это будет проявляться в каждом конкретном месте, пока еще не ясно. Тем не менее некоторые ученые считают, что наблюдаемый в последние годы длительный период засухи в Африке, возможно, есть не что иное, как первое проявление локального влияния такого потепления.

Второй вид человеческой деятельности, который также вызывает тревогу, — это изменение земной поверхности в результате сокращения площади лесов, истощения пастбищ, опустынивания, а также использования древесины в качестве горючего и строительного материала. Все это может повысить альбедо земной поверхности, т. е. ее способность отра-



ПОКАЗАТЕЛЬ ДОЖДЕВЫХ ОСАДКОВ (слева) для области на западе Африки, включающей Сахель, был рассчитан П. Лэмбом из Управления водных ресурсов шт. Иллинойс на основе данных, полученных с 20 наблюдательных станций. Видно, что в период с 1968 по 1985 гг. количество осадков было меньше средне-

жать солнечный свет. В результате земная поверхность будет меньше поглощать солнечной энергии и потому станет холоднее. Это в свою очередь вызовет изменения в нижних слоях атмосферы. Если у поверхности Земли воздух будет холодный, а на некоторой высоте над ней теплый, то конвективные процессы в атмосфере станут менее интенсивными. Это скажется на замедлении формирования облаков и выпадения осадков.

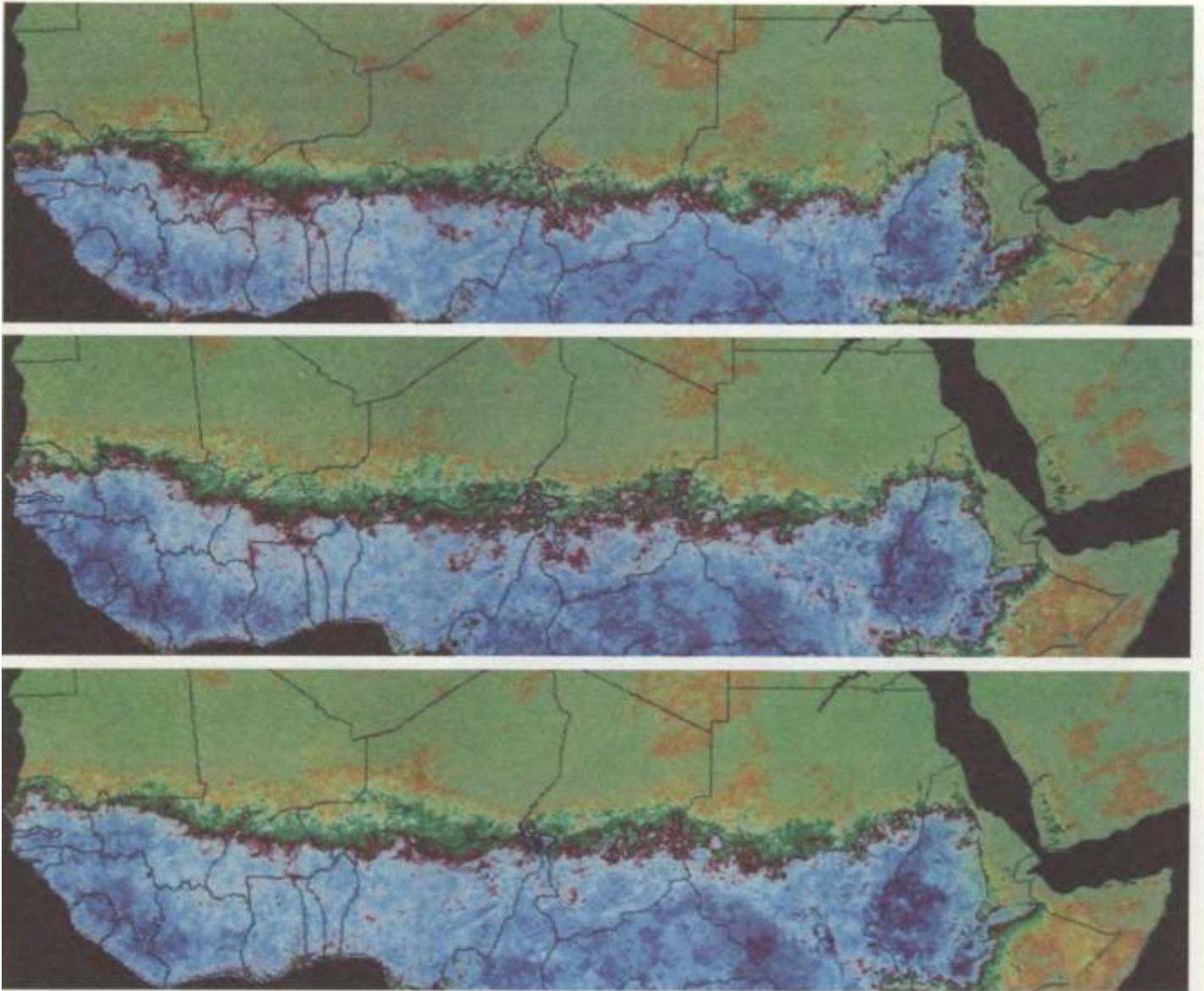
Дж. Чарни (Массачусетский технологический институт) и ряд других ученых 10 лет назад высказали предположение, что повышение альбедо земной поверхности благоприятствует засухе в региональном масштабе. В соответствии с гипотезой Чарни засуха становится как бы самоподдерживающейся и с каждым годом более су-

ровой по мере того, как люди в целях своего жизнеобеспечения вынуждены все в большей степени эксплуатировать истощающиеся земные ресурсы, тем самым уничтожая растительность на все большей территории. Справедливость гипотезы Чарни недавно была подвергнута сомнению. Ретроспективное исследование изменений в экологической обстановке в западных районах Сахеля позволило установить, что повышение альбедо в действительности оказалось намного меньшим по сравнению с тем, что было заложено в модели, рассчитанные на ЭВМ. Этот факт означает, что хотя изменения альбедо и могут иметь место, они, по всей вероятности, не оказывают ощутимого регионального эффекта.

Высказывается также предположе-

ние, что существуют и иные механизмы влияния изменений ландшафта на количество осадков. Например, такие изменения могут вызывать уменьшение в атмосфере числа ледяных ядер, образующихся в результате разложения листьев и других растительных остатков. Такие ледяные ядра способствуют выпадению осадков. Результаты исследований дают основание полагать, что ядра из органических веществ с большей легкостью вызывают выпадение осадков, чем ядра из неорганических веществ, таких, как пыль, потому что они требуют значительно более низких температур в облаках для того, чтобы в них началось смерзание твердых частиц.

Опустынивание — еще один вид изменения земной поверхности, который может влиять на режим выпадения



годовой нормы. В прошлом году дождей выпадало несколько больше и в результате растительный покров стал богаче, о чем можно судить по снимкам (справа), сделанным со спутника. Верхняя, средняя и нижняя фотографии

отражают состояние на август—сентябрь соответственно 1984, 1985 и 1986 гг. Светло-зеленый цвет соответствует на более бедной растительности, а голубой — самой богатой.

ния осадков за счет увеличения количества пыли в нижних слоях атмосферы. Частицы пыли поглощают и рассеивают солнечный свет, вызывая нагрев пыли в выше расположенных слоях и препятствуя прохождению части солнечного излучения к относительно более холодной земной поверхности. И в этом случае наблюдается ослабление атмосферных процессов, ведущих к выпадению осадков.

ВСЕ ЭТИ исследования геофизических условий связаны только с одной группой причин продолжительных засух и неурожаев в Африке. Они не учитывают такой важный аспект рассматриваемого явления, как сложную связь между изменением климата и человеческой деятельностью. Это взаимодействие необходимо принимать во внимание, если мы хотим понять, как засухи влияют на сельское хозяйство, экологические процессы и экономику в целом.

В Африке южнее Сахары, где благополучие более чем 80% населения непосредственно зависит от дождей, поскольку основным занятием местных жителей является сельское хозяйство, последствия засухи могут быть катастрофическими. Некоторые из проявлений засухи вполне очевидны: пересыхание водных источников, гибель посевов, неурожаи и нехватка кормов для скота. Столь же серьезными являются и другие, менее явные последствия. В их числе рост цен, увеличение импорта продовольствия, изменение рациона питания людей в пострадавших районах, а также усиле-

ние миграции населения из сельской местности в города.

Массовые миграции отражают тот факт, что вызванные длительной засухой неурожаи и резкое повышение цен на зерновые имеют катастрофические последствия для жителей деревни. В самом тяжелом положении оказывается беднейшая часть крестьянства, запасы зерна у которой часто скудны, а долги велики. Если сельскохозяйственная засуха длится в течение нескольких сезонов, крестьяне покидают свои деревни. Первыми уходят мужчины. Они идут на поиски заработка, чтобы прокормить себя и свою семью. Потом к ним присоединяются их жены и дети. Если засуха продолжается очень долго, как, например, в некоторых районах Африки южнее Сахары, мигранты часто оказываются в лагерях беженцев, физически истощенные после длительных поисков средств к существованию и полностью зависящие от выдаваемого им скудного пайка. Многие из таких временных лагерей превращаются в постоянные, что ведет к сокращению численности занятых в сельском хозяйстве и уменьшению производства продовольствия на душу населения.

Чаше всего первыми ощущают на себе воздействие засух кочевники, потому что они, как правило, обитают у самой кромки пустыни. В случае отсутствия дождей земли в северных районах Сахеля становятся скудными и непригодными для выпаса скота. Кочевники вынуждены перемещаться в поисках новых пастбищ. В условиях

сильной засухи скот гибнет как из-за нехватки кормов, так и из-за недостатка воды. Часто это наблюдается также вблизи постоянных и сезонных водоемов, так как чрезмерная концентрация скота ведет к полному уничтожению растительности и нарушению баланса между растительностью и запасами воды. В конечном счете многие кочевники оказываются там же, где и разорившиеся земледельцы — в лагерях беженцев, или уходят в города, где постепенно привыкают к городской жизни и утрачивают интерес к прежнему занятию, не желая вести суровую борьбу с капризами погоды.

В городах и лагерях беженцев у них развивается вкус к импортным продуктам питания. Они уже не желают возвращаться на свои прежние места и выращивать традиционные просо и сорго. Вместо этого они предпочитают оставаться в лагере или в городе и получать пшеницу и рис. Таким образом, долговременный и иногда скрытый результат засухи проявляется в растущем спросе на импортное зерно, что ведет к значительному истощению и без того небольших запасов иностранной валюты в государственной казне.

Чтобы поддерживать такие расходы, власти вынуждены изыскивать пути пополнения своих валютных запасов. Один из основных способов — выращивание экспортных культур, таких, как хлопчатник, арахис и кофе. Эти меры осуществляются в ущерб производству традиционных продовольственных культур, поскольку под экспортные культуры, как правило, отводятся плодородные, хорошо увлажняемые земли, на которых прежде выращивались продовольственные культуры. Следует отметить, что даже в периоды сильных засух в западных районах Сахеля и в Эфиопии в начале 70-х и 80-х годов производство экспортных культур поддерживалось на прежнем уровне и даже увеличивалось, в то время как производство продовольственных культур для внутреннего рынка резко падало.

ЗАСУХИ случаются ежегодно во многих районах земного шара, но они не всегда вызывают голод или острую нехватку продуктов питания. Бразилия, Индия и Индонезия могут служить примером государств, которые, прибегая к различным мерам, сумели успешно преодолеть трудности, порожденные засухами, имевшими место в последние годы.

Лишь небольшое число африканских стран, которые испытывали острую нехватку продовольствия в 1982—1984 гг., фактически голодало. К ним относятся Мозамбик, Ангола, Судан,



ПРОИЗВОДСТВО ПРОДОВОЛЬСТВИЯ на душу населения в африканских странах южнее Сахары с начала 60-х годов сократилось, в том числе из-за уменьшения количества осадков. Данные по Африке южнее Сахары (красный), исключая Южную Африку, сравниваются с Латинской Америкой (коричневый) и шестью государствами Южной Азии (серый). Данные получены на основе статистики министерства сельского хозяйства США.

Чад и Эфиопия*. Однако причина постигшего их голода не только в засухе, но и в том, что в этих странах велись внутренние войны. Отсюда очевидно, что засуха сама по себе необязательно обрекает людей на голод. Она, однако, обостряет другие проблемы, которые существуют в том или ином обществе.

Меры, обеспечивающие обществу защиту от катастрофических последствий засухи, можно сделать более надежными, если изучить исторический опыт народов, испытывавших в прошлом тяготы этого бедствия. Существует немалая вероятность того, что страна, в которой имеют место внутренние конфликты, в случае засухи в значительной мере подвергается угрозе голода. Показательным примером является Эфиопия, совсем недавно пережившая подобную тяжелую ситуацию**. Кроме того, хотя это и не столь очевидно, правительства, которые отводят лучшие земли под экспортные культуры, заставляют местных крестьян и скотоводов переселяться в сравнительно менее обеспеченные природными ресурсами районы. Поскольку в обработку вовлекаются земли в аридной и полупустынной зоне, которая в меньшей степени пригодна для богарного земледелия, увеличивается вероятность того, что засуха нанесет урон сельскому хозяйству и приведет к дезертификации. Это произойдет не вследствие неминуемых изменений режима осадков и их вероятного распределения, а потому, что новые виды деятельности будут сопряжены с потреблением на протяжении длительного времени такого количества воды, которое не могут дать дожди.

Несмотря на то что правительства африканских стран и их доноры рассматривают ирригацию в качестве эффективного средства борьбы с засухой, она часто не дает желаемого результата. Сооружение оросительных систем обходится дорого. Ирригационное земледелие требует не только прокладки каналов, трубопроводов и установки насосов, но и применения дорогостоящих удобрений, гербицидов и пестицидов. Традиционные продовольственные культуры, как правило, не могут окупить затрат на строи-

тельство таких систем, поскольку в большинстве африканских стран проводится политика искусственного занижения цен на продукты питания и закупочных цен на другие виды сельскохозяйственной продукции. В результате власти обычно отводят оросительные системы для выращивания экспортных культур, таких, как хлопчатник и сахарный тростник, чтобы получать столь необходимую иностранную валюту. В настоящее время ирригация охватывает лишь незначительную часть сельскохозяйственных угодий Африки и вряд ли она будет широко использоваться при производстве традиционных продовольственных культур.

Другим путем борьбы с засухами могут служить различные меры, направленные на изменение климата и погоды, в том числе за счет использования растительности (скажем, создание защитных полос из деревьев или озеленение опустыненных территорий), изменения атмосферной циркуляции (создание искусственных водохранилищ в бассейнах пересохших рек и озер, с тем чтобы увеличить содержание влаги в атмосфере за счет испарения) или регулирования осадков (создание протяженных муссонных фронтов и формирование облаков). Эффективность таких технических приемов, основанных на различных научных гипотезах, часто является спорной. Фактически они лишь могут служить для того, чтобы затухивать более глубокие экологические и социальные проблемы и порождать неоправданные надежды на их скорое решение.

Единственно приемлемыми мерами, реализация которых возможна в средние по длительности сроки, являются те, которые могут ослабить воздействие засухи на африканские страны. Это прежде всего увеличение во время засухи производства продовольственных сельскохозяйственных культур за счет снижения производства товарных культур или осуществление закупок продуктов питания в других странах для пострадавшего населения на средства, вырученные от экспорта товарных культур. Это также оказание помощи странам, охваченным голодом, в строгом соответствии с их нуждами, а также учет климатической ситуации и положения в сельском хозяйстве при строительстве новых продовольственных комплексов. При этом указанные меры должны основываться на понимании того, что метеорологическая засуха сама по себе обычно не причиняет того огромного вреда, какой ей принято приписывать. Следует уяснить, что последствия засухи могут наложиться на социальные, экономические или

политические проблемы и разрушить продовольственный потенциал общества.

К МЕРАМ, рассчитанным на более длительную перспективу, следует отнести разработку и осуществление такими организациями, как Всемирный банк, социальной учебной программы. Главной целью этой программы должна быть пропаганда идеи о том, что засуха является серьезным, периодически действующим разрушительным фактором, с которым государственным деятелям надо считаться. Необходимо также информировать руководителей государств, в которых засуха случается нередко, относительно природы этого явления как фактора, сдерживающего развитие. Такую программу следует осуществлять непрерывно, поскольку сроки пребывания у власти государственных деятелей часто бывают короче, чем промежутки между засухами.

Что касается самих руководителей, то для них важно не допускать переноса земледелия и пастбищного скотоводства в районы с недостаточным увлажнением и на неудобные земли. В противном случае последствия сельскохозяйственной засухи, в том числе гибель посевов и выветривание почвы, будут обострять нехватку продовольствия и усиливать процессы опустынивания.

Кроме того, правительства могли бы с большей эффективностью для сельского хозяйства использовать имеющиеся метеорологические службы. Такие службы могут оказать немалую пользу руководителям государств, показывая им, как информация о погоде может способствовать принятию правильных решений, касающихся развития сельского хозяйства. Они могут также выполнять роль одного из функциональных звеньев в системах раннего оповещения и сигнализировать правительственным органам о надвигающейся угрозе голода.

Сейчас, как никогда, стало ясно, что знание только физических параметров засухи (продолжительность, температура воздуха, размер охваченной ею территории и др.) фактически мало что дает в отношении понимания того, почему засухи, казалось бы, с одинаковыми физическими характеристиками приводят к неодинаковым последствиям в различных странах и даже происходящих в одной стране, но в разное время. Лучшему пониманию многих загадок может помочь только всестороннее и многоаспектное изучение этих явлений, при котором учитывались бы еще и социальные, экономические и культурные факторы.

* Согласно данным ООН, в указанный период фактически голодало около 30 млн. человек в 24 африканских странах. — *Прим. ред.*

** Фактически сложность ситуации в Эфиопии создается не столько внутренними причинами, сколько вмешательством извне во внутренние дела страны. Это характерно не только для Эфиопии, но и для других уже упомянутых автором африканских стран. — *Прим. ред.*

Молекулярные механизмы фотосинтеза

Сочетание методов спектроскопии, рентгеноструктурного анализа и молекулярной генетики позволяет получить детальную картину событий, происходящих при фотосинтезе, и выявить роль различных молекул, участвующих в этом процессе

ДУГЛАС К. ЮВАН, БАРРИ Л. МАРРС

ФОТОСИНТЕЗ — это процесс, в результате которого световая энергия солнца превращается в энергию, требующуюся для функционирования живых организмов. Фотосинтез является основой всего живого на земле. Энергия, преобразованная таким путем, в итоге используется не только самими фотосинтезирующими организмами, но также животными, которые ими питаются, затем существами, поедаящими животных, и так далее по пищевой цепи. Как происходит фотосинтез? Каковы молекулярные механизмы аккумуляции энергии солнца и ее преобразования в «энергию жизни»? Каким образом молекулы, участвующие в этом процессе, организованы в пространстве, и как это обеспечивает высокую скорость и эффективность фотосинтеза?

В настоящее время на эти фундаментальные вопросы уже складываются ответы. Усилиями исследователей, работающих в таких различных областях, как спектроскопия, рентгеноструктурный анализ и молекулярная генетика, в деталях выяснены молекулярные механизмы одного из типов фотосинтеза у бактерий.

Каждая область исследований освещает свои аспекты явления. Например, спектроскописты определили последовательность и временные параметры так называемых световых реакций фотосинтеза (начальные стадии процесса), а также скорости этих первичных взаимодействий. Специалисты по рентгеноструктурному анализу расшифровали пространственную структуру фотосинтетического реакционного центра (где происходят световые реакции) и выяснили взаимное расположение в нем отдельных молекул. Молекулярные генетики установили локализацию и организацию генов, кодирующих основные компоненты реакционного центра, так что теперь возможно манипулировать этими генами.

Информация о молекулярных взаимодействиях в реакционном центре, знание его структуры и генетической основы позволяют рассмотреть более детальные вопросы, связанные с его функционированием. Каков вклад каждой молекулы реакционного центра в его работу в целом? Чем обусловлены скорости отдельных стадий световых реакций? Как изменился бы процесс, если бы какой-либо элемент имел несколько другую форму или состав?

Мы, равно как и другие исследователи, пытаемся ответить на эти вопросы, используя огромные возможности молекулярной генетики. Один из авторов статьи — Д. Юван, — изменяя гены, кодирующие составные элементы реакционного центра, получил бактерий, реакционные центры которых определенным образом отличаются от обычных. Изучение процесса фотосинтеза у таких бактерий дает возможность выяснить, какое влияние оказывают эти изменения на эффективность фотосинтеза.

Применение подобных подходов дает возможность изучить механизмы фотосинтеза в мельчайших подробностях. Результаты этих экспериментов, увлекательные сами по себе, в дальнейшем, быть может, позволят создавать организмы, способные фотосинтезировать каким-либо специфическим образом или в неблагоприятных окружающих условиях.

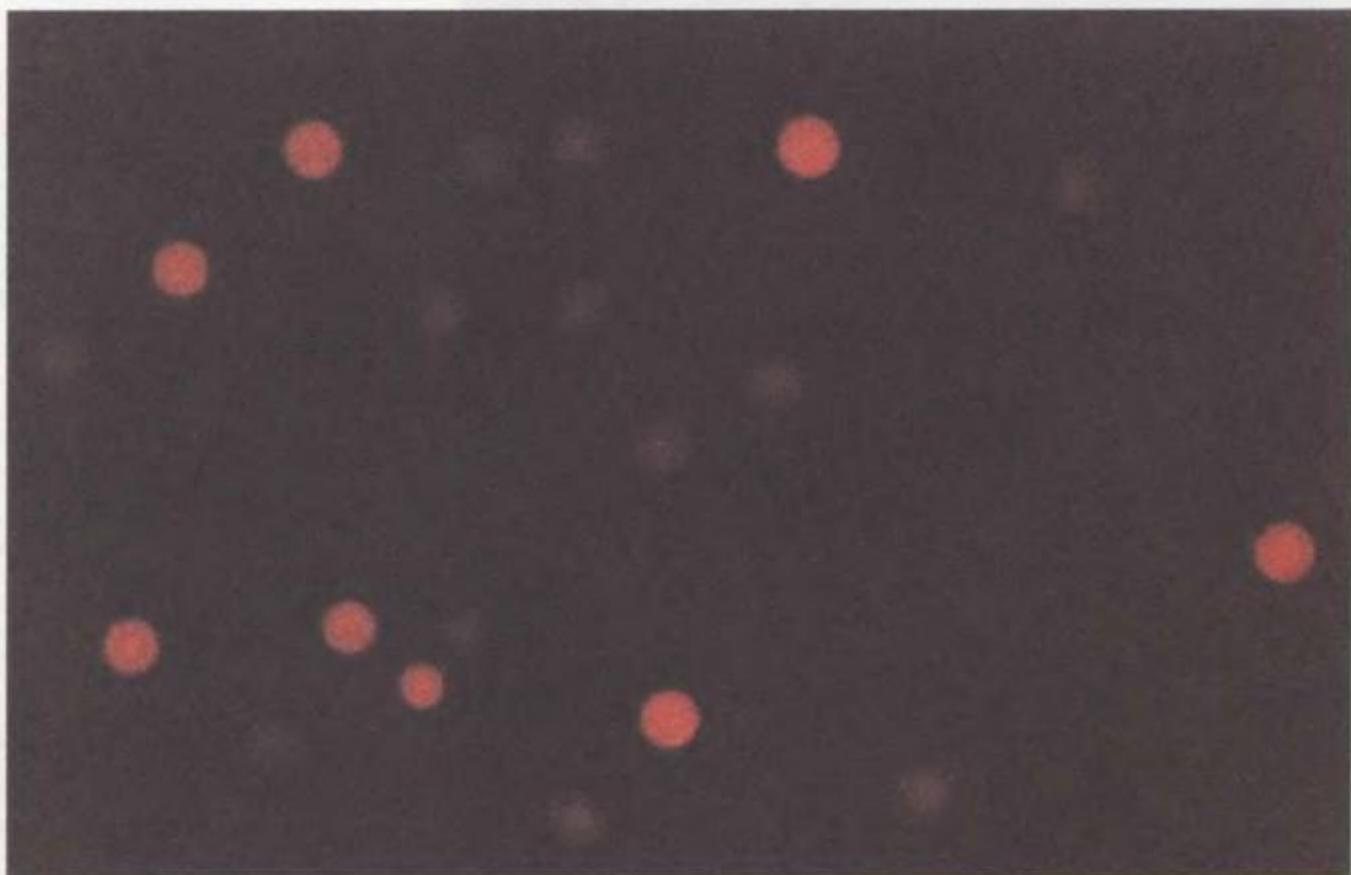
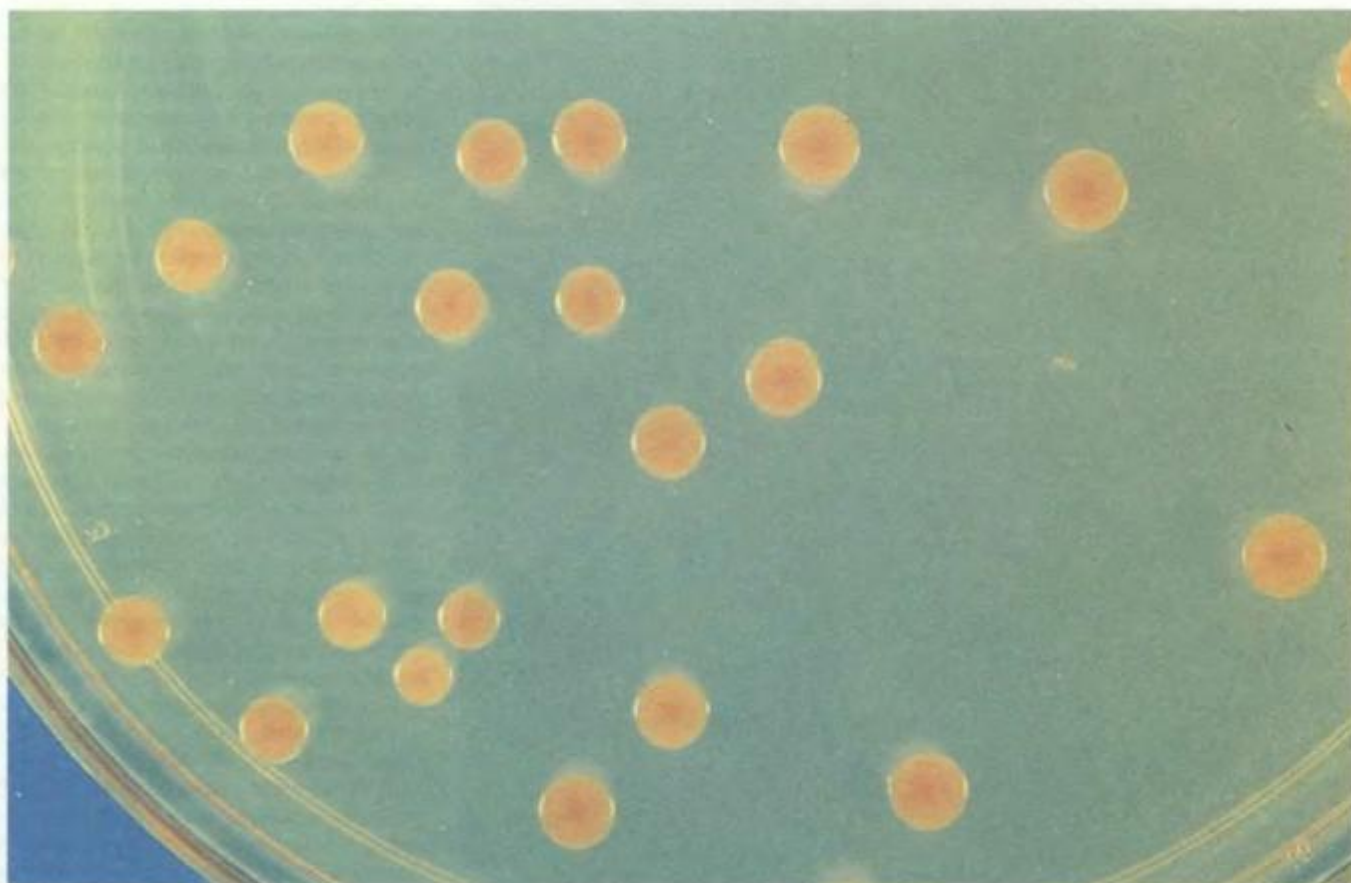
ОБЪЕКТОМ исследований, описываемых в данной статье, были бактерии, принадлежащие к роду *Rhodospseudomonas*. У современных родопсевдомонад процесс фотосинтеза практически такой же, как у тех бактерий, которые первыми освоили этот способ утилизации солнечной энергии более 3 млрд. лет назад, но несколько отличается от фотосинтеза высших растений. Прежде всего родопсевдомонады не выделяют кислород. Тем не менее процессы фотосин-

теза у высших растений и у бактерий имеют много общего. Например, и в том и в другом принимают участие молекулы хлорофилла.

Особый интерес к изучению родопсевдомонад обусловлен тем, что в отличие от высших растений эти бактерии могут получать необходимую для жизнедеятельности энергию не только путем фотосинтеза, но и другими независимыми способами. Благодаря этому они способны существовать и размножаться, не фотосинтезируя, что дает возможность выращивать колонии мутантных бактерий с измененными реакционными центрами и изучать на живых организмах, каким образом определенные мутации влияют на фотосинтетическую активность.

Внутреннее пространство клетки у родопсевдомонад заполнено так называемыми фотосинтетическими пузырьками. Они представляют собой маленькие полые сферические образования, сформированные из липидного бислоя (из такого же материала состоит клеточная мембрана). Фотосинтетические реакционные центры, состоящие в основном из белков, погружены в мембрану этих пузырьков. Один конец реакционного центра расположен около внешней поверхности мембраны, а другой — вблизи ее внутренней границы.

Световые реакции фотосинтеза начинаются с того, что поглощается фотон (квант света) на том конце реакционного центра, который расположен около внутренней поверхности мембраны. Здесь посредством серии химических взаимодействий происходит возбуждение электрона (это значит, что он переходит на более высокий энергетический уровень). Возбужденный электрон переносит энергию фотона на другую сторону реакционного центра, локализованную вблизи внешней поверхности мембраны. Поглощение следующего фотона вызывает такую же последовательность



ОПРЕДЕЛЕННЫЕ МУТАЦИИ блокируют фотосинтез у бактерий рода *Phodopseudomonas*. В видимом свете (вверху) колонии нормальных и мутантных бактерий выглядят одинаково. Однако в ближнем инфракрасном свете (внизу) видны только мутантные бактерии, которые флуоресциру-

ют, выделяя световую энергию, которую они поглотили, но не могут утилизировать. Мутанты жизнеспособны, так как они обладают иными источниками существования помимо фотосинтеза. Это позволяет изучать проявления мутаций в генах, необходимых для фотосинтеза.

событий. В результате этих превращений осуществляется разделение зарядов: отрицательно заряженные электроны оказываются у внешней поверхности мембраны, а молекулы, несущие избыточный положительный заряд вследствие потери электронов, остаются вблизи внутренней ее поверхности. Разделение зарядов — это по существу запасание энергии, которая выделилась бы в случае воссоединения электронов с положитель-

но заряженными молекулами. В дальнейшем за счет разделения зарядов совершаются химические реакции, которые сопряжены с процессами бактериального метаболизма и снабжают их необходимой энергией.

КАКИЕ химические взаимодействия обеспечивают транспорт электронов поперек мембраны? Этот вопрос был решен благодаря применению спектроскопических методов, в

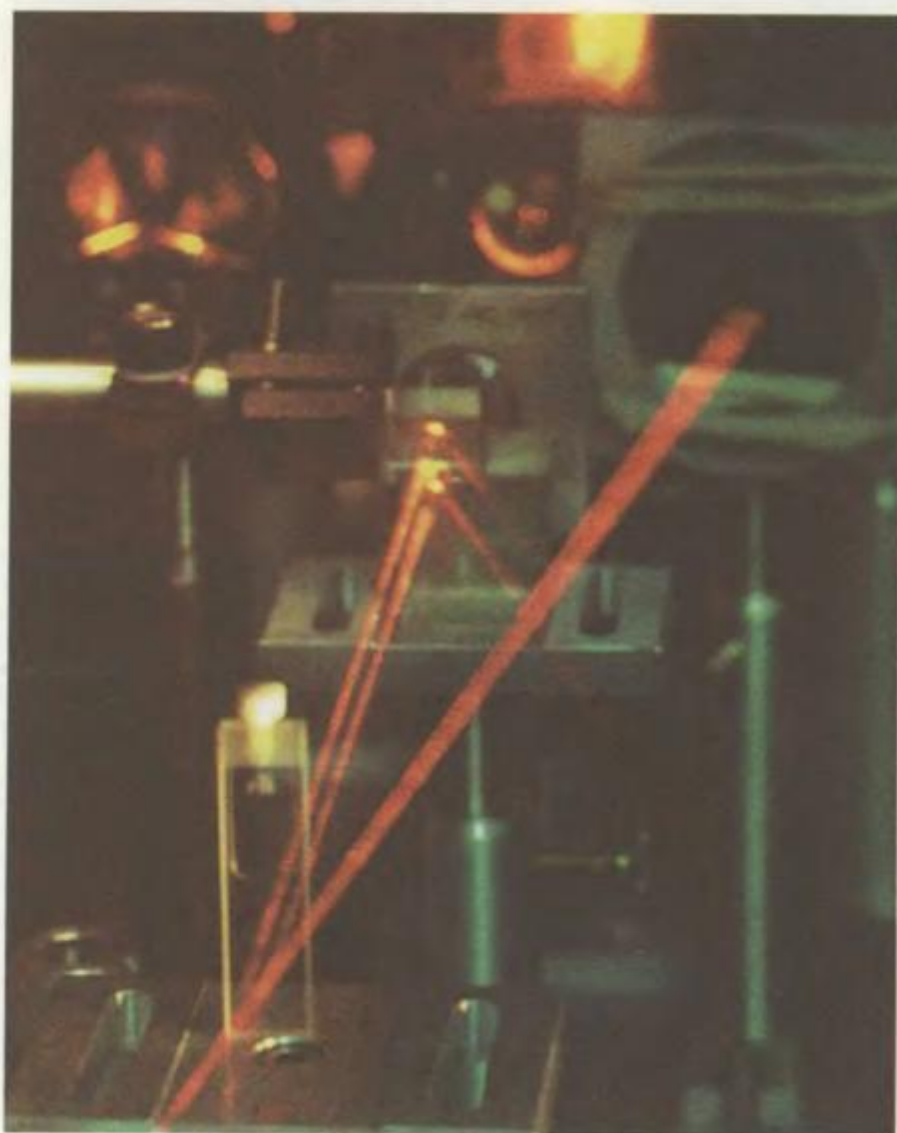
которых для исследования химической структуры вещества используется электромагнитное излучение.

Одним из самых распространенных спектроскопических методов является оптическая абсорбционная спектроскопия. Через образец пропускают световой луч и анализируют поглощение света. Каждый тип молекул поглощает свет определенной длины волн (т. е. цвета), что зависит от структуры молекул и их химического окружения. Поэтому по спектру поглощения образца (т. е. зависимости величины поглощения от длины волны) можно определить состав образца.

Когда фотосинтетический реакционный центр поглощает фотон, его химическая структура подвергается ряду изменений, сопровождающих реакцию, в результате которых электрон транспортируется поперек мембраны. За этими изменениями можно следить, регистрируя спектр поглощения реакционного центра. Такие наблюдения позволяют установить «химический путь» электрона от одной стороны мембраны до другой.

Многие исследователи проводят подобные эксперименты с препаратами фотосинтетических реакционных центров, выделенными из популяции бактерий. В их опытах мониторный луч света (луч, пропускаемый через образец для получения его спектра поглощения) обычно слаб по интенсивности и поэтому не вызывает существенного фотосинтеза. Затем тот же образец освещают интенсивной лазерной вспышкой длительностью менее 1 пикосекунды, что индуцирует фотосинтез. При таком коротком лазерном импульсе каждый реакционный центр в препарате поглощает не более одного фотона, что обеспечивает синхронизацию фотосинтетических реакций: в любой данный момент времени все реакционные центры подвергаются одинаковым химическим превращениям. Следовательно, спектр поглощения образца в целом отражает химическое состояние каждого реакционного центра. Таким образом с помощью последовательных вспышек света возможно выявить природу и временные характеристики первичных процессов фотосинтеза.

Весьма информативным спектроскопическим методом является также метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Электрон, как всякое вращающееся вокруг собственной оси заряженное тело, создает магнитное поле, имеющее определенное направление (спин). В большинстве стабильных соединений все электроны спарены, причем в паре спины электронов противоположны. Однако в некоторых молекулах имеется неспа-



ПИКОСЕКУНДНАЯ АБСОРБЦИОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ с разрешением вплоть до триллионной доли секунды позволяет определить временные характеристики и последовательность реакций начальных этапов фотосинтеза. Два слабых мониторных луча света (*в центре*) проходят через кювету с фотосинтезирующим образцом (*на переднем плане*). Интенсивность этих лучей столь мала, что они практически не индуцируют фотосинтез. Светочувствительные устройства (*не показаны*) определяют химический состав образца, анализируя проходящий через него свет. Интенсивная лазерная вспышка (*справа*) длительностью менее триллионной доли секунды, индуцирует фотосинтез в небольшом участке образца, через который проходит также один из мониторных лучей. Так как длительность вспышки мала, все фотосинтетические реакционные центры (молекулярные комплексы, в которых осуществляются первичные реакции фотосинтеза), возбуждаются одновременно. В процессе фотосинтеза химический состав образца изменяется. Природу изменений можно определить путем анализа света мониторного луча. На фотографии показана установка из Лаборатории М. Василевски в Аргоннской национальной лаборатории.

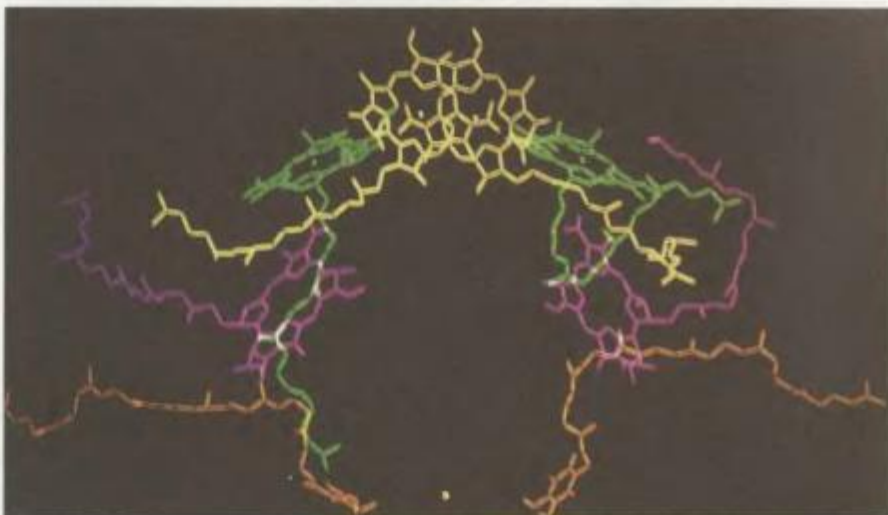
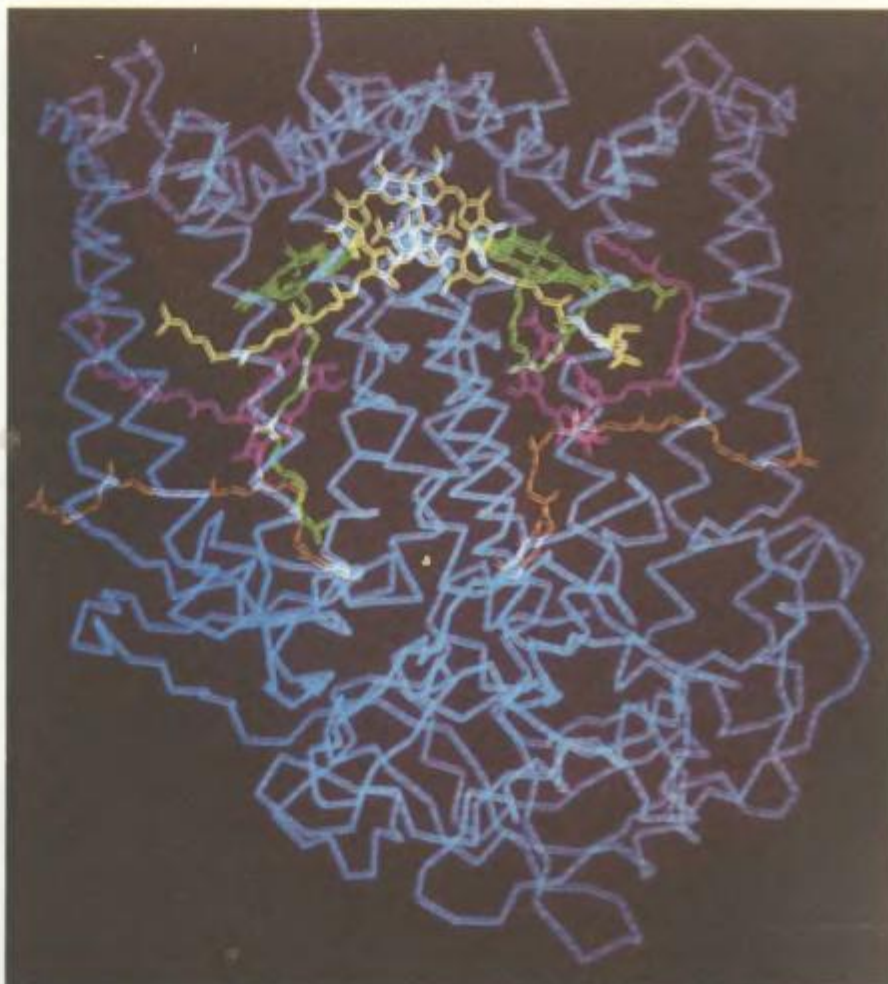
ренный электрон. Метод ЭПР позволяет определить, как энергия таких неспаренных электронов меняется в быстро осциллирующем магнитном поле. Это дает информацию о молекулярном окружении неспаренных электронов.

В 1970-х годах Дж. Фейер и его сотрудники из Калифорнийского университета в Сан-Диего и независимо от них Дж. Норрис и его коллеги в Аргоннской национальной лаборатории с помощью метода электронного парамагнитного резонанса проследили начальную стадию фотосинтеза. Впервые удалось зарегистрировать сигнал неспаренного электрона в хлорофилле на свету. Такой электрон появляется потому, что вследствие поглощения фотона молекула хлорофилла отдает один электрон. Особенности сигнала ЭПР свидетельствовали, что в фотосинтетическом реакционном центре фотон поглощается двумя молекулами хлорофилла, находящимися в тесной ассоциации.

ПРИ ПОМОЩИ спектроскопических методов исследования были выявлены последовательность и временные характеристики связанных с переносом электрона реакций, происходящих в фотосинтетическом реакционном центре вследствие поглощения фотона. Каково же пространственное строение реакционного центра? Какие физические механизмы позволяют электрону переходить с одной стороны мембраны на другую?

Ответы на подобные вопросы может дать метод рентгеноструктурного анализа, который в настоящее время является единственным способом расшифровки структуры сложных биологических молекул с атомным разрешением. Рентгеноструктурный анализ заключается в том, что через кристаллический образец пропускают пучок рентгеновских лучей, которые рассеиваются кристаллом, и по полученной дифракционной картине определяют молекулярную структуру кристалла.

Основная сложность в применении рентгеноструктурного анализа для изучения фотосинтетических реакционных центров состоит в том, что исследуемый образец должен состоять из высокоупорядоченных кристаллов. Получение таких кристаллов из белков — очень непростая задача, требующая необыкновенной тщательности в работе, а также удачи. За последние двадцать лет были получены в кристаллическом виде и проанализированы несколько сотен водорастворимых белков. Но только недавно удалось разработать методы кристаллизации не растворимых в воде мембранных белков, к числу которых



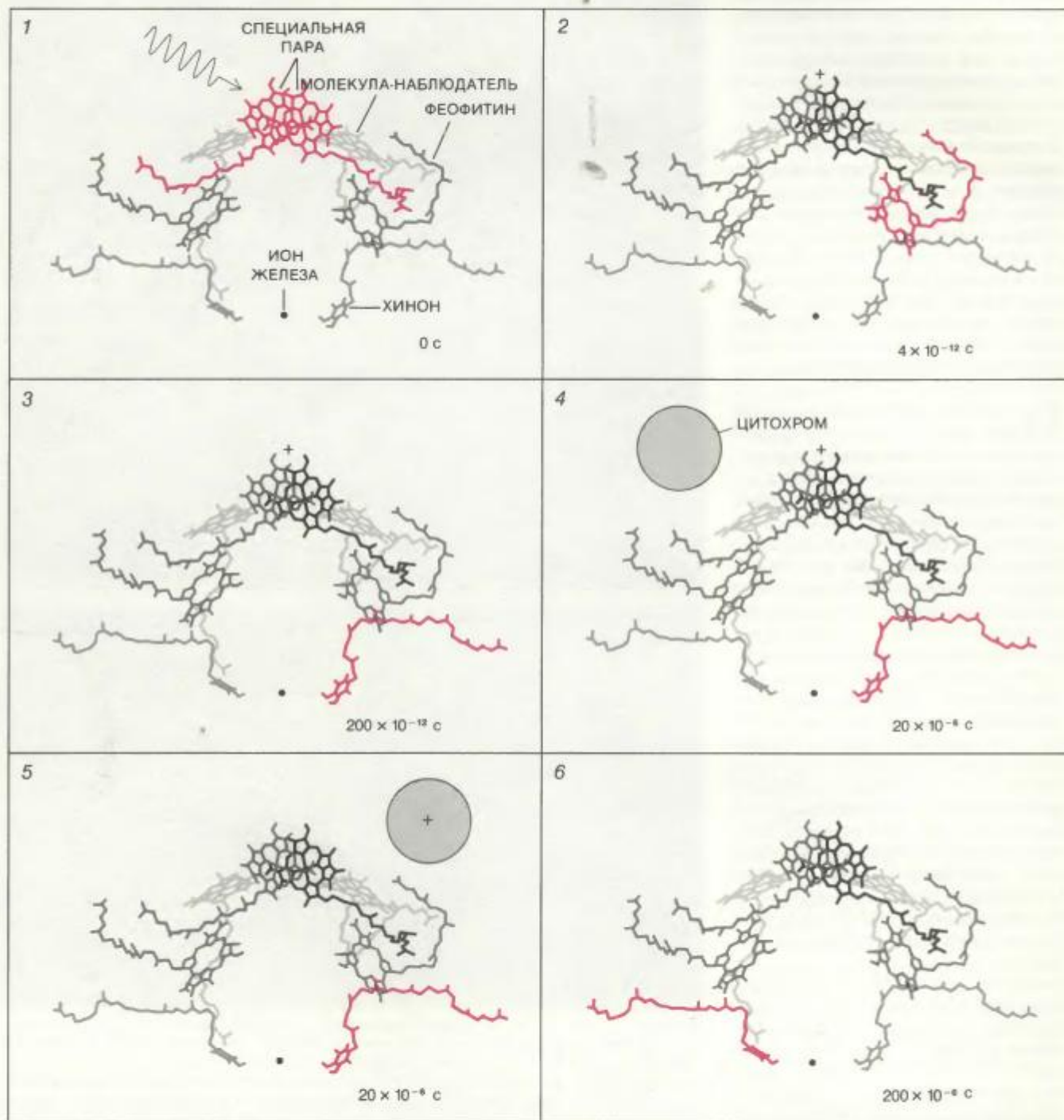
ФИЗИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА бактериального фотосинтетического реакционного центра была определена методом рентгеноструктурного анализа. Вверху представлен весь фотосинтетический реакционный центр, основу которого составляет белковый комплекс (голубой). Внизу показаны только так называемые простетические группы, которые погружены в белок. Сам реакционный центр в свою очередь погружен в мембрану (не показана), которая является частью особой структуры внутри бактериальной клетки — фотосинтетического пузырька. Желтая — «специальная пара» молекул хлорофилла; она поглощает энергию фотонов. Зеленые — другие молекулы хлорофилла, которые называются молекулами-наблюдателями, так как они расположены рядом со специальной парой, но, видимо, не принимают участия в реакциях фотосинтеза. Розовые — молекулы феофитина, оранжевые — хинона. Желтая точка около основания фотосинтетического реакционного центра — это ион железа. Положение и ориентация некоторых частей простетических групп даны приблизительно; их точные координаты еще не определены. Изображения получены с помощью компьютера Чонг Хуан Чангом, Д. Тиде, Дж. Норрисом-младшим и М. Шиффнер из Аргоннской национальной лаборатории.

относятся фотосинтетические реакционные центры.

Кристаллизация мембранных белков стала возможной в значительной степени благодаря техническим достижениям в создании и использовании низкомолекулярных органиче-

ских соединений, молекулы которых содержат как гидрофильные (имеющие сродство к воде), так и гидрофобные («отталкивающие» воду) группы. Очевидно, гидрофобные части этих молекул связываются с гидрофобными участками мембранных белков, а

гидрофильные группы остаются свободными. Образующиеся конгломераты молекул этих соединений и белковых молекул растворяются в воде и потому могут быть закристаллизованы. В таких растворах происходит сокристаллизация, т. е. получаются



ПЕРВИЧНЫЕ РЕАКЦИИ ФОТОСИНТЕЗА приводят к переносу электрона от одного конца реакционного центра, который при этом заряжается положительно, на другой его конец. На первом этапе (1) фотон поглощается специальной парой молекул хлорофилла и его энергия передается электрону специальной пары. (Молекулы с возбужденным электроном выделены цветом.) Затем электрон переносится (2) на молекулу феофитина, минуя хлорофильную молекулу-наблюдателя; при этом специальная пара заряжается положительно. Отсюда электрон переходит на мо-

лекулу хинона, находящуюся в конце одной из двух спиральных цепочек простетических групп (3). На этой стадии молекула глобулярного белка цитохрома, свободно перемещающаяся в растворе, приближается к специальной паре и передает ей электрон (4), так что специальная пара нейтрализуется, а сам цитохром приобретает положительный заряд (5). В дальнейшем возбужденный электрон, который был перенесен на первую молекулу хинона, перемещается на вторую молекулу хинона. В пространственном разделении зарядов и заключается запасание энергии.

кристаллы, содержащие и белок, и небольшие органические молекулы.

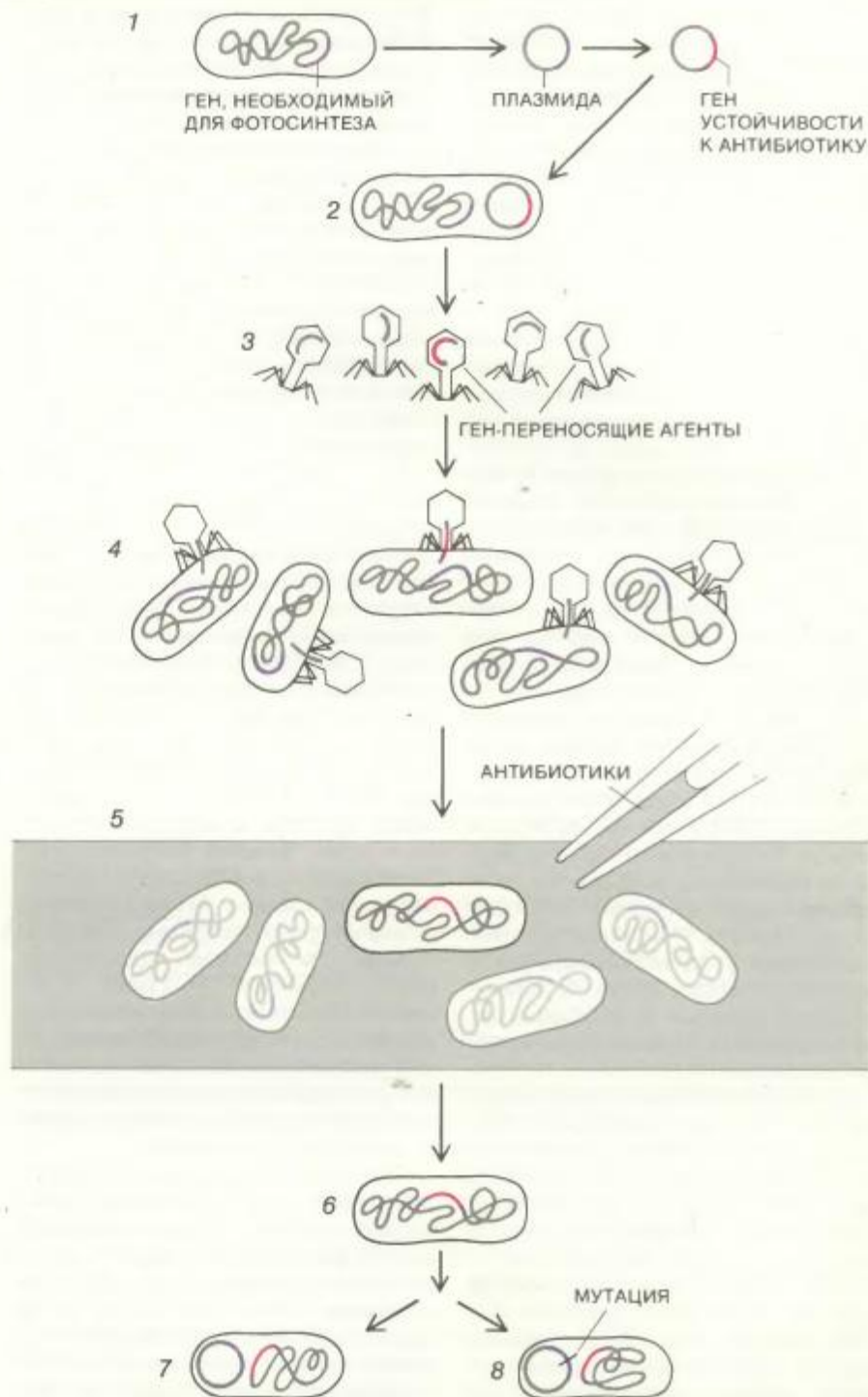
В 1983 г. Х. Михель и И. Дейзенхофер из Института биохимии им. Макса Планка в Мартинсрейде использовали этот метод для кристаллизации белков фотосинтетического реакционного центра родопсевдомонад и определения их структуры. Их работа — замечательное научное достижение; пока что фотосинтетический реакционный центр остается единственным интегральным мембранным белком, структура которого известна с атомным разрешением.

ИНФОРМАЦИЯ, полученная с помощью кристаллографических и спектрометрических методов, дает ясную пространственную и временную картину функционирования фотосинтетического реакционного центра, в частности реакций, приводящих к переносу электрона поперек мембраны.

Основным структурным элементом реакционного центра является большой комплекс белковых молекул, погруженный в мембрану. В этот комплекс в свою очередь частично погружены небольшие молекулы, называемые простетическими группами, в том числе молекулы хлорофилла. Простетические группы формируют пути, по которым переносятся электроны в процессе фотосинтеза.

Одна из самых поразительных черт в структуре фотосинтетических реакционных центров — практически идеальная поворотная симметрия второго порядка. Другими словами, реакционный центр, повернутый на 180° , т. е. половину окружности, относительно своей центральной оси (оси, проходящей от одной поверхности мембраны до другой) выглядел бы практически так же, как неповернутый. Характерно, что простетические группы образуют две спирали, расположенные симметрично с противоположных сторон от центрального белка. Однако экспериментальные данные свидетельствуют, что, несмотря на симметрию, в процессе фотосинтеза перенос электронов осуществляется лишь по одной из спиралей. Причины этого непонятны.

Процесс фотосинтеза начинается с поглощения фотона двумя молекулами хлорофилла, которые называются специальной парой. Эти молекулы расположены на том конце реакционного центра, который находится ближе к внутренней поверхности мембраны. Специальная пара лежит на пересечении двух спиралей простетических групп. Электрону, принадлежащему специальной паре, передается энергия фотона, и он перемещается на соседнюю простетическую группу —



МЕТОДЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ГЕНЕТИКИ позволяют получать бактерии, у которых отсутствуют или изменены гены, необходимые для фотосинтеза, и исследовать функцию этих генов. Ген того или иного компонента фотосинтетического реакционного центра (фиолетовый) из нормальной бактерии (1) включают в состав плазмиды (маленькая кольцевая ДНК). Затем сам ген удаляют, оставляя участки ДНК, расположенные по его краям. На место удаленного гена подставляется ген, определяющий устойчивость к антибиотикам (красный). Плазмиду вводят в нормальные бактерии (2). Бактериальная ДНК разбивается на короткие фрагменты и упаковывается в вирусоподобные частицы, называемые ген-переносчиками агентами (3). Ген-переносящие агенты покидают клетку, прикрепляясь к другим бактериальным клеткам (4), и в них переходит ДНК, которая заключена в этих частицах. Так как ген устойчивости к антибиотикам расположен между участками ДНК, которые в норме ограничивают ген компонента фотосинтетического реакционного центра, то он замещает последний в бактериальной ДНК. Затем бактерии обрабатывают антибиотиками (5), чтобы клетки, не содержащие нового гена, не размножались. У оставшихся клеток ген, необходимый для фотосинтеза, отсутствует (6). Когда в такую клетку попадает плазмиды, у которой этот ген нормальный, бактерия становится способной к фотосинтезу. Возможно создать плазмиду с геном, измененным в результате мутации (8), и, изучая фотосинтетическую функцию, выяснить роль данного гена.

молекулу феофитина, который по составу и структуре близок к хлорофиллу. Это необыкновенно быстрая стадия: она продолжается около четырех триллионных долей секунды. В ходе этой реакции электрон минует другую молекулу хлорофилла (называемую наблюдателем или мономерным хлорофиллом), но, по-видимому, не присоединяется к ней. Таким образом, специальная пара приобретает избыточный положительный заряд.

От феофитина электрон переносится на молекулу хинона, расположенную в конце спиральной цепочки простетических групп около внешней поверхности мембраны, а от нее — через центральный белок на другую молекулу хинона, находящуюся в конце второй спирали простетических групп (той, по которой электроны не переносятся). Последняя реакция протекает очень медленно: ее скорость приблизительно в 10^8 раз меньше, чем скорость переноса электрона от специальной пары к феофитину.

Тем временем молекула глобулярного водорастворимого белка цитохрома отдает свой электрон специальной паре, которая в результате нейтрализуется, а сам цитохром становится положительно заряженным. Затем весь процесс повторяется: специальная пара поглощает еще один фотон, и другой электрон перемещается по одному из спиральных путей на молекулу хинона и через центральный белок попадает на второй хинон, расположенный в конце другого спирального пути.

Эта вторая молекула хинона, несущая теперь два дополнительных электрона, покидает белок реакционного центра и принимает участие в следующих этапах фотосинтеза, которые происходят на внешней поверхности мембраны. Вторая молекула цитохрома отдает электрон специальной паре, так что та нейтрализуется. На этом завершается процесс разделения зарядов, в результате которого запасается энергия поглощенных фотонов: две молекулы цитохрома, расположенные около внутренней поверхности мембраны, приобрели положительный заряд и два электрона перешли с внутренней поверхности мембраны на внешнюю.

Фотосинтетический реакционный центр работает необыкновенно эффективно. Он захватывает от 98 до 100% энергии поглощенных фотонов. Около половины этой энергии запасается в результате разделения зарядов. Остальная ее часть теряется в реакциях переноса электронов по цепочке простетических групп. Можно сказать, что как электрическая батарея фотосинтетический центр обладает 50%-ной эффективностью.

ПОМИМО спектроскопии и кристаллографии, которые дают возможность взглянуть на процесс фотосинтеза родопсевдомонад «изнутри», многое открывает третье направление исследований — молекулярная генетика.

Как упоминалось выше, с генетической точки зрения очень важно, что родопсевдомонады могут существовать без фотосинтеза. Это позволяет мутантам, имеющим генетические дефекты, влияющие на фотосинтетические центры, оставаться жизнеспособными и размножаться. Поэтому следствия различных мутаций возможно изучать на живых организмах.

Для генетического анализа важна не только жизнеспособность мутантов, но и наличие путей переноса ДНК от одной особи к другой, чтобы было возможно производить скрещивание и вводить измененные гены в организм. Примерно десять лет назад Маррс обнаружил такой механизм у родопсевдомонад вида *R. capsulata*. У этого вида время от времени генетический материал разбивается на фрагменты, содержащие около пяти генов. Места разрывов ДНК, по-видимому, случайны и варьируют от особи к особи. Каждый фрагмент ДНК упаковывается в небольшую частицу наподобие вируса. Затем клеточная стенка бактерии разрушается, высвобождая эти частицы, называемые ген-переносящими агентами. Ген-переносящие агенты прикрепляются к другим, целым клеткам *R. capsulata*, и внутрь них попадают фрагменты генетического материала первой клетки. Перенесенные гены могут встраиваться в ДНК реципиента.

Ген-переносящие агенты — ценный инструмент для осуществления скрещиваний, и, кроме того, их используют для картирования геномов бактерий. Если определить, как часто два различных гена упаковываются в один и тот же ген-переносящий агент, можно оценить, как они расположены на бактериальной хромосоме: чем чаще два гена оказываются вместе в одной частице, тем ближе друг к другу они должны находиться на цепи хромосомной ДНК.

Клетки *R. capsulata* могут обмениваться генетическим материалом также при «спаривании». Бактерии спариваются с помощью отростков, называемых пиле, через которые ДНК переносится от «мужских» особей к «женским». Этот процесс предоставляет еще одну возможность для проведения скрещиваний.

В 1980 г. с помощью таких скрещиваний Маррсу удалось выделить фрагмент ДНК, содержащий большинство генов, необходимых для осуществления световых реакций фото-

синтеза. Фрагмент включал в себя гены всех белков реакционного центра, а также белков, формирующих отдельную структуру — комплекс, известный под названием «светособирающая антенна». Этот комплекс поглощает фотоны и передает их энергию реакционному центру. Таким образом, впервые была получена ДНК фотосинтезирующего организма, несущая информацию о белках, необходимых для фотосинтеза.

Впоследствии Юван охарактеризовал эту ДНК. Он и его коллеги из Лаборатории им. Лоуренса в Беркли установили положение всех генов в фрагменте ДНК, полученном Маррсом, и для каждого гена определили последовательность нуклеотидов. На основании нуклеотидных последовательностей генов был проделан компьютерный анализ структуры белков. Полученные результаты позволили предсказать некоторые характерные черты строения реакционного центра за несколько лет до проведения рентгеноструктурного анализа его кристаллов. Нуклеотидные последовательности генов, кодирующих компоненты бактериального фотосинтетического реакционного центра, также сравнили с соответствующими последовательностями высших растений. Обнаружилось близкое сходство, что указывает на универсальность основных фотосинтетических структур.

ЗНАНИЕ генетической основы фотосинтетического реакционного центра *R. capsulata* дает возможность вплотную подойти к наиболее существенному вопросу: каково участие различных элементов реакционного центра в его функционировании в целом?

Один из путей поисков ответа на этот вопрос — создание простых мутаций в генах, кодирующих отдельные структурные элементы реакционного центра. Бактериальные клетки с такими мутациями можно исследовать спектроскопическими методами и выяснить, как их фотосинтетическая функция отличается от таковой у немутантных организмов. Подобные эксперименты уже дали важную информацию о некоторых аспектах бактериального фотосинтеза. В отдельных случаях эти сведения применимы также и к высшим растениям.

Например, молекула хинона, которая служит акцептором электронов в фотосинтетическом реакционном центре родопсевдомонад, функционирует аналогичным образом и в похожем окружении у высших растений. Недавно Фейер и его коллеги с помощью рентгеноструктурного анализа определили строение участка свя-

звания хинона в бактериальном реакционном центре. Юван и его ученик Э. Билина получили мутантных бактерий, у которых данный участок изменен. Некоторые из этих бактерий вообще не способны фотосинтезировать, у других фотосинтетическая функция нарушена; имеются и такие мутанты, которые фотосинтезируют нормально. Степень нарушения функции определяется особенностью мутации. У некоторых мутантных штаммов функция молекулы хинона изменена таким образом, что они устойчивы к действию определенных гербицидов (таких, как атразин), которые убивают растения, подавляя работу хинона.

ДАННЫЕ, полученные при исследовании бактериального фотосинтеза, возможно, в скором времени удастся применить на практике. Например, имеет смысл получить мутации, придающие устойчивость к гербицидам, у соевых бобов, рост которых ингибируется атразином. Не чувствительные к атразину мутант-

ные соевые бобы можно было бы высевать на поля, где ранее выращивали такую культуру, как кукуруза, которая от природы устойчива к атразину, и потому ее поля часто опрыскивают им для уничтожения сорняков.

На более фундаментальном уровне исследования родопсевдомонад могут привести к выяснению основных принципов функционирования электронпереносящих белков. Путем генетических манипуляций возможно желаемым образом изменять реакционные центры и определять, насколько быстро и эффективно новые белки осуществляют перенос электронов. Найдется множество подобных экспериментальных задач.

Глубокие и детальные знания, составляющие основу таких экспериментов, были получены благодаря объединению исследований в трех различных областях, которые часто считаются почти не связанными друг с другом. Но именно разносторонний подход позволил составить представление о явлении в целом.

чувствительны и для устойчивой связи требуют, чтобы аппаратура на борту спутников была довольно мощной и, стало быть, дорогой. Кроме того, сделать так, чтобы антенна постоянно была ориентирована строго на заданную точку в небе, даже в те моменты, когда автомобиль делает поворот или поднимается в гору, — задача не из легких.

Лаборатория реактивного движения при НАСА, которая разрабатывает различные технические новинки с расчетом на последующее их применение в промышленности, приступила к полевым испытаниям управляемых антенн двух типов. Один из них предназначен для грузовых автомобилей и имеет систему плоских зеркал с механической регулировкой; размер антенны не больше формы для выпечки домашнего пирога. Результаты первых испытаний оказались обнадеживающими, как указала Элизабет Души, специалист отдела связи НАСА. Для легковых автомобилей НАСА разрабатывает более совершенную и более дорогостоящую систему — фазированную антенную решетку, которая способна удерживать ориентацию на заданную точку с помощью электронных средств управления (см. статью: Э. Брукнер. Радиолокационные станции с фазированными антенными решетками. «В мире науки», 1985, № 4). Такие решетки могут быть изготовлены в виде нескольких тарелок глубиной 5—8 см, скрытых в толще крыши автомобиля. Простые всенаправленные антенны разработаны фирмой Hughes Communications Services, Inc. — одним из основных членов консорциума. Эти устройства недороги и не требуют строгой направленности, но они более расположены к созданию интерференции отраженных радиоволн.

Сотрудники Лаборатории реактивного движения также работают над созданием таких схем, которые использовали бы избыточность гармоник в спектральном составе голоса для сжатия звуковых сигналов до уровня 4800 бит данных в секунду, чтобы снизить нагрузку в отведенном диапазоне частот, которая является основным ограничивающим фактором. Сигнал в электронных цепях приемника переформируется, и слышимый на выходе голос уже не звучит столь неестественно. Еще одна цель заключается в том, чтобы разрабатывать такие антенны для спутников, которые направляли бы излучение на одной и той же частоте дискретными пучками в различные территориально разнесенные точки приема так, чтобы эти пучки не интерферировали между собой.

Наука и общество

Новое в радиосвязи

СИСТЕМЫ мобильной радиосвязи, широко распространенные в городах, не находят практического применения в периферийных районах, где антенны для СВЧ-диапазона крайне редки. В ближайшие годы эта проблема технически будет разрешена с помощью спутников. Предполагается, что разработка первой спутниковой системы для передвижных радиоприемников обойдется в 400 млн. долл. — не такая уж большая сумма по сравнению со стоимостью других средств связи. С коммерческой точки зрения реализация этой идеи настолько привлекательна, что Федеральный комитет по вопросам связи решил образовать специальный консорциум для создания такой системы, рассчитанной на работу в так называемом L-диапазоне (примерно 130 МГц для передвижных радиоустановок — Ред.). Двенадцать компаний уже вложили 5 млн. долл. в это предприятие, подчеркивая тем самым свое серьезное отношение к этому замыслу. Официальное предложение относительно выдачи патента на систему было сформулировано 27 июля. Пока что система, использующая

возможности спутниковой связи, будет действовать в течение 2—3 лет, но впоследствии для автономной работы такой системы потребуются один или несколько спутников, предназначенных специально для этих целей.

Аналогичная система могла бы найти применение для управления движением самолетов на авиалиниях. (В настоящее время эта задача решается с помощью наземных средств связи.) Она позволила бы наземным средствам управления, например, непосредственно связываться с самолетами, находящимися над просторами Тихого океана. К идее создания такой системы большой интерес проявили японские предприниматели, и этим летом они планируют провести пробные сеансы связи с самолетами через спутник. В Канаде уже одобрен проект подобной системы.

На пути практического внедрения мобильных установок спутниковой радиосвязи имеется немало трудностей технического и финансового характера. Представители промышленности считают, и, по-видимому, не без оснований, что потребители вряд ли захотят, чтобы на их автомобилях были установлены большие антенны-блюнда, а маленькие антенны менее

Гравитационно-волновые обсерватории

Из общей теории относительности Эйнштейна следует, что Земля «омывается» гравитационными волнами, пришедшими от далеких звезд. К началу 90-х годов планируется создать обсерватории, которые смогли бы принимать даже внегалактические гравитационные сигналы

ЭНДРЮ Д. ДЖЕФФРИС, ПИТЕР Р. СОУЛСОН,
РОБЕРТ Е. СПЕРО, МАЙКЛ Е. ЦУКЕР

В СООТВЕТСТВИИ с общей теорией относительности Эйнштейна (ОТО) к Земле постоянно приходит энергия, обусловленная гравитационными взаимодействиями далеких звезд. Из этой теории следует, что часть энергии, высвобождаемой при космическом катаклизме (таким, как взрыв звезды), распространяется в пространстве со скоростью света в виде гравитационных волн. Проходя через пространство, эти волны искажают его. Гравитационные волны можно обнаружить по движению тщательно изолированных от внешних влияний пары масс — пробных тел.

Однако возмущения пространства из-за гравитационных волн крайне малы, так что с помощью обычных приборов их зарегистрировать не удастся, а специальные приемники, построенные за последнюю четверть века, тоже пока не обнаружили ни одной проходящей волны. Возникшие трудности могут вызвать удивление, поскольку хорошо известны свойства статического гравитационного поля (например, при падении тел на Землю или движении планет). Но в этих явлениях тела имеют недостаточные массу и скорость движения, чтобы излучать заметные волны. По-видимому, первыми принятыми на Земле гравитационными сигналами будут волны от далеких астрофизических объектов, которые массивнее Солнца и движутся со скоростями, близкими к скорости света.

В настоящее время планируется новая серия экспериментов с более высокой чувствительностью. Разрабатываемые в настоящее время гравитационно-волновые обсерватории, вероятно, в начале 90-х годов смогут принять даже внегалактические сигналы. Прототипы подобных детекто-

ров, базируемые на лазерных интерферометрах, уже построены и испытаны в лабораториях США и Западной Европы. В США четверо из нас работают в группах под руководством Р. Древера из Калифорнийского технологического института (КТИ) и Р. Вейсса из Массачусетского технологического института (МТИ). Эти группы занимаются созданием пары больших интерферометров на обеих сторонах американского континента, одного в пустыне Мойаве на юге Калифорнии, другого в Колумбии (шт. Мэн). Объединенные с помощью компьютеров, оба инструмента составят единую обсерваторию, называемую лазерно-интерферометрической гравитационно-волновой обсерваторией, или ЛИГО. Чувствительность каждого приемника будет в 1000 раз выше чувствительности лучших из существующих детекторов, причем общая стоимость пары интерферометров (около 60 млн. долл.) составит примерно половину стоимости большого оптического телескопа.

Мы ожидаем, что ЛИГО и другие подобные обсерватории откроют со-

вершенно иной вид Вселенной, качественно отличный от известного нам из обычных астрономических наблюдений. До 30-х годов удаленные области Вселенной можно было изучать только по электромагнитному излучению оптического диапазона (видимый свет). «Электромагнитный» образ Вселенной радикально изменился с появлением радиоастрономии, а дальнейший прогресс был связан с наблюдениями в инфракрасном, рентгеновском диапазонах и гамма-лучах. Хотя в каждом диапазоне электромагнитных волн Вселенная выглядит по-разному, гравитационные волны представляют собой совершенно иной тип энергии и поэтому могут дать качественно новую информацию о своих источниках. Создание гравитационно-волновых обсерваторий может привести к коренным изменениям в наших представлениях о Вселенной.

Подтверждение предположения о существовании гравитационных волн явилось бы также непосредственной проверкой предсказаний общей теории относительности. В одном из ос-

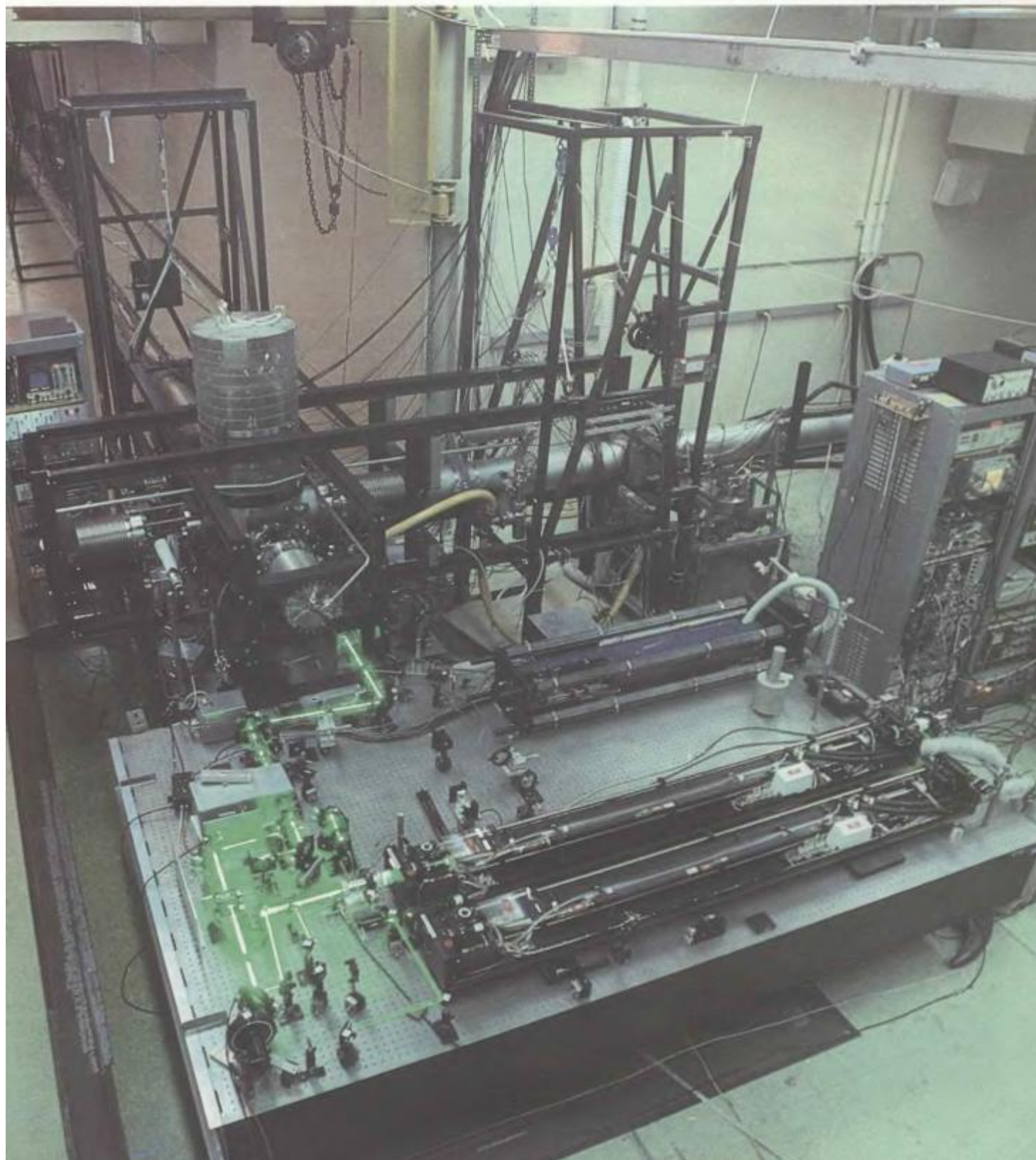
ДЕТЕКТОР ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН в Калифорнийском технологическом институте является прототипом более крупных обсерваторий, строительство которых запланировано на следующее десятилетие. Он состоит из лазерного интерферометра, который помещен в две вакуумные трубы, установленные под прямым углом и образующие 40-метровую базу. С помощью зеркал и волоконной оптики луч лазера (на переднем плане) направляется в вакуумную камеру (слева от центра). Камера содержит разделитель луча, или полупрозрачное зеркало, которое делит луч света на две одинаковые части и направляет их в трубы. Свет отражается зеркалами, смонтированными на свободно подвешенных массах в конце труб. Лабораторное расстояние луч света проходит приблизительно 10 000 раз. В результате наблюдается интерференционная картина. Проходящая гравитационная волна будет слегка менять расстояние между одной или обеими парами масс и таким образом вызывать изменение интерференционной картины. Эта аппаратура чувствительна к изменениям расстояния до $3 \cdot 10^{-16}$ м (треть диаметра протона) в течение 1 мс. Массачусетский технологический институт располагает пока полуметровым интерферометром; в процессе создания находится 5-метровый интерферометр.

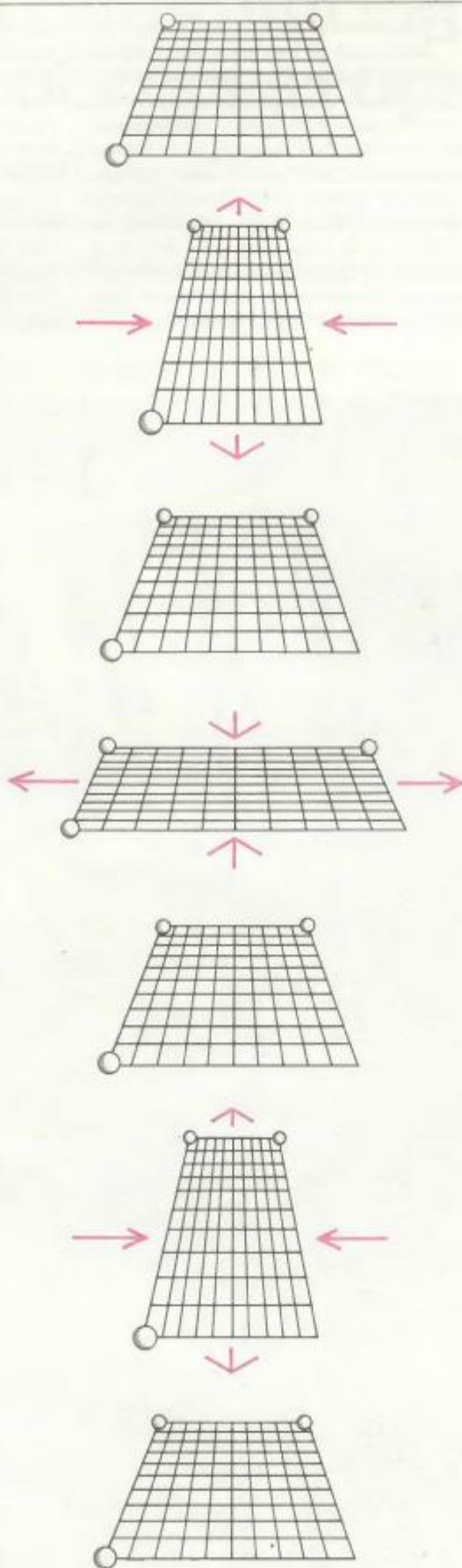
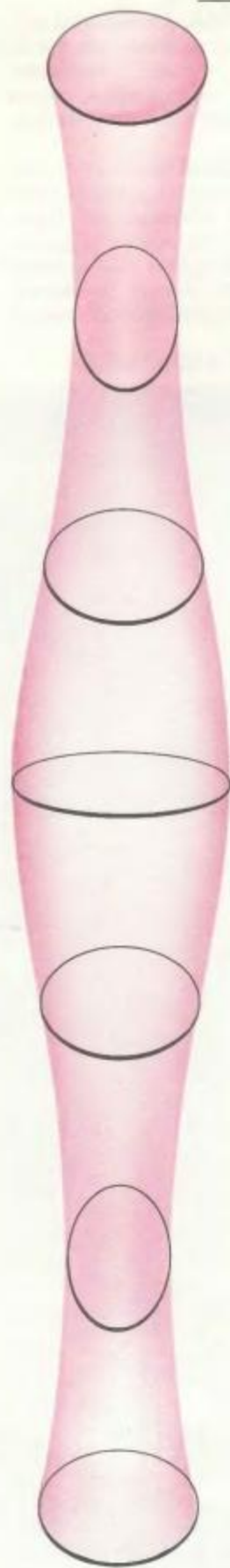
новых положений ОТО утверждает, что никакой сигнал не может двигаться со сверхсветовой скоростью. Напротив, согласно цютоновской теории тяготения (теории «действия на расстоянии»), изменения гравитационного поля должны распространяться бесконечно быстро. Так что проверка предположения о том, что гравитационные волны движутся со скоростью света, оказала бы сильную поддержку представлениям Эйнштейна.

ЧТОБЫ УВИДЕТЬ, как гравитационные волны действуют на вещество, рассмотрим движущуюся в пространстве гравитационную волну. Представим, что вдоль направления распространения волны расположена длинная гибкая резиновая трубка. Сначала трубка имеет всюду круглое сечение. Когда волна проходит по трубке, она искажает ее сечение в эллипс: большая полуось возрастает на некоторую часть начального диаметра, а малая полуось уменьшается

на ту же часть. Через полпериода волны оси меняются местами, так что на поверхности трубки возникает «рябь». После прохождения волны трубка принимает свой первоначальный вид.

Как будет действовать такая волна на кольцо из равноразделенных масс, расположенных в плоскости? Предположим, что плоскость горизонтальна и волна падает под прямым углом к ней. Достигнув плоскости, волна сначала увеличит расстояние





ЭФФЕКТЫ ГРАВИТАЦИОННОЙ ВОЛНЫ показаны на примере искажения формы резиновой трубки, через которую проходит волна (*слева*), и на примере пробных масс, расположенных в плоскости (*справа*). Гравитационные волны должны искажать форму предметов в той области пространства, через которую они проходят. Волна распространяется вертикально.

между массами в одном направлении, например север—юг, и уменьшит его в перпендикулярном направлении, которое в данном случае будет восток—запад. Относительное изменение расстояния между противоположно расположенными массами характеризует так называемую амплитуду волны. По мере пересечения волной плоскости рисунок сжатий и растяжений будет периодически меняться: расстояния в направлениях север—юг и восток—запад будут поочередно увеличиваться и уменьшаться. Проходящая волна вызывает эти эффекты в направлении, перпендикулярном направлению ее распространения: движущаяся на запад волна изменит расстояние по линии север—юг, а не восток—запад.

Генерация гравитационных волн в некоторой степени похожа на генерацию электромагнитных волн. Гравитационные волны отличаются от более привычного статического гравитационного притяжения так же, как свет и радиоволны отличаются от статического электричества и магнетизма. Известно, что движущееся заряженное тело может излучать электромагнитные волны с амплитудой, пропорциональной электрическому заряду и ускорению тела. Гравитационный «заряд» тела есть просто его масса, поэтому амплитуда гравитационной волны должна быть пропорциональна массе тела и его ускорению. Однако из закона сохранения импульса следует, что ускорение изолированной системы тел не может быть обусловлено взаимодействием тел внутри этой системы, так как на каждое действие приходится равное по величине и противоположное по направлению противодействие. Поэтому большинство волн, излучаемых некоторой ускоренной массой, гасится волнами, излучаемыми телом, отталкиваемым в противоположном направлении. Однако такое гашение неполное, поскольку тела при взаимодействии смещаются из своих первоначальных положений. Это слабое смещение тел означает, что волны встречаются в разные моменты времени, так что некоторая часть гравитационной энергии может излучаться.

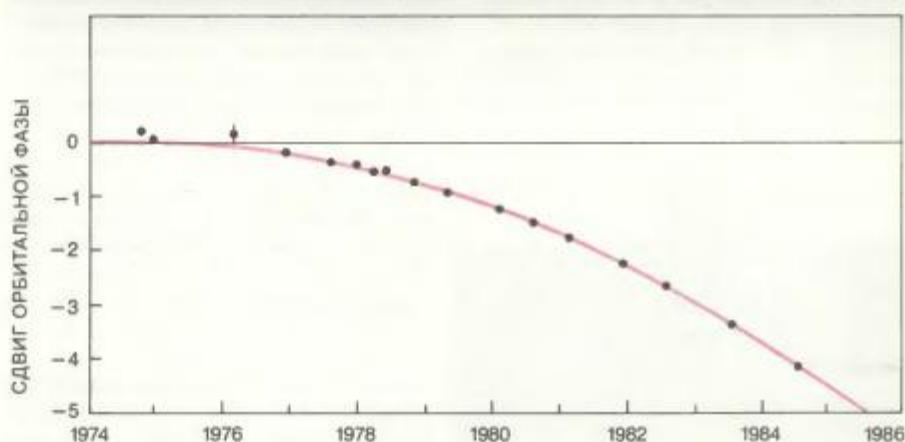
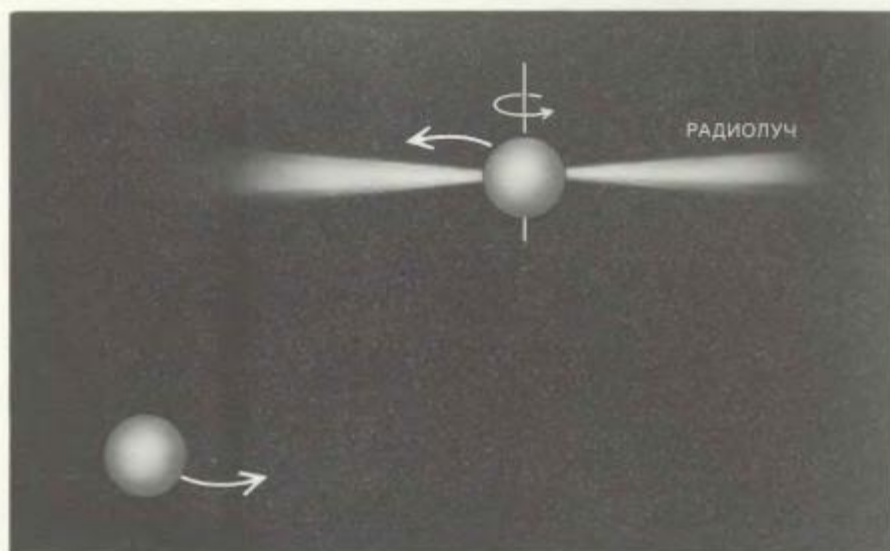
Количество энергии гравитационного излучения зависит от того, насколько неравномерно распределена масса тела. Мера этой неоднородности известна под названием квадрупольного момента. Обычный футбольный мяч не имеет квадрупольного момента, а у мяча для американского футбола он значителен. Сильные гравитационные волны излучаются тогда, когда массивный объект быстро меняет свой квадрупольный

момент. Масса и скорость изменений квадрупольного момента должны быть значительными: так, даже 500-тонный стержень, вращающийся на пределе разрыва центробежными силами, излучает гравитационные волны, растягивающие или искажающие пробную систему не более чем в отношении $1:10^{40}$. Очевидно, такое изменение слишком мало для обнаружения.

ЗВЕЗДЫ и другие астрофизические объекты должны излучать гравитационные волны намного более сильные, чем любой источник на Земле. Двойная звездная система (состоящая из двух звезд, обращающихся по орбите вокруг общего центра масс) должна порождать гравитационные волны с фундаментальным периодом, равным половине орбитального (так как квадрупольный момент дважды на орбите принимает равные значения). Примерно половина всех звезд входит в состав двойных систем. Двойные звезды имеют большой изменяющийся квадрупольный момент, и испускаемое ими гравитационное излучение может быть точно предсказано. Наиболее сильные гравитационные волны от двойных звезд должны вызывать на Земле относительный сдвиг пробных масс на величину 10^{-20} , что на 20 порядков выше, чем от вращающегося 500-тонного стального стержня.

Малая часть всех известных двойных систем может включать две близко расположенные нейтронные звезды. Нейтронная звезда представляет собой состоящее почти полностью из нейтронов тело солнечной массы, но имеющее очень небольшой радиус — всего 10 км. В некоторых случаях нейтронная звезда наблюдается как радиопульсар — радиисточник, который кажется то загорающимся, то гаснущим по мере вращения нейтронной звезды вокруг своей оси. Более всего это напоминает маяк, луч которого поворачивается по окружности.

В 1974 г. Дж. Тейлор-младший и Р. Халс, тогда работавшие в Массачусетском университете в Амхерсте, открыли пульсар, входящий в двойную систему с орбитальным периодом около 8 ч. Хотя в этой системе лишь одна звезда является пульсаром, изучение орбитального движения показало, что, по-видимому, и вторая компонента системы — нейтронная звезда. Фиксируя время прихода сигналов от пульсара с большой точностью, Тейлор и его коллеги восстановили орбиту системы из двух нейтронных звезд. Они нашли, что период этой двойной системы постоянно уменьшается, т. е. обе звезды постепенно двигаются по спирали



ПЕРВОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО СУЩЕСТВОВАНИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН связано с двойным пульсаром, открытым в 1974 г. Дж. Тейлором-младшим и Р. Халсом, работавшими тогда в Массачусетском университете в Амхерсте. Двойной пульсар состоит из двух звезд, обращающихся вокруг общего центра масс (вверху), одна из которых является собственно пульсаром — радиисточником, который кажется то загорающимся, то гаснущим из-за вращения нейтронной звезды вокруг своей оси. Орбитальный период этой системы (8 ч) медленно уменьшается (внизу). Это уменьшение, которое измеряется тщательной фиксацией моментов прихода радиосигналов от пульсара, означает, что двойные звезды постепенно теряют энергию и по спирали сближаются друг с другом. Наблюдаемые потери энергии (точки на графике) согласуются с предсказываемыми теоретически (цветная кривая). Именно такая энергия и угловой момент должны были бы уноситься гравитационными волнами.

друг к другу. Наблюдаемые потери энергии системы точно согласуются с потерями, предсказанными из-за гравитационного излучения: гравитационные волны должны «уносить» ровно столько энергии и углового момента, чтобы обеспечить наблюдаемый эффект уменьшения периода. В настоящее время теоретические предсказания согласуются с наблюдениями с точностью до 1%. Такое согласие между теорией и экспериментом — сильный аргумент в пользу существования гравитационных волн.

В КОНЦЕ эволюции двойной системы компактные остатки звезд быстро двигаются по спирали друг к

другу и в конце концов сливаются в единое тело или взрываются при столкновении. Если бы это были две нейтронные звезды, в обоих случаях должен произойти сильный всплеск гравитационного излучения. Такая судьба, однако, не грозит двойному пульсару еще около 100 млн. лет, но другие галактики, подобные нашей, содержат достаточное число двойных нейтронных звезд, чтобы обеспечить в целом по Вселенной слияние нескольких таких пар каждые 1000 лет. Конечно, тысячелетие — это многовато для ожидания. ЛИГО рассчитывается таким образом, чтобы их чувствительность была достаточна для детектирования сигналов от скоп-

лений галактик в созвездии Девы и других близких скоплений галактик. А оттуда сигналы с амплитудой 10^{-22} могут поступать, вероятно, несколько раз в год.

Нейтронная звезда также может возмущать о своем рождении всплеском гравитационного излучения. Когда массивная звезда завершает эволюцию, она умирает в ярком взрыве, называемом сверхновой. Ядро звезды при этом стремительно сжимается и образует нейтронную звезду. Хотя детали этого сжатия (коллапса) далеко не ясны, вполне возможно, что по крайней мере 0,1% массы нейтронной звезды превращается в энергию гравитационных волн. Такая волна от сверхновой в нашей Галактике (событие, которое происходит примерно раз в 30 лет) могла бы иметь на Земле амплитуду 10^{-18} . Недавно наблюдавшаяся сверхновая, вспыхнувшая в Большом Магеллановом Облаке (спутнике нашей Галакти-

ки) должна была бы произвести гравитационную волну с амплитудой 10^{-19} . Это как раз чуть ниже порога обнаружения с помощью лучшего из существующих приемников. А сверхновые в скоплении галактик из созвездия Девы, происходящие несколько раз в год, могли бы дать сигналы с амплитудой 10^{-21} .

Детектирование гравитационного сигнала от сверхновой может иметь далеко идущие следствия. Интересно измерить время между приходом всплеска гравитационного излучения от коллапсирующего ядра сверхновой и появлением световых волн от взрывающихся внешних слоев звезды. Если гравитационные и электромагнитные волны будут приняты одновременно, это прямо подтвердило бы предсказание ОТО о распространении гравитационных волн со скоростью света. Если бы мы увидели в оптические телескопы сверхновую в скоплении галактик из созвездия Девы не

позже чем через день после детектирования гравитационного сигнала, скорость обоих импульсов различалась бы не более чем на 10^{-10} .*

Гравитационные волны, порождаемые сверхновыми, открыли бы новое «окно» для наблюдений. Электромагнитное излучение, генерируемое в глубине коллапсирующего ядра, захватывается внешними слоями звезды, скрывая информацию о наиболее мощных зонах энерговыделения. Детектирование нейтринной вспышки от недавно наблюдавшейся сверхновой в Большом Магеллановом Облаке оказалось ярким свидетельством в

* В большинстве современных моделей сверхновой световой импульс появляется позже гравитационного, так как последний связан непосредственно с коллапсом ядра, а электромагнитное излучение появляется после прохождения ударной волны через толщу верхних слоев звезды. — Прим. ред.

ИСТОЧНИК	ТИП СИГНАЛА	ЧАСТОТА	АМПЛИТУДА
 ДВОЙНАЯ ЗВЕЗДНАЯ СИСТЕМА	ПЕРИОДИЧЕСКИЙ	1 МГц или НИЖЕ	10^{-21}
 ДВОЙНАЯ НЕЙТРОННАЯ ЗВЕЗДА	КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИЙ	ДОХОДИТ ДО 1 кГц	10^{-22}
 АККРЕЦИРУЮЩАЯ НЕЙТРОННАЯ ЗВЕЗДА	ПЕРИОДИЧЕСКИЙ	ОТ 200 ДО 800 Гц	3×10^{-27}
 СВЕРХНОВАЯ II ТИПА	ИМПУЛЬС	1 кГц	10^{-21}
 ВИБРИРУЮЩАЯ ЧЕРНАЯ ДЫРА	СЛАБАЯ СИНУСОИДА	10 кГц для 1 МАССЫ СОЛНЦА 10 Гц для 1000 МАСС СОЛНЦА	?
 ОБРАЗОВАНИЕ ГАЛАКТИК (КОСМИЧЕСКИМИ СТРУНАМИ)	ШУМ	ШИРОКАЯ ПОЛОСА 1 ЦИКЛ В ГОД 300 Гц	10^{-14} 10^{-16}
 БОЛЬШОЙ ВЗРЫВ	ШУМ	?	?

ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ могут быть обнаружены от источников нескольких типов. При прохождении гравитационных волн вблизи Земли они будут слегка сдвигать

пробные массы. Например, волна, приходящая от двойной звезды, может сместить эти массы только на 10^{-21} м при расстоянии между ними 1 м.

пользу модели коллапсирующего звездного ядра, но даже нейтрино рассеялись тысячи раз на пути от звезды к нам. Однако гравитационные волны настолько слабо взаимодействуют с веществом, что без ослабления проходят сквозь толщу звездной атмосферы, поэтому они могут нести информацию о весьма тонких деталях коллапса ядра. Гравитационные волны делают видимыми даже те объекты, которые скрыты толстым покровом космической пыли, например в центре Галактики.

ИСТОЧНИКАМИ гравитационных волн могут оказаться не очень старые вращающиеся нейтронные звезды, не обладающие осевой симметрией. Так, твердая кора нейтронной звезды может застыть в сплюснутом при вращении виде. Тогда пролет такой звезды мимо любой другой может изменить направление оси ее вращения. Осевая симметрия нарушается, и в результате возникает вибрация, достаточная для генерации довольно сильных гравитационных волн.

Еще одним гравитационно-волновым источником может быть образование черной дыры или столкновение двух черных дыр друг с другом. Черные дыры — чрезвычайно компактные объекты, существование которых следует из ОТО. Считают, что черная дыра может образоваться при коллапсе старой и достаточно массивной звезды, когда никакие другие силы уже не в состоянии противостоять гравитационному сжатию. При образовании черной дыры никаких следов от звезды не остается, кроме электрического заряда, момента вращения и настолько сильной гравитации, что даже свет не может вырваться из ее поля действия. Если большая часть массы Вселенной скрыта в виде черных дыр, их взаимные столкновения могут быть настолько частыми, что с помощью детектора, способного «видеть» аналогичные события для нейтронных звезд, можно будет наблюдать также много черных дыр. По-видимому, несколько двойных рентгеновских источников в качестве одного из компонентов могут содержать черные дыры, хотя пока без гравитационного «зонда» этого нельзя утверждать наверняка. А гравитационно-волновые обсерватории могут быть таким зондом, поскольку черная дыра должна испускать характерное гравитационное излучение. Детектирование подобных сигналов послужило бы единственным бесспорным доказательством существования этих необычных объектов.

Источником гравитационных волн

может быть и Большой взрыв — изначальный взрыв, происшедший 15—20 млрд. лет назад и породивший Вселенную. Крайне важная информация о ранней Вселенной черпается из наблюдений космического микроволнового фона, остатка теплового излучения, наполнявшего Вселенную в начале ее развития. Наблюдения космологического гравитационно-волнового фона рассказали бы о новых особенностях Большого взрыва. Так, например, квантовые флуктуации, имевшие место на 10^{-43} с жизни Вселенной, могли, вероятно, оставить наблюдаемый сегодня след. Кроме того, по реликтовым гравитационным волнам можно было бы судить о бурной начальной фазе образования галактик.

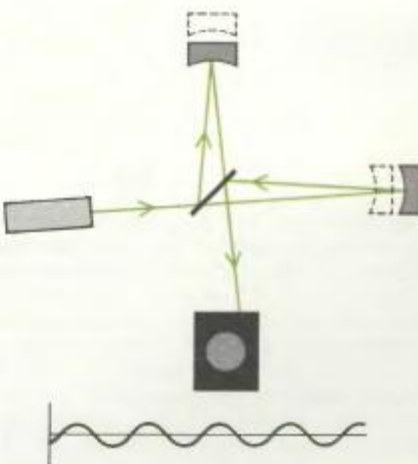
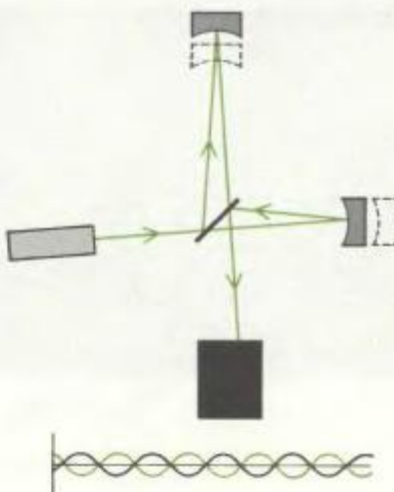
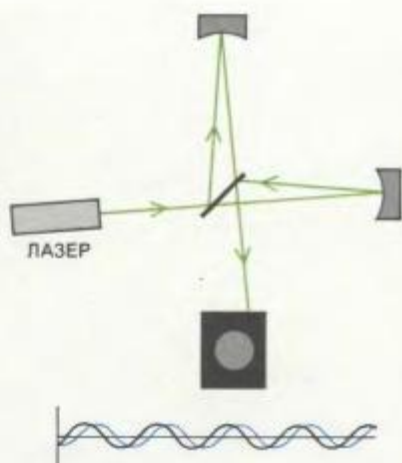
Во всех описанных сценариях возникают гравитационные волны, которые оставили бы слабые, едва уловимые следы при прохождении Земли. Разделенные метровым расстоянием пробные массы при этом лишь слегка сдвинулись бы на величину порядка 10^{-21} м, что в миллион раз меньше диаметра протона. К тому же длительность гравитационных импульсов от сверхновых составляет всего несколько миллисекунд. Как же можно улавливать столь слабые сигналы?

ПЕРВЫЕ детекторы гравитационных волн были построены в начале 60-х годов Дж. Вебером из Мэрилендского университета в Колледж-Парке. Веберовские детекторы, или антенны, представляют собой массивные цилиндры, сделанные, как правило, из алюминия. В ответ на действие гравитационных волн такие цилиндры начинают вибрировать. К

ИНТЕРФЕРОМЕТР может быть использован для обнаружения гравитационных волн. Интерферометр состоит из лазера, разделителя луча, двух зеркал, определяющих два перпендикулярных плеча, и фотодетектора. Рядом с фотодетектором изображена зависимость напряженности электрического поля от времени в каждом возвращающемся пучке. Если размеры обоих плеч различаются на $1/8$ длины волны, то электрические поля в световых лучах объединяются друг с другом через четверть фазы, и на выходном отверстии будет наблюдаться только половинная интенсивность света (*вверху*). Если гравитационная волна изменяет путь луча в одном из направлений, то фазы колебаний еще более рассогласовываются, и интенсивность света на выходе падает (*в середине*). Сдвиг в противоположном направлении вызывает согласование фаз, и сигнал на выходе становится сильнее (*внизу*).

настоящему времени лучшие твердотельные детекторы чувствительны к относительным сдвигам пробных масс до 10^{-18} , однако ни одного сигнала на этом уровне не было зафиксировано.

С помощью этих приемников можно в принципе делать и более точные измерения, но эта задача весьма трудна. Одна из причин состоит в том, что чувствительность любого детектора гравитационных волн возрастает с его длиной, и самая большая антенна,





ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ интерферометра к изменениям расстояния между его зеркалами (следовательно, к гравитационным волнам) может быть повышена за счет многократного прохождения светового луча. Этого можно достичь двумя способами. В линию оптической задержки (вверху) свет попадает через отверстие в зеркале, несколько раз отражается и выходит наружу через то же отверстие. Для упрощения здесь показаны только два отражения. Линия задержки в детекторе гравитационных волн создает десятки скрещенных прохождений (в середине). В резонаторе Фабри — Перо (внизу) свет проходит через частично пропускающее зеркало, отражается от другого зеркала и возвращается к входному. Часть света пропускается, а остальная отражается, и затем цикл повторяется. Число отражений зависит от отражающей способности входного зеркала. В опытном детекторе было достигнуто до 10 000 прохождений луча.

которую можно сделать, может иметь длину несколько десятков метров. А при том способе детектирования, который развивается нами и другими учеными, могут быть построены инструменты длиной несколько километров. Эти инструменты называются интерферометрическими детекторами*. Они состоят из разделенных масс, связанных только лучами света.

Интерференция присуща всем видам волн, включая электромагнитные. Этот физический принцип легко проиллюстрировать на примере волн на поверхности воды. Представим себе два идентичных набора волн, возникающих при падении камней-голышей в пруд. Движущиеся по поверхности волны где-то встретятся друг с другом. Высота волн в местах пересечения ряби есть просто сумма высот каждой отдельной волны. В тех местах, где гребень одной волны встречается гребень другой, результирующий гребень оказывается больше. В местах, где гребень встречается впадину, волны уничтожают друг друга.

Явление интерференции может быть использовано для измерения относительного расстояния, пройденного двумя волнами. Волны будут складываться, если они прошли точно одинаковые пути, и уничтожаться, если их пути различаются на половину длины волны. Этот эффект лежит в основе работы интерферометрических детекторов гравитационных волн. Лазерный луч с помощью разделителя светового пучка — частично отражающего зеркала — разбивается на два идентичных световых луча, идущих в перпендикулярных направлениях. Эти два луча затем нацеливаются на свободно подвешенные массы, которые реагируют на прохождение гравитационной волны. Зеркала, прикрепленные к массам, отражают падающие лучи и возвращают их в то место, где они были разделены. Интенсивность восстановленного таким образом луча пропорциональна квадрату амплитуды скомбинированной волны и является мерой разности расстояний до двух масс. Если бы вертикально падающая волна прошла сквозь такой аппарат, то расстояние до одной из масс увеличилось бы, а до другой уменьшилось. Как следствие этого изменилась бы яркость выходного луча. При тщательном измерении интенсивности таким способом можно различать смещения намного меньшие длины волны света.

* Впервые идея об использовании лазерного интерферометра для обнаружения гравитационных волн была высказана в 1962 г. советскими учеными М. Е. Герценштейном и В. И. Пустовойтом. — Прим. ред.

Ограничение на точность измерения яркости следует из природы света как потока частиц. Лазерный луч, попадающий в интерферометр, состоит из большого числа фотонов (квантов света). Относительная ошибка в их подсчете обратно пропорциональна квадратному корню из числа частиц, принятых в течение времени измерения. Например, в простом интерферометре с помощью лазера мощностью 1 Вт можно измерять сдвиги вплоть до 10^{-14} м. Следовательно, с помощью интерферометров можно измерять смещения намного меньше размеров атома и даже атомного ядра, поскольку световые лучи отражаются триллионами атомов на поверхности зеркала.

Основным способом повышения чувствительности лазерных интерферометров служит увеличение их длины. Современные прототипы этих приборов имеют длину в интервале от 1,5 м (в МТИ) до 40 м (в КТИ). Пробные массы в планируемых системах будут располагаться на расстояниях 4 км друг от друга. Это в 100 раз больше, чем размеры опытной установки в КТИ.

Чувствительность всех современных и разрабатываемых детекторов также повышается, если свет будет многократно отражаться от зеркал интерферометра. Улучшение чувствительности возрастает линейно с числом отражений. Надо следить только за тем, чтобы время прохождения света между зеркалами не оказалось большим по сравнению с временем действия гравитационной волны, так как в таком случае эффекты, создаваемые гравитационной волной, усреднятся. Для «умножения» длины пути света могут быть использованы два метода (см. рисунок на с. 26): линия оптической задержки (предложенная Вейссом) и полость Фабри—Перо (предложенная Древером). В линии оптической задержки свет проходит через маленькое отверстие в зеркале, расположенном рядом с разделителем луча, а затем многократно отражается до тех пор, пока вновь не войдет в то же отверстие. В случае полости Фабри—Перо свет проходит через частично прозрачное зеркало и попадает в резонатор, замкнутый полностью отражающим зеркалом. В конце концов свет «просачивается» обратно через входное зеркало.

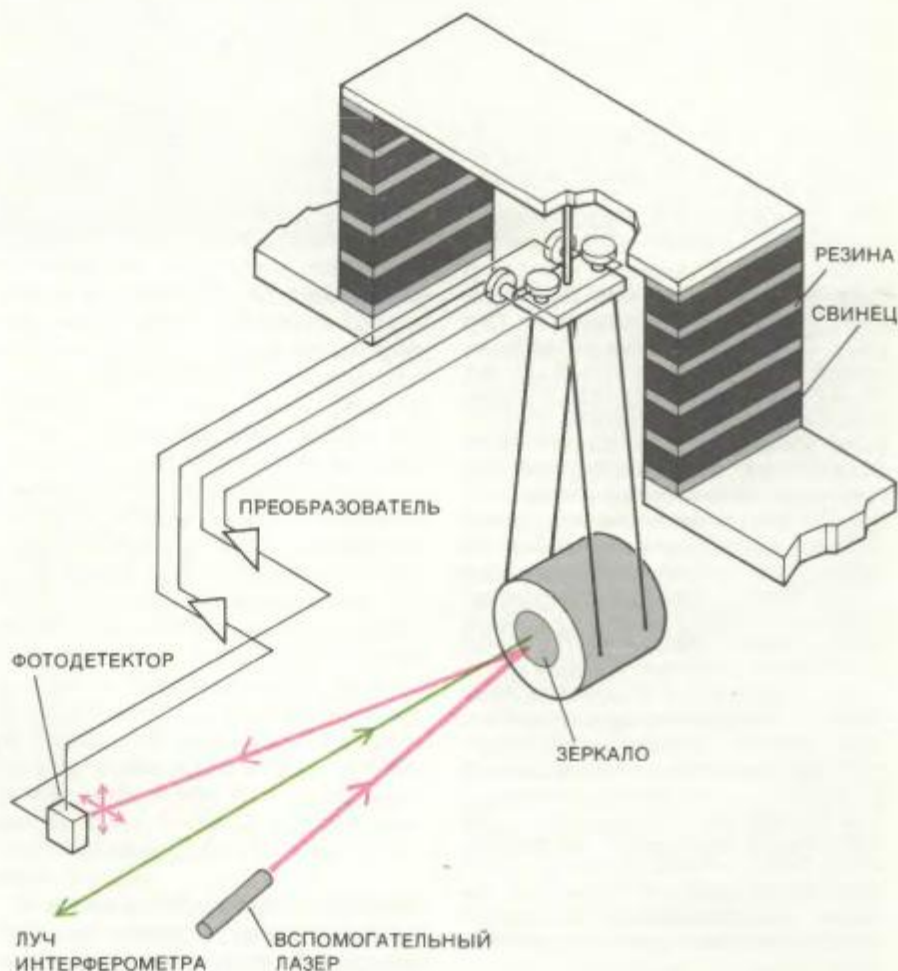
Чтобы искать сигнал вблизи выбранной частоты, время «хранения» света в резонаторе может доходить до половины периода гравитационной волны. Тогда чувствительность возрастает при попеременной посылке света то в одно, то в другое плечо интерферометра с частотой ожидаемых гравитационных волн. Еще луч-

шая чувствительность может быть достигнута путем повторного использования света, вышедшего из интерферометра. Он вновь посылается в прибор, эффективно увеличивая доступную мощность лазера.

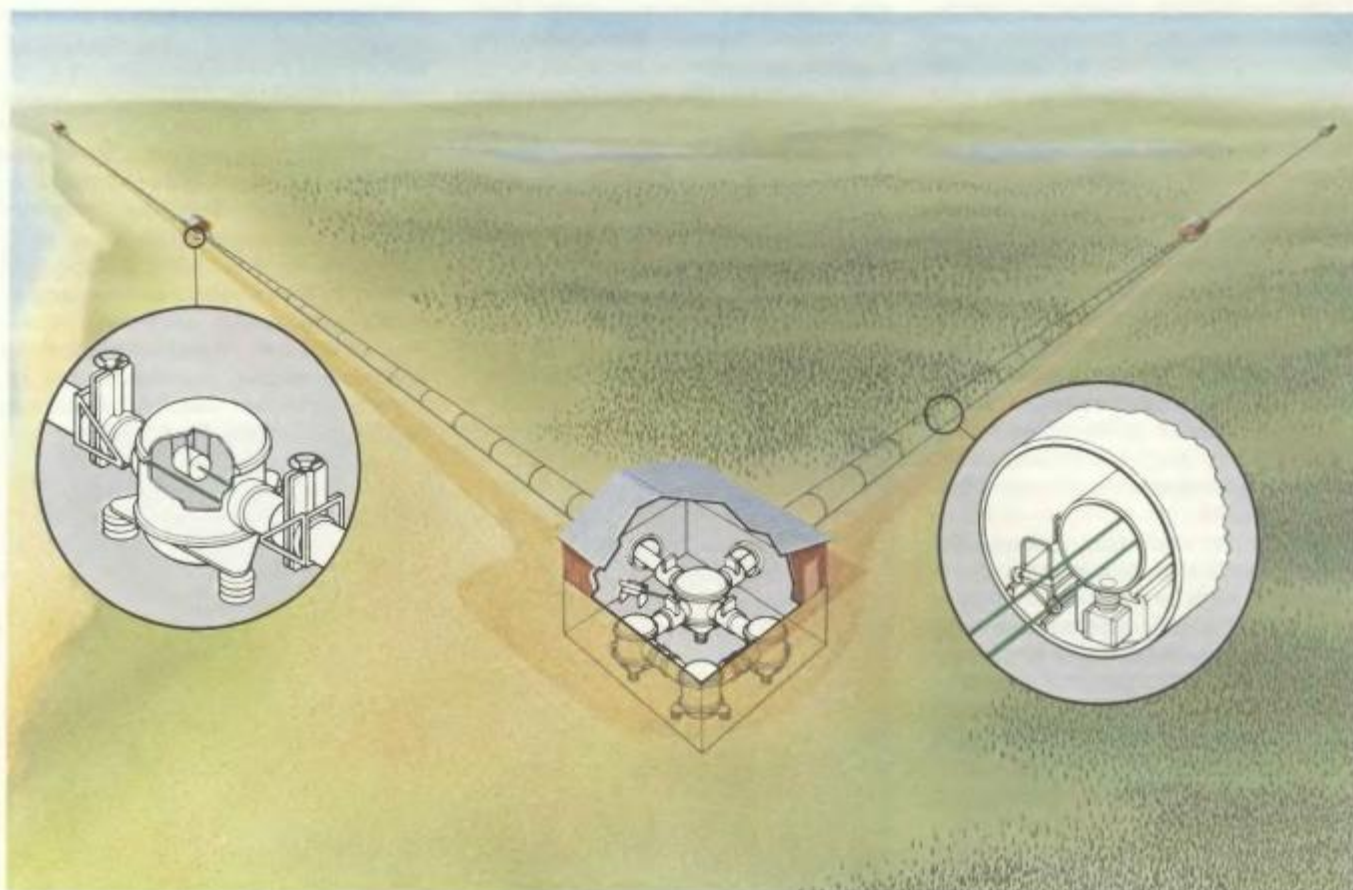
ДЕЙСТВИЕ гравитационного излучения универсально: все массы «чувствуют» гравитационные волны. Пробные тела, находящиеся в центре гравитационно-волнового интерферометра, исключительны в трех отношениях: они свободно реагируют на проходящую волну; помещены в прибор, способный «чувствовать» ничтожные смещения, порождаемые этой волной; изолированы от воздействия помех, превосходящих по величине гравитационный сигнал.

К основным шумам, способным

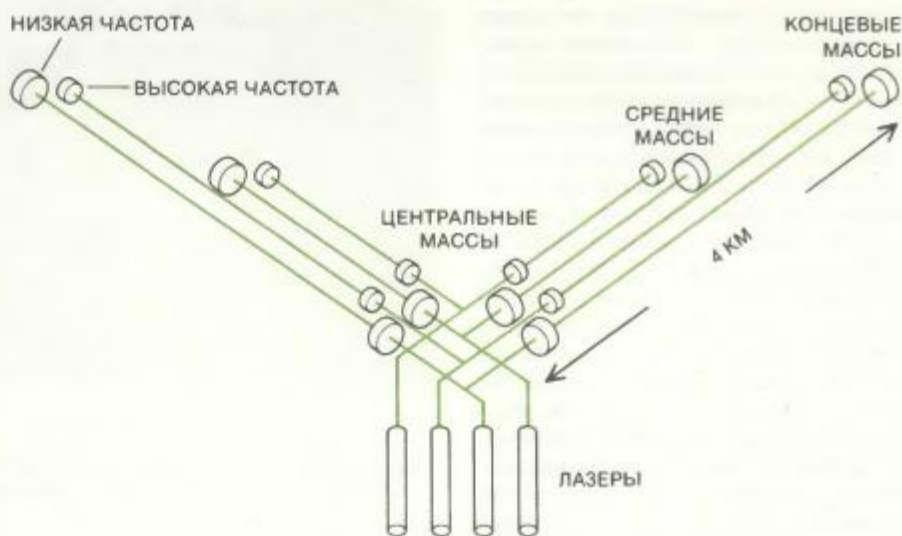
маскировать сдвиг масс под действием гравитационного излучения, относятся сейсмические возмущения и тепловые вибрации самих масс. Кроме того, мешают оставшиеся молекулы газа — они сталкиваются с пробными массами и проникают в лазерные лучи. Различные фоновые вибрации буквально штурмуют гравитационно-волновые обсерватории, причем смещения от этих шумов намного превосходят ожидаемые величины истинных сигналов. Крупномасштабные движения почвы, подобные тем, которые вызывают землетрясения, или случайная деятельность людей или машин нечасты и легко различаются как имеющие земное происхождение. Исследователей гораздо более беспокоит постоянный фон микросейсмических возмущений, порождаемый



ПРОБНАЯ МАССА в интерферометрическом гравитационно-волновом детекторе должна быть изолирована от нежелательных внешних воздействий, таких, как сейсмические возмущения. Это обеспечивается подвеской на очень тонкой проволоке каждой массы, которой как раз и может служить зеркало интерферометра. Дополнительная изоляция достигается закреплением другого конца проволоки в конструкции, состоящей из чередующихся слоев свинца и резины. Чтобы сохранить угловую ориентацию зеркала, вспомогательный лазерный луч отражается от его поверхности на позиционно-чувствительный фотодетектор. Фотодетектор подает сигналы на электромагнитный преобразователь, который наклоняет и поворачивает меньшую массу вблизи точки подвеса. С помощью меньшей массы можно корректировать любые угловые отклонения, которые служат помехой при измерениях.



БОЛЬШОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР, создание которого запланировано на 90-е годы. Это один из двух интерферометров системы, названной «лазерная интерферометрическая гравитационно-волновая обсерватория» (ЛИГО). Один интерферометр должен быть сооружен в Южной Калифорнии, другой — в шт. Мэн. Объединенные с помощью компьютеров, оба инструмента будут действовать как единая обсерватория. Справа нарисован один из детекторов. Каждый инструмент будет иметь плечи длиной 4 км. Один из возможных проектов ЛИГО включает 4 интерферометра, каждый из которых управляется отдельным лазером с использованием одной системы труб (справа). Каждый интерферометр настраивается на определенный астрофизический сигнал, поэтому такая совместная работа будет способствовать повышению эффективности ЛИГО. Чтобы отсеивать ложные сигналы, каждая оптическая система продублирована интерферометром, имеющим вдвое меньшие размеры (2 км).



эффектов, пробные массы подвешивают на тонких проволоках, как часовые гири. Быстрые движения точки подвеса сильно затухают, прежде чем достигнут массы внизу. Сами точки подвеса изолируют с помощью рессорной подвесочной конструкции, которая действует как система подвески автомобиля для того, чтобы сгладить толчки, вызванные сейсмической активностью. Такая комбинация проволочек и пружин оказывается достаточной для блокировки сейсмического шума вплоть до частоты 500 Гц. Для поиска более низкоча-

стотных гравитационных волн может быть использована более сложная система подвески, основанная на активной обратной связи.

Тепловые вибрации самих пробных масс составляют другую, большую часть шумов. В них постоянно возбуждаются колебания, вызванные внутренней энергией. Мешающее действие тепловых колебаний можно подавить, если использовать более компактные и структурно простые пробные массы, чтобы их резонансные частоты лежали выше частоты ожидаемого гравитационного сигнала.

ветром, волнами и движениями в недрах Земли.

Величина фонового сейсмического «шума» быстро падает на частотах выше 10 Гц, однако и на частотах в несколько сотен герц шум сильно превышает требуемый порог чувствительности детекторов. Чтобы изолировать гравитационно-волновые обсерватории от столь нежелательных

ла. Места разделения и сбора интерферирующих пучков (там, где вакуумные трубки пересекаются) наполнены, как правило, большим количеством сложной оптики, которая, будучи сведенной в одно тело, может образовывать структуру с многими перекрывающимися резонансами. На практике это центральное тело обычно делят на самостоятельно подвешенные компоненты, каждый из которых обладает допустимым набором резонансов.

Шум, возникающий из-за бомбардировки пробных масс остаточными молекулами газа и проникновения этих молекул в лазерные лучи, минимизируется с помощью вакуумных трубок. Поскольку скорость прохождения света через среду с остатками газа флуктуирует, для снижения помех требуется почти идеальный вакуум.

Более мелкие помехи обусловлены такими явлениями, как изменения локального гравитационного и магнитного полей. Однако крайне маловероятно, что какие-либо источники шума, известные или неизвестные, будут одновременно действовать на детекторы, разделенные тысячами километров. Именно такая пара интерферометров и будет создавать ЛИГО. А гравитационные волны от космических источников равномерно омыают Землю и будут одинаково и практически одновременно воздействовать на приемники в любой точке земного шара. Вид сигнала, одновременно зарегистрированного на двух или нескольких удаленных друг от друга детекторах, будет трудно спутать с шумом.

СУЩЕСТВУЮЩИМ ныне лабораторным интерферометрам недостает чувствительности для принятия сигналов от далеких галактик; источники же в Млечном Пути, которые могли бы быть зарегистрированы, вспыхивают нечасто — может быть, всего лишь раз в 30 лет. Система ЛИГО, детекторы которой будут находиться на расстоянии 4 км, должна обладать чувствительностью, достаточной для регистрации всплесков гравитационного излучения с амплитудой менее 10^{-21} . Именно такой уровень сигнала ожидается от большинства астрофизических источников. В отличие от полезного сигнала почти любые факторы, мешающие точному измерению смещений пробных тел (сейсмический шум или тепловые движения), не зависят от длины плеч интерферометра. Источники помех, которые могли бы усиливаться с возрастанием длины плеч интерферометров (например, флуктуации при наведении лазеров или искажения и ослабления из-за остаточных моле-

кул газа), в основном пренебрежимо слабы или легко контролируются.

Одиночный детектор гравитационных волн имеет очень плохую направленность. Это означает, что интерферометры в разных частях земного шара могут принять сигнал с большой площади неба. Хотя двух детекторов оказывается достаточно для различения всплески фонового шума, для точного определения направления прихода истинного сигнала требуется по крайней мере три работающих приемника. При этом информация о направлении на источник должна извлекаться на основе времени прихода сигнала на различные детекторы. В настоящее время в Западной Европе имеются два проекта постройки больших интерферометров. Их создание планируется примерно в те же сроки, что и американских систем. Один из них — интерферометр с размером плеча 1 км и возможностью его увеличения до 3 км — предполагается установить в Шотландии по проекту Университета г. Глазго и Лаборатории Резерфорда — Эпплтона. Постройкой другой системы занимается Институт им. Макса Планка в Западной Германии. Его планируется установить в Баварии. Он будет иметь трехкилометровые плечи, пересекающиеся под углом 60° . Эта обсерватория может быть расширена путем включения трех интерферометров, расположенных в вершинах равностороннего треугольника. Во Франции также есть группа, работающая над созданием крупного интерферометра, хотя и в более отдаленные сроки.

ЛИГО будет иметь вакуумные трубки диаметром 1,2 м — достаточно большие, чтобы заключить в себе сразу несколько интерферометров с раздельно подвешенными пробными телами. Кроме того, туда же будут помещены наполовину укороченные интерферометры, которые одинаково наряду с полными будут реагировать на локальные шумовые воздействия, но вдвое меньше — на подлинные сигналы. Такой подход позволит четко различить сигнал на фоне случайных помех.

Поскольку большинство шумов, мешающих измерениям, исходит от источников земного происхождения, имело бы смысл вынести гравитационно-волновые обсерватории в космос. Эта идея сейчас активно разрабатывается. В одном из вариантов эксперимента предлагается точно измерять частоту микроволнового сигнала, посылаемого на Землю из глубокого космоса спутником-зондом. Прошедший гравитационный импульс изменил бы частоту сигнала. Этот метод чувствителен к гравитационным волнам в диапазоне частот

от одной в минуту до одной в час, что намного ниже частотного диапазона наземных антенн. Пока что достигнутая на этом пути чувствительность оказалась недостаточной для обнаружения гравитационных волн*.

Сейчас разрабатывается гораздо более сложный космический эксперимент, в котором будут использоваться лазеры для точного измерения расстояния между пробными массами, помещенными на околоземную орбиту и удаленными на миллионы километров друг от друга. Такая система наиболее подходит для изучения гравитационных волн от классических двойных звезд, которые имеют большие периоды орбитального обращения. Хотя много меньший по размерам космический интерферометр мог бы оказаться полезен для измерений в килогерцевой полосе, он был бы, вероятно, не лучше земных приемников для этих частот, а постройка его обошлась бы несравненно дороже.

КАЖДЫЙ ШАГ вперед в развитии Астрономической техники, включая радио-, рентгеновские, инфракрасные и мощные оптические телескопы, привнес новые представления о картине космоса. В XIX в. образ Вселенной представлял собой мирную, бесконечную во времени картину скопления звезд. Сейчас мы знаем, что Вселенная родилась в результате Большого взрыва и расширяется с огромной скоростью. Вселенная заполнена островными мирами-галактиками, которые в свою очередь являются местообитанием таких «бурных» объектов, как газовые струи, вырывающиеся на расстояния тысяч световых лет, старые звезды, разрываемые на части своими соседями, и молодые звезды, загорающиеся внутри огромных темных облаков.

Мы надеемся, что ЛИГО и другие гравитационно-волновые обсерватории впервые позволят ясно увидеть те процессы, о которых к нам доходят лишь «намеки» с помощью электромагнитного излучения. Эти обсерватории могли бы хорошо детектировать коллапсы ядер сверхновых, релятивистские слияния нейтронных звезд и даже, возможно, формирование черных дыр. А самое главное — наши знания о Вселенной пополнятся открытием совершенно новых явлений, видимых только по их гравитационному излучению.

* Идея детектирования гравитационных волн очень низких частот с помощью наблюдений за изменениями времени прихода импульсов от радиопульсаров была высказана советским астрофизиком М. В. Сажиным в 1978 г. и С. Детвейлером в США в 1979 г. — *Прим. ред.*

Анатомия памяти

*Изучение природы амнезии у человека показало, каким образом
глубинные структуры мозга могут взаимодействовать
с системами восприятия во внешних слоях мозга
при преобразовании сенсорного стимула в след памяти*

МОРТИМЕР МИШКИН, ТИМ ЭППЕНЦЕЛЛЕР

В НЕБОЛЬШОМ по объему мозгу у человека заключены системы памяти, эффективность которой позволяет ему с первого взгляда запоминать лица других людей, объемом достаточен для сохранения всего жизненного опыта, а пластичность столь совершенна, что воспоминание о каком-нибудь событии может пробудить связанные с этим зрительные, слуховые, обонятельные, вкусовые и тактильные ощущения и соответствующие эмоции. Как работает эта система? Даже просто дать определение памяти нелегко. По собственному опыту каждый знает, что есть большая разница между такими действиями, как запоминание лица или стихотворения и овладение каким-либо навыком, например машинописью. Необычайно сложен материальный носитель памяти — в мозгу не менее 10^{12} нервных клеток и бесчисленное множество связей между ними. Но как бы там ни было, процессы, происходящие в мозгу во время запоминания, уже сейчас можно попытаться описать хотя бы в схематической и во многом гипотетической форме.

Картина, которая сложилась в представлении авторов этой статьи, носит в основном анатомический характер. На протяжении последних 20 лет Мишкин и его коллеги занимались идентификацией нервных структур и уровней (больших групп нервных клеток), принимающих участие в процессах памяти, прослеживали их проекции и пытались узнать, как они взаимодействуют между собой во время формирования следа памяти, его извлечения и при образовании связи между следами памяти различной модальности. Некоторые исследователи изучают память на более тонком уровне: у простейших животных или в образцах нервной ткани высших животных они регистрируют изменения электрических и химических свойств отдельных нейронов, возникающие в результате простых типов обучения. Сложность объекта наших исследований — памяти человека и, как наиболее близкого ее аналога, памяти обезьян Старого Света — требует прин-

ципально иного подхода, при котором, в частности, должна учитываться крупномасштабная структурная организация головного мозга. В конечном счете память — это некая последовательность событий на молекулярном уровне. Мы же в своей работе пытаемся составить карту областей мозга, в которых эти события развертываются.

Многие работы, результаты которых легли в основу современных представлений о памяти, исходили из историй болезни людей, которые по тем или иным причинам (вследствие заболевания, травмы или хирургического вмешательства) получили повреждение какой-либо области мозга и частично утратили способность обучаться или запоминать. Одним из известных случаев такого рода является сильно выраженная амнезия у больного Х. М., наблюдавшегося сотрудницей Монреальского неврологического института Б. Милнер и ее коллегами из других учреждений. Эти наблюдения дали немало информации о характере нарушений памяти, связанных с определенным поражением мозга.

В наших экспериментах, которые проводились в основном на макаках, применялся комплексный подход, сочетающий анатомический, физиологический и поведенческий аспекты. С помощью меченых веществ, переносимых по аксонам (длинным отросткам нейронов, по которым передаются нервные сигналы), была выявлена нервная сеть, объединяющая определенные структуры мозга в систему памяти. Мы регистрировали также электрическую активность нейронов и изучали поглощение ими глюкозы, несущей радиоактивную метку; это позволило идентифицировать участки мозга, активирующиеся во время выполнения животными задач, требующих научения. Наконец, в опытах, целью которых была оценка функциональной значимости ряда структур, идентифицированных другими методами, мы сочетали психологическое тестирование с хирургическим вмешательством или введением

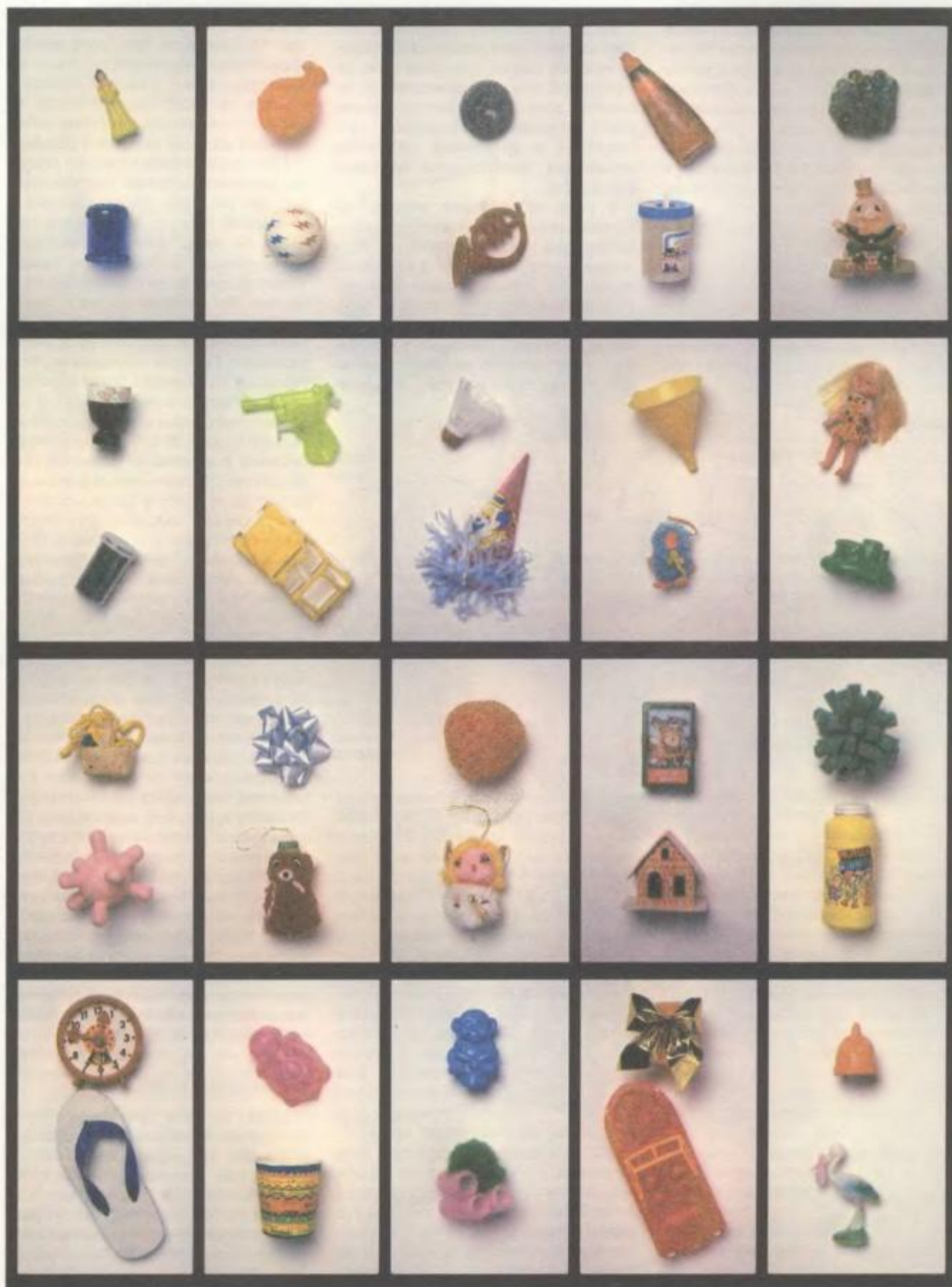
лекарственных препаратов. Для этого у подопытных животных разрушали или химически блокировали определенные структуры мозга либо перерезали соответствующие нервные пути. Затем животное подвергалось различным поведенческим тестам, что должно было разграничивать отдельные компоненты памяти и выявлять, в каких из них произошли нарушения.

При изучении памяти человека приходится пользоваться непрямими методами с присущими им неизбежными недостатками. У макака мозг приблизительно в четыре раза меньше, чем у шимпанзе — ближайшего родственника человека, а у шимпанзе еще примерно вчетверо меньше, чем у человека. Увеличение размеров мозга сопровождается усложнением его организации. В мозгу человека имеются аналоги всех структур мозга макака, однако в процессе эволюции функции этих структур могли измениться. Возможности сравнительного подхода к изучению мозга человека ограничиваются в первую очередь уникальной способностью человека — речью и связанной с ней специализацией мозга. Тем не менее можно думать, что основные системы мозга у человека и обезьян, по всей вероятности, одинаковы. Данные, полученные нами при изучении обезьян, вполне согласуются с тем, что известно о расстройствах памяти у человека из клинической практики.

Зрительная система

Чаще всего следы памяти образуются в результате ощущений. Но прежде чем задаться вопросом, как сенсорный опыт сохраняется в мозгу в виде следов памяти, уместно задаться вопросом, каким образом вообще перерабатывается сенсорная информация. Отправной точкой наших исследований памяти стало изучение нервного пути, ответственного за зрительное восприятие.

В мозгу зрительная система начинается в стриарной, или первичной, зри-



ПАМЯТЬ ИЗУЧАЮТ с помощью специальных тестов. Для проверки у обезьян памяти, связанной со зрительным восприятием, используют набор различных по внешнему виду предметов. Животное должно научиться узнавать раз ви-

денный объект, т. е. запоминать его визуально. Сочетание таких тестов с хирургическим повреждением определенных структур мозга позволило выявить структуры и нервные пути, имеющие значение для зрительной памяти.

тельной коре — области на задней поверхности мозга, получающей информацию о зрительных стимулах от сетчатки через зрительный нерв и расположенное в глубине мозга промежуточное образование, называемое латеральным колленчатом телом. В стриарной коре адекватно представлено поле зрения: каждый небольшой участок этого поля активирует определенную группу нейронов.

К 1960-м годам стало ясно, что в зрительном восприятии помимо стриарной коры участвует и височная доля (эта область расположена в каждом полушарии мозга позади уха и виска). По сути дела, та зрительная область височной доли, которую изучали мы и другие исследователи в 60-е годы, представляет собой продолже-

ние пути, начинающегося в стриарной коре. Этот путь через ткань коры (поверхностный слой мозга) направляется вперед к нижней височной коре, занимающей нижнюю поверхность височной доли. Нейроанатомические работы показали, что данный путь соединяет в различных последовательностях определенные корковые структуры.

В ряде лабораторий участие отдельных структур мозга в зрительном восприятии у обезьян изучалось с помощью хирургического разрушения этого пути и последующей проверки способности животных решать задачи, связанные со зрительным восприятием, а также с помощью регистрации электрической активности каждой из этих структур при предъяв-

лении животным различных зрительных стимулов. В важных экспериментах Ч. Гросса и его сотрудников (Принстонский университет) были зарегистрированы ответы нейронов нижней височной коры обезьян на предъявление зрительных стимулов небольшой площади различной формы.

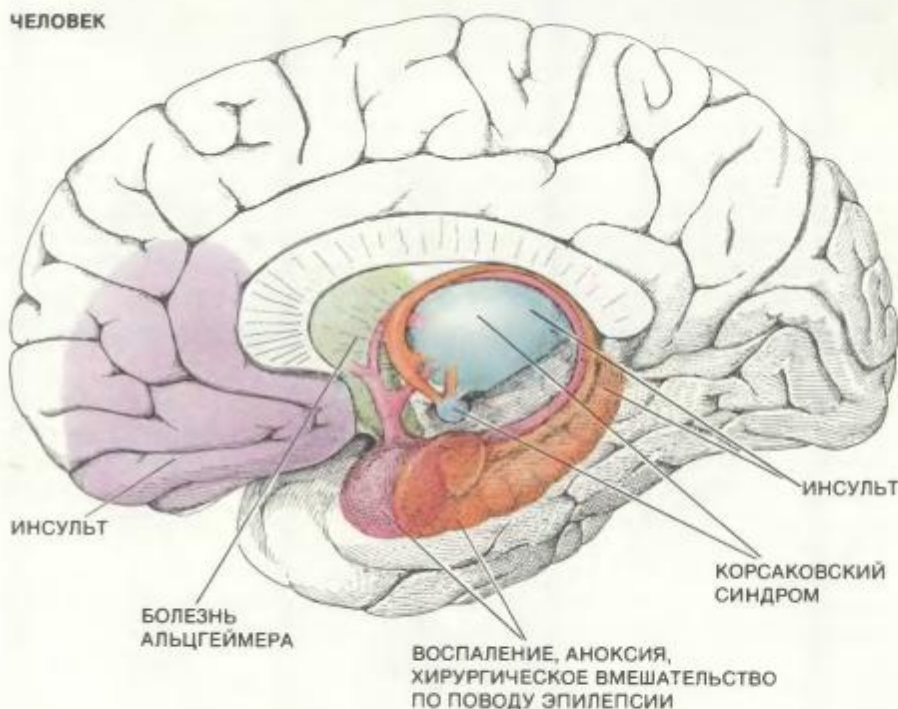
При предъявлении простого стимула, например, коротких полосок, одиночные нейроны, расположенные в стриарной коре, т. е. в начале зрительного пути, отвечают наиболее интенсивно на определенную ориентацию и локализацию стимула в поле зрения (этот феномен описан в 50-е годы Д. Хьюбелом и Т. Визелом). Нейроны же нижней височной доли, обнаруженные Гроссом с коллегами, реагировали на стимулы более сложной формы, расположенные в каждой половине зрительного поля приблизительно между 20 и 30°. Одиночные нейроны реагировали только на стимулы строго определенной формы независимо от того, в какое место поля зрения они попадали. Эти факты говорят о том, что нейроны нижней височной доли получают информацию от больших участков поля зрения, притом нередко о всей совокупности свойств зрительного стимула.

На основании таких и некоторых других данных было сделано предположение о том, что зрительная информация на протяжении зрительного пути перерабатывается последовательно. Образно говоря, чем на более высоком уровне пути находится нейрон, тем шире окно, через которое он смотрит в мир — в том смысле, что охватывает более широкий участок поля зрения и пропускает более сложную информацию о свойствах стимула. По ходу пути нервные клетки реагируют на все возрастающее число физических признаков объекта (его размеры, форму, цвет, текстуру и т. п.), а нейроны наивысшего уровня, расположенные в нижней височной коре, осуществляют синтез окончательного образа объекта.

От опыта к памяти

Итак, по ходу зрительного пути происходит интеграция сенсорной информации в перцептивный опыт (ощущение). Видимо, аналогично перерабатывается и информация, поступающая в мозг от других органов чувств. Недавно сотрудниками нашей лаборатории в Национальном институте психического здоровья Д. Фридманом, Э. А. Меррей, Т. Понсом и Р. Дж. Шнайдером был прослежен протяженный путь переработки тактильной информации. На первом

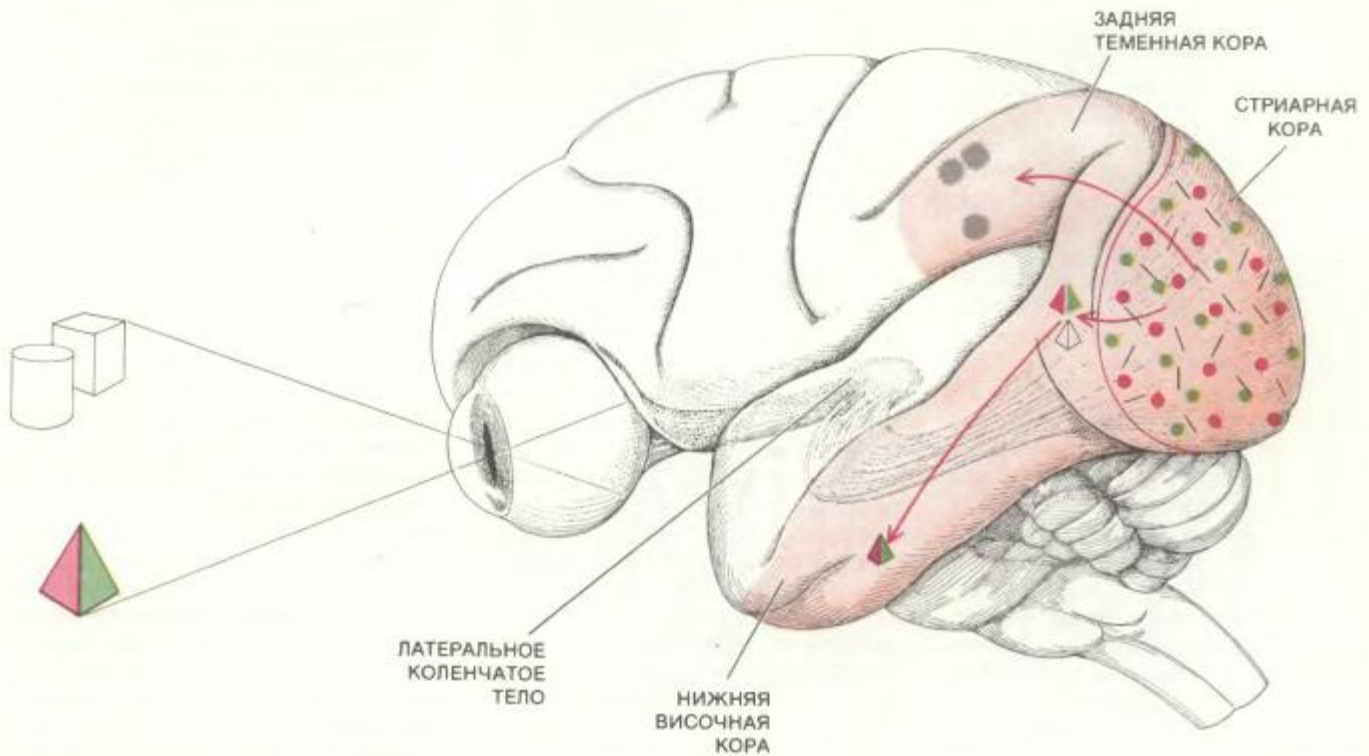
ЧЕЛОВЕК



МАКАК



ОБЛАСТИ ПОРАЖЕНИЙ, возникающих вследствие заболевания или иных причин и вызывающих потерю памяти, показаны на поперечных срезах мозга человека (вверху; 2/3 натуральной величины) и макака (внизу; натуральная величина). Одинаковым цветом показаны аналогичные структуры.



ПЕРЕРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ в зрительной системе происходит по ходу двух нервных путей, расположенных в коре мозга. Первоначальная переработка информации, поступающей от сетчатки через латеральное колленчатое тело, протекает в начальных звеньях этих путей — в стриарной коре. Нейроны стриарной коры реагируют на простые ограниченные в пространстве элементы поля зрения, например на края предметов или цветные пятна. Нейроны нижнего пути, который в действительности состоит из ряда расходящихся и вновь сходящихся волокон, анализируют более общие признаки предмета, например его форму и

цвет. Нейроны, находящиеся на последнем уровне этого пути — в нижней височной коре, обладают чувствительностью ко всему многообразию признаков предмета и обширным участкам поля зрения. Можно думать, что на этих нейронах конвергирует полностью переработанная информация о предмете. По ходу верхнего коркового пути (он изучен не столь детально, как нижний) анализируются пространственные отношения между объектами. На последнем уровне этого пути, находящемся в задней теменной коре, происходит, например, восприятие расположения предмета относительно других ориентиров поля зрения.

уровне этого пути нейроны отвечают на раздражение отдельных точек поверхности тела, а на последнем уровне реагируют на стимуляцию обширных участков кожи, а может быть, и вообще на все тактильные стимулы.

Что должно произойти для запечатления в памяти этих переработанных следов восприятия? Эта проблема еще только изучается, но уже сейчас ясны основные пути, ответственные за такое запечатление. Они привязаны к двум структурам, расположенным на внутренней поверхности височной доли обоих полушарий мозга, — гиппокампу (названному так по греческому наименованию морского конька, которого он напоминает по форме) и амигдале, или миндале (от греческого названия миндаля).

На важнейшую роль гиппокампа в процессах памяти указывали уже некоторые наблюдения, сделанные в клинической практике. В 50-е годы для лечения тяжелых эпилептических судорог с фокусом в височных долях в крайних случаях прибегали к частичному хирургическому удалению этой области мозга. У некоторых из пер-

вых пациентов (в том числе у упоминавшегося выше Х. М.) после такой операции развилась глубокая амнезия. Бросались в глаза две особенности потери памяти у этих больных. Во-первых, амнезия носила общий характер и затрагивала память, связанную со всеми сенсорными модальностями. Во-вторых, по своему характеру она была антероградной; это значит, что хотя у больных и оставались в памяти какие-то события, произошедшие до операции, новых следов памяти у них не образовывалось. Во всех случаях такой потери памяти имело место повреждение гиппокампа во время операции.

Однако когда впоследствии делались попытки воспроизвести такую общую потерю памяти у животных путем удаления только гиппокампа, это оказалось невозможным. В серии опытов, в которых мы сконцентрировали внимание на миндале, было показано, что данная структура имеет для памяти не меньшее значение, чем гиппокамп. И когда у обезьян повреждали одновременно эти две структуры в обоих полушариях мозга, уда-

лось, наконец, получить общую антероградную амнезию.

Хирургическое повреждение нижней височной доли у обезьян приводит к потере способности к определенным типам научения, связанным со зрительным восприятием (например, к выбору предмета или зрительного стимула, постоянно сопровождающегося пищевым подкреплением, из группы предметов или стимулов, представляющихся без вознаграждения). Мы полагали, что это нарушение является следствием нарушения зрительного восприятия из-за повреждения высшего уровня переработки зрительной информации. Однако выдвигалась и другая гипотеза, согласно которой такой сбой научения обусловлен неспособностью животных связывать стимул с получением пищи.

Опровергнуть эту гипотезу и, следовательно, доказать, что причина ухудшения способности к научению у обезьян с поврежденной нижней височной долей заключена в зрительной системе, можно было, если бы, например, удалось доказать, что за фор-



ОТСРОЧКА



24 ЧАСА



ТЕСТЫ позволяют выявить у животных принципиально разные типы научения. В тесте на отсроченное противопоставление образцу (слева) обезьяне предъявляется незнакомый предмет, под которым она находит вознаграждение. Через некоторое время (отсрочка) ей дают этот же предмет в паре с незнакомым, причем лакомство лежит под незнакомым. Чтобы получить вознаграждение, следует узнать предмет, виденный раньше, и сдвинуть с места незнакомый. После того как у обезьяны выработается навык, задание можно усложнить (например, увеличивая отсрочку) и таким образом оценить способность животного запоминать предмет, виденный ранее только один раз. В тесте на дискриминацию (справа) обезьяне последовательно предъявляются 20 пар предметов. В каждой паре под одним из предметов находится вознаграждение. Одну и ту же серию пар демонстрируют многократно, с суточным интервалом, до тех пор, пока животное не научится выбирать в каждой паре предмет с наградой. Повреждение определенных структур мозга резко ухудшает показатели в первом тесте, но не влияет на выполнение второго.

мирование ассоциации между зрительным стимулом и подкреплением отвечает какая-то другая структура, не поврежденная у подопытных животных. Мы с Б. Джоунсом (в то время он был сотрудником Университета Макмастера в Онтарио) решили установить, с какими структурами образует анатомические связи зрительная система и как влияет хирургическое разрушение этих структур на способность обезьян к выбору предмета за вознаграждение. Интерес вызывали миндалины и гиппокамп, которые имеют с нижней височной корой многочисленные связи (связи гиппокампа с височной корой не прямые).

Удаление миндалины в обоих полушариях мозга приводило к резкому ухудшению способности обезьян к научению. Это указывало на то, что данная структура играет важную роль в формировании позитивной ассоциации — ожидания лакомой пищи — с определенным стимулом, информация о котором подвергается переработке в зрительной системе. Прежде чем приступить к более глубокому изучению взаимодействия между зрительной системой и миндалиной, Мишкин и Б. Спиглер (тогда она работала в Мэрилендском университете в Колледж-Парк) попытались выяснить, как можно усилить расстройство научения у обезьян. С этой целью у животных удаляли одновременно миндалину и гиппокамп, удаление которого в отдельности не имело такого эффекта, как ликвидация миндалины.

У обезьян, у которых удалялась только миндалины, ассоциация между стимулом и вознаграждением устанавливалась медленно, но в конце концов она все-таки появлялась. При одновременном же удалении и миндалины, и гиппокампа способность выполнять задание полностью исчезала. Резкое усиление эффекта заставило нас задаться вопросом, не имеем ли мы в этом случае дело с нарушениями, механизмы которых иные, нежели неспособность животного связывать знакомый предмет с вознаграждением? Не объясняется ли неспособность животного научиться выбирать определенный предмет тем, что оно не может запомнить предъявляемый предмет? Другими словами, не приводит ли одновременное удаление гиппокампа и миндалины к потере зрительной памяти?

Случилось так, что незадолго до этого Э. Делакур из Парижского университета и Мишкин разработали тест, специфичный к зрительной памяти и позволяющий отграничить ее от способности животного связывать предмет с вознаграждением вообще. В этом тесте, получившем название

«отсроченное» противопоставление образцу», животному предъявляется определенный предмет, под которым оно находит вознаграждение (арахис или банановую мякоть). Затем животному предъявляются два предмета, один из которых уже знаком ему, а другой незнаком. В этом случае лакомство лежит под незнакомым предметом. Таким образом, вознаграждается узнавание и отказ от знакомого предмета «в пользу» незнакомого. В каждом испытании используется совершенно новая пара предметов.

Известно, что обезьяны обучаются легко. В одном из вариантов метода, разработанного Д. Гэффеном из Оксфордского университета, зрительную память животного можно оценить с помощью описанного теста, увеличивая интервалы между первоначальным предъявлением предмета и ситуацией, требующей выбора, или же предъявляя животному для запоминания не один, а несколько предметов и заставляя затем делать выбор из нескольких предметов. Поскольку пища всегда находится под незнакомым предметом, способность связывать определенный предмет с вознаграждением не отражается на выполнении теста. Вознаграждение выступает в роли просто побудительного мотива. Тест на отсроченное противопоставление образцу позволяет специфически оценивать память, связанную с узнаванием. Нормальные (интактные) обезьяны выполняют его с почти стопроцентной точностью.

Специфичный тест на зрительное узнавание мы уже использовали применительно к обезьянам с удаленной нижней височной корой и наблюдали такое же отсутствие способности к восприятию и идентификации знакомых предметов, как и ранее при других способах проверки. Теперь мы подвергли этому тесту животных с интактной зрительной системой, но с удаленными миндалиной и гиппокампом. Если интервал между предъявлением первого предмета и ситуацией, требующей выбора, был незначительным, животные справлялись с заданием, что указывало на отсутствие у них нарушений зрительного восприятия. Когда же этот интервал увеличивался до 1—2 мин, показатели поведения падали почти до уровня случайных значений. Таким образом, нам, судя по всему, удалось добиться настоящей потери памяти у обезьян.

Заслуживает особого внимания тот факт, что амнезия, развившаяся у животных после одновременного удаления миндалины и гиппокампа, затрагивала не только зрительное запоминание, — она носила общий характер. В нашей лаборатории Э. Меррей обнаружила, что у таких обезьян сход-

ным образом ухудшается способность узнавать предметы на ощупь. Считалось, что у человека подобная амнезия является следствием поражения одного только гиппокампа. Действительно, Л. Сквайр из Калифорнийского университета в Сан-Диего и его коллеги, которые исследовали мозг одного больного амнезией после его смерти, обнаружили поражение только в гиппокампе. Однако у многих других таких больных поражением охвачены гораздо более обширные области мозга, и в нарушении памяти у них могут иметь значение и повреждения миндалины. В самом деле, из одной ранней работы следует, что степень ухудшения памяти у больных амнезией, по-видимому, пропорциональна совокупной массе пораженной нервной ткани в миндалине и гиппокампе.

Мы и Р. Сондерс, изучая участие различных структур мозга в процессах памяти у обезьян, выявили именно такую зависимость. Видимо, миндалины и гиппокамп играют одинаково важную роль в памяти, связанной со зрительным узнаванием. Удаление какой-либо одной из этих структур влияет на способность животного к узнаванию, но относительно слабо — вероятно, потому, что они могут брать на себя функции друг друга. Гораздо более сильное нарушение наблюдается в том случае, если у животного одна из структур ликвидируется в обоих полушариях мозга, а вторая — только в одном. Наконец, двухстороннее удаление и миндалины, и гиппокампа приводит к тому, что показатели поведения животного в тесте на отсроченное противопоставление образцу падают почти до уровня случайных значений.

Другие уровни памяти

Повреждение миндалины и гиппокампа — основных структур так называемой лимбической системы — не единственный тип неврологических нарушений, вызывающих общую амнезию. У ряда больных причиной амнезии являются повреждения промежуточного мозга — группы ядер в центральной части мозга, формирующих две структуры — таламус и гипоталамус. При дегенерации участков промежуточного мозга, расположенных медиально (т. е. вдоль средней линии мозга), развивается корсаковский синдром — общая амнезия, встречающаяся у некоторых хронических алкоголиков; этот синдром может возникнуть также из-за поражения промежуточного мозга вследствие инсульта, травмы, инфекции или опухоли. Клинические свидетельства участия ядер промежуточного мозга в

процессах памяти поддерживаются анатомическими данными: показано, что к промежуточному мозгу подходят нервные волокна из миндалины и гиппокампа.

Чтобы проверить предположение о взаимодействии промежуточного мозга с лимбическими структурами, создающем некую цепочку памяти, мы совместно с Дж. Этглтоном из Даремского университета вновь прибегли к сочетанию хирургического вмешательства с последующей проверкой поведения. У обезьян в промежуточном мозге в различных сочетаниях и по отдельности разрушали участки, к которым подходят нервные волокна от миндалины и гиппокампа. Тесты на зрительное узнавание выявили тот же тип нарушений памяти, который развивался после удаления самих гиппокампа и миндалины. При этом если участки промежуточного мозга, иннервируемые от гиппокампа и миндалины, повреждались одновременно, то расстройство узнавания было очень сильным, а если разрушались участки, соединенные только с одной из этих структур, то наблюдался слабый эффект. Таким образом, нами, по всей видимости, идентифицированы две вполне определенные цепочки памяти, каждая из которых может обеспечивать зрительное узнавание стимула.

Дальнейшие исследования подтвердили правильность того предположения, что промежуточный мозг и лимбические структуры участвуют в процессах памяти не независимо, а в составе единой цепи. Сотрудники нашей лаборатории Дж. Башвалье и Дж. Паркинсон, перерезав нервные пути, соединяющие эти структуры, наблюдали такие же нарушения памяти, какие возникают при повреждении самих структур.

Нейроанатомические данные, полученные ранее, наводили на мысль, что выявленные нами цепочки памяти прослежены не до конца. Ядра таламуса, связанные с лимбическими структурами, в свою очередь посылают волокна к вентромедиальной префронтальной коре (так называется область коры, подогнутая под передний край мозга). Как показала Дж. Башвалье, хирургическое разрушение этой области приводит к глубокому расстройству памяти, требующей узнавания.

Итак, высший уровень зрительной системы (как и других сенсорных систем) связан с двумя параллельными цепочками памяти, включающими в себя по меньшей мере лимбические структуры височной доли, медиальные части промежуточного мозга и вентромедиальную префронтальную кору. Как функционируют эти струк-

туры в процессе образования следа памяти? Вопрос осложняется тем соображением, что следы памяти образуются и сохраняются, скорее всего, не только в самих цепочках и даже

не столько в них, сколько в иных местах. Клинические наблюдения за людьми с поврежденной лимбической системой свидетельствуют, что старые следы памяти не исчезают, а зна-

чит, они должны храниться на более низких уровнях проследженных нами нервных путей. Наиболее вероятным местом хранения следов памяти являются, по-видимому, те области коры, в которых формируются следы восприятия.

Вероятно, подкорковые цепочки памяти участвуют в своего рода системе обратной связи с корой. После того как в результате переработки мозгом информации о сенсорном стимуле активизируются миндалина и гиппокамп, цепочки памяти оказывают влияние в обратном направлении — на сенсорные области. Такая обратная связь должна способствовать закреплению и, следовательно, сохранению образа произошедшего сенсорного события. Сам образ, наверное, представлен ансамблем нейронов, определенным путем соединенных между собой. Возможно, под влиянием обратной связи от цепочек памяти синапсы (особые структуры клеточной мембраны, обеспечивающие контакт между нервными клетками) в этом ансамбле подвергаются таким изменениям, которые сохраняют установившуюся схему соединений между нейронами и, следовательно, преобразуют след восприятия в стойкий след памяти. Впоследствии, когда нейронный ансамбль вновь активизируется под действием того же сенсорного события, которое привело к его образованию, произойдет узнавание.

Какую конкретно роль играют различные структуры в этой обратной связи, неизвестно. Есть, однако, ряд указаний на природу обратной связи вообще. Одно из них является из результатов изучения холинергической системы базального переднего мозга. На долю этой системы нейронов приходится основная часть поступающего в кору и лимбическую систему нейромедиатора ацетилхолина (нейромедиатор — химическое вещество, посредством которого нервный сигнал передается через синапс).

По-видимому, ацетилхолин играет в памяти очень существенную роль. Так, болезнь Альцгеймера, одним из характерных признаков которой является потеря памяти, сопровождается понижением содержания ацетилхолина в мозгу. В нашей лаборатории Т. Эйгнер обнаружил, что если обезьяне ввести препарат физостигмин, который усиливает действие ацетилхолина, ее показатели в тесте на зрительное узнавание улучшаются. Наоборот, введение скополамина — вещества, блокирующего действие ацетилхолина, — вызывает ухудшение этих показателей. Недавно в сотрудничестве с группой исследователей из

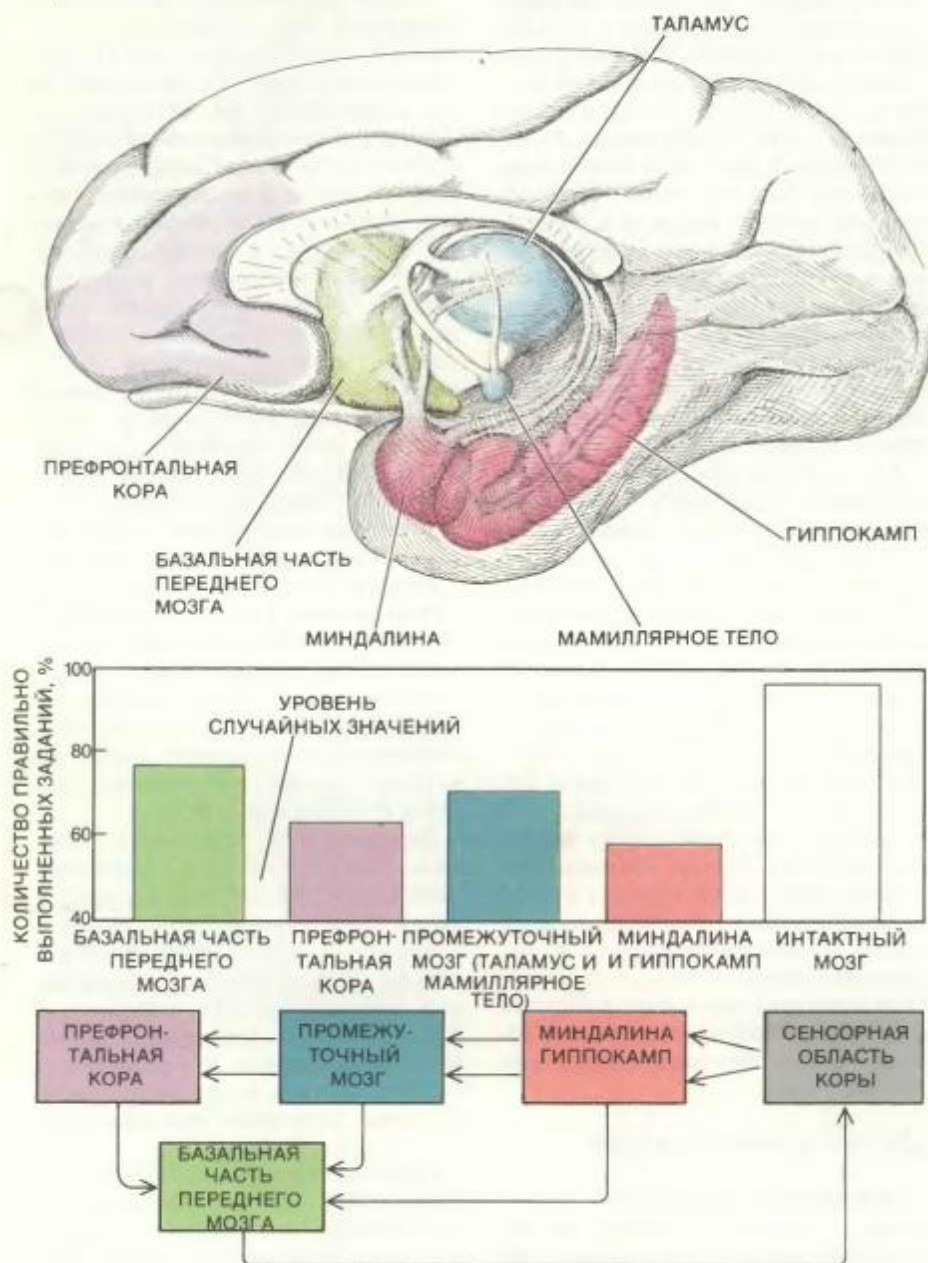
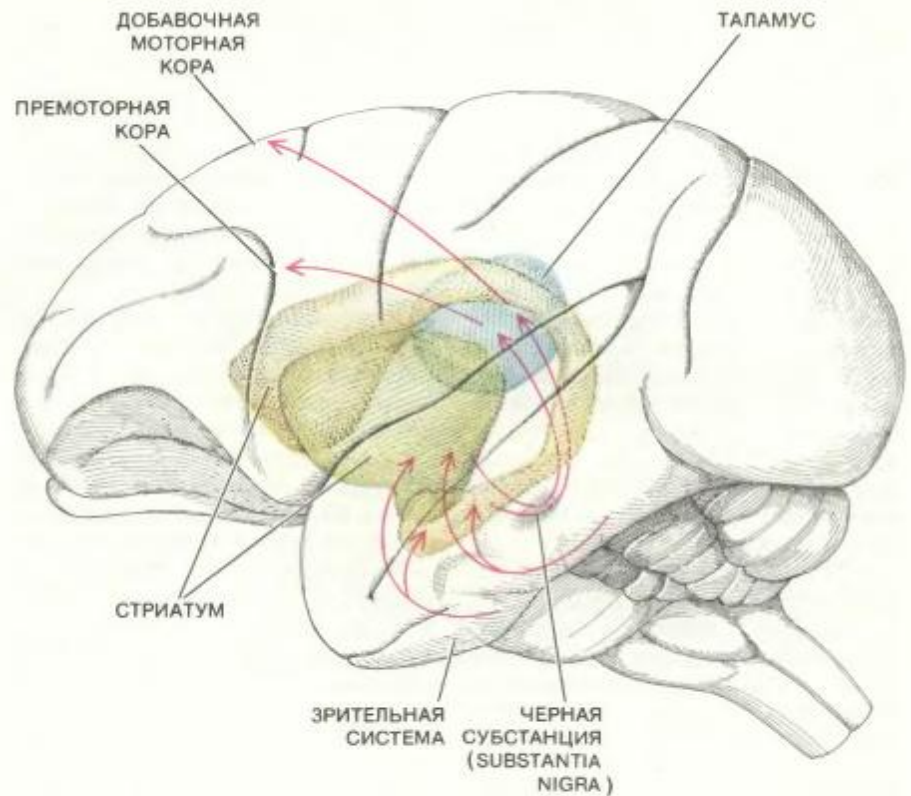


СХЕМА СИСТЕМЫ ПАМЯТИ у обезьян составлена главным образом на основании результатов теста на зрительное узнавание (см. левую часть рисунка на с. 34), проводившегося после повреждения определенных структур или проводящих путей мозга; учитывались также другие исследования, в том числе данные нейроанатомического изучения нервных цепочек, связывающих эти структуры. Вверху показаны структуры мозга, которые, судя по экспериментам, участвуют в процессах памяти. В середине приведены средние показатели выполнения теста на зрительное узнавание обезьянами после соответствующего хирургического вмешательства и для сравнения нормальными (интактными) животными. Внизу схематически изображено возможное взаимодействие структур в процессе образования следа памяти. След восприятия, сформировавшийся на последнем уровне корковой сенсорной системы, вызывает активизацию двух параллельных нервных цепочек. Одна из них начинается в миндале, другая — в гиппокампе; обе цепочки проходят по участкам промежуточного мозга и префронтальной коры. Каждая из названных структур в свою очередь посылает сигналы в базальную часть переднего мозга, который благодаря своим многочисленным связям с корой может замыкать всю петлю. Это замыкание способствует определенным изменениям синапсов в корковых сенсорных областях, что приводит к превращению следа восприятия в след памяти.

Медицинской школы Университета Джонса Гопкинса, возглавляемой Д. Прайсом и М. Р. Де-Лонгом, Эйгнер и Мишкин установили, что при повреждении базальной части переднего мозга у обезьян ухудшается память, связанная с узнаванием, хотя выраженность и длительность получаемого эффекта меньше, чем при повреждении других изучавшихся нами структур.

Безусловно, в мозгу существует система нервных связей, позволяющая другим структурам вовлекать базальную часть переднего мозга в процессы памяти. Так, к этой области подходят многочисленные нервные волокна из гиппокампа и миндалины, а от нее в свою очередь холинергические волокна идут обратно — и не только к лимбическим структурам, но и к коре. Представляется правдоподобным, что следы памяти образуются так: сенсорный стимул активирует подкорковые цепочки памяти, и это вызывает освобождение ацетилхолина из волокон, отходящих от базальной части переднего мозга, в сенсорные области; ацетилхолин (а возможно, и другие нейромедиаторы, освобождение которых индуцируется таким же образом) инициирует в нервных клетках определенную последовательность событий, приводящих к изменениям в синапсах сенсорной области, укреплению нервных связей и преобразованию следов восприятия в следы памяти.

Как свидетельствуют результаты недавних биохимических исследований, возможный механизм синаптических изменений действует именно в той области мозга, которая, на наш взгляд, является наиболее вероятным местом хранения следов памяти — на высших уровнях зрительной системы. Э. Руттенберг из Северо-Западного университета выдвинул предположение, что синаптические изменения, происходящие после повторной электрической стимуляции определенных нейронов, обусловлены включением фосфатной группы в белок, обозначаемый F1, под действием фермента протеникиназы С. Э. Руттенберг и его ученик Р. Нелсон определили активность этого механизма фосфорилирования в зрительной системе обезьян. Образцы нервной ткани, полученные в нашей лаборатории из зрительных областей мозга животного, они инкубировали с радиоактивным фосфором. Наибольшее количество метки включалось в белок F1 в образцах ткани, взятых из структур, относящихся к высшему уровню зрительной системы. Этот факт, возможно, указывает на то, что ткань структур высшего уровня сенсорной



ВЫРАБОТКА ПРИВЫЧКИ, т. е. образование автоматической связи между стимулом и реакцией, обеспечивается, по всей вероятности, стриатумом. Эта структура имеет многочисленные связи с одной стороны с сенсорными системами коры (в качестве примера на рисунке изображена одна ветвь зрительной системы), а с другой — с теми структурами мозга, от которых отходят волокна к премоторной коре и добавочной моторной коре. Таким образом, возможен относительно прямой путь, по которому стимул, воспринятый в сенсорной области коры, мог бы вызвать моторную реакцию. Действительно, повреждение стриатума или связей между стриатумом и корой у обезьян затрудняет выработку привычки на основе зрительного восприятия.

системы обладает специфической способностью подвергаться синаптическим изменениям и таким образом сохранять следы памяти.

Типы памяти

Система структур мозга, о которой говорилось выше, была выявлена у обезьян по ее участию в памяти только одного типа — памяти, связанной с узнаванием, которая заключается в том, что животное, увидев или ощутив предмет всего один раз, может узнать его спустя длительное время и предпочесть ему (за вознаграждение) незнакомый объект. Существуют, конечно, и более сложные типы памяти; некоторые из них также поддаются оценке в экспериментах на обезьянах. При изучении этих типов памяти обнаружили любопытные особенности нервных путей.

Во время восприятия предмета запоминаются не только его отличительные признаки, но также его расположение относительно других предметов или каких-то простран-

ственных ориентиров. Интуитивно понятно, что запоминание, скажем, самой скульптуры отличается от запоминания ее расположения на полу музейной галереи. Нейроанатомически эти два типа запоминания также различаются. Начнем с того, что пространственное зрение — способность видеть пространственные отношения — зависит от деятельности другой части зрительной системы, не той, которая отвечает за восприятие определенных признаков объекта.

В 1973 г. У. Пол, работавший тогда в нашей лаборатории, получил данные в пользу сделанного ранее предположения, что ткань теменной коры в области вершины мозга играет роль в зрительном восприятии. Он показал, что удаление этой области мозга приводит к нарушению зрения; однако характер этого эффекта существенно отличается от того, что наблюдалось после повреждения нижней височной коры. В отличие от обезьян с повреждением нижней височной коры животные с поврежденной теменной корой могли различать

два разных предмета, но не воспринимали пространственных отношений.

В своих опытах Пол помещал обезьян в клетку с двумя закрытыми углублениями. Между углублениями, ближе к одному из них, ставился цилиндрический предмет; расположение цилиндра относительно углублений изменялось от испытания к испытанию. Животное получало вознаграждение, если открывало углубление, ближайшее к цилиндрическому предмету: в нем находился арахис, а другое углубление было пустым. Животные с поврежденной нижней височной областью справлялись с таким заданием сравнительно легко. Обезьяны же с повреждением в задней теменной коре лишь с трудом научались выбирать углубление с приманкой.

В другой работе, включавшей изучение метаболических процессов (ее осуществили К. Макко, Ч. Джарвис и Мишкин в сотрудничестве с группой ученых из Национального института психического здоровья, возглавляемой Ч. Кеннеди и Л. Соколоффом),

было подтверждено, что задняя теменная кора относится к зрительной системе. Животным вводили радиоактивный аналог глюкозы, после чего изучали его поглощение во время выполнения заданий, связанных со зрительным восприятием. Полученные результаты указывали на участие в поведении животных не только нижней височной коры, но также ткани теменной области мозга.

Сотрудник нашей лаборатории Л. Анджерлейдер недавно установил, что в переработке зрительной информации помимо известного уже анатомического пути участвует еще один путь, начинающийся от стриарной коры (первый уровень зрительной системы, расположенный на задней поверхности мозга). Нервные волокна, составляющие этот второй путь, направляются не вперед к нижней височной коре, а вверх и, пройдя ряд уровней, достигают высшего уровня в задней теменной коре. По ходу этого пути и происходит, по всей вероятности, анализ информации о про-

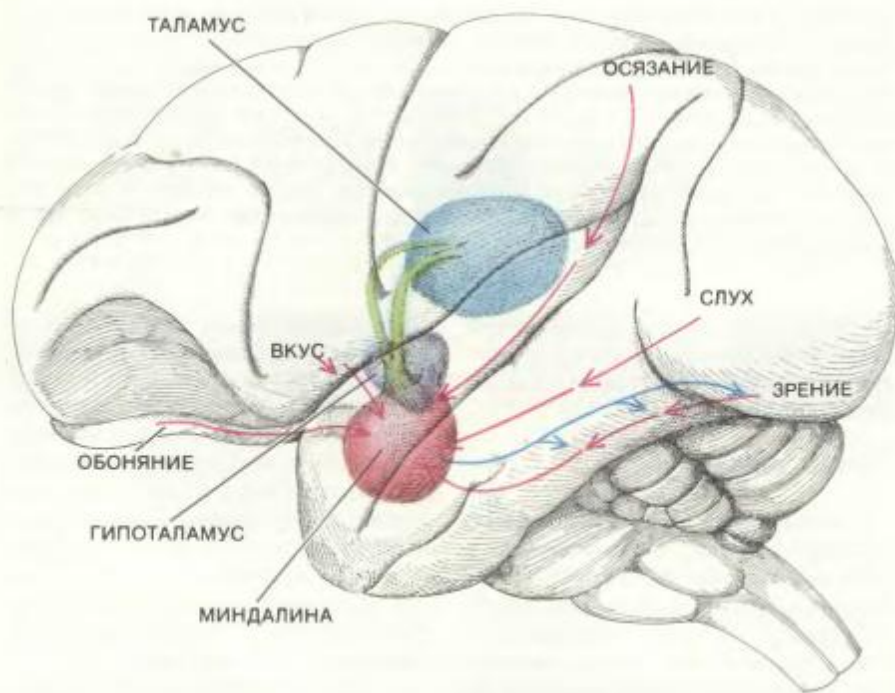
странственных отношениях. Возможно, с его высшего уровня переработанная информация о пространственных отношениях вызывает активацию подкорковой системы памяти.

Две описанные выше цепочки памяти могут принимать различное участие в научении, требующем анализа пространственных отношений. Если при обучении животного узнавать объект гиппокамп и миндалина могут взаимно заменять друг друга, то при обучении пространственным соотношениям ведущую роль играет гиппокамп. Рядом исследователей в опытах на грызунах было показано, что эта структура важна для запоминания пространственных отношений. Под впечатлением таких работ Дж. Паркинсон провел соответствующие эксперименты на обезьянах. Он обучал животных выполнять задание, позволяющее оценивать память на расположение предметов. В каждом испытании обезьяне показывали два совершенно незнакомых предмета, расположенных определенным образом. Затем им предъявляли один из этих же предметов в его первоначальном положении и его точную копию, занимавшую либо место второго предмета, либо новое (третье) положение. Вознаграждался выбор первоначального предмета в первоначальном положении.

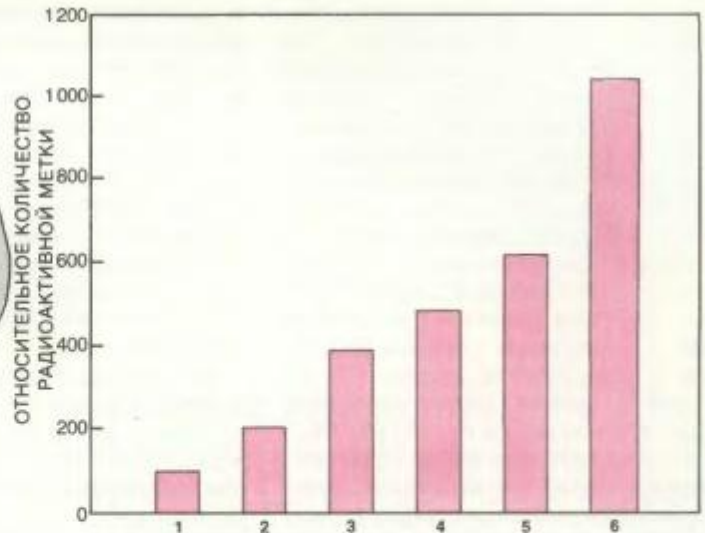
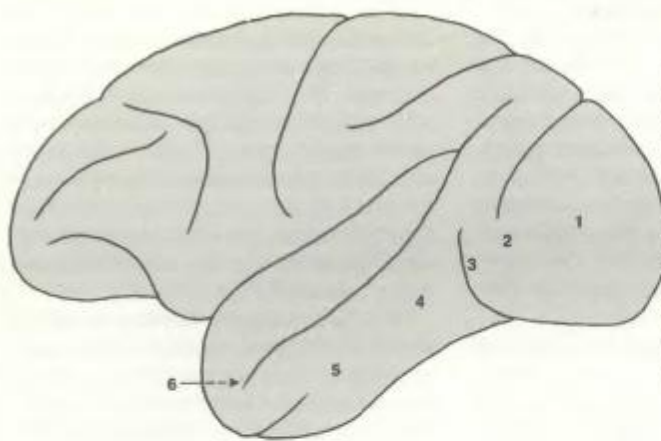
Затем у животных в обоих полушариях мозга удаляли миндалину. После этого обезьяны снова быстро овладевали навыком и точно выполняли задание. Двухстороннее же удаление гиппокампа приводило к исчезновению всякой способности запоминать расположение предметов. Недавно М. Смит из Неврологического института в Монреале совместно с Б. Милнер получила результаты, свидетельствующие об аналогичных расстройствах у людей, больных амнезией: выявлена корреляция между степенью поражения гиппокампа и степенью ухудшения памяти на расположение объектов.

Следы различных типов памяти встречаются

У миндалины есть и свои специфические функции. Предположения о важной роли миндалины в процессах памяти возникли на основании особенностей ее нейроанатомической структуры, которые были известны задолго до того, как появились первые экспериментальные указания на участие этой структуры в памяти. Миндалина, или точнее миндалевидный комплекс, состоящий из нескольких ядер, представляет собой своего рода перепутье. Многие исследовате-



МНОГОЧИСЛЕННЫЕ СВЯЗИ миндалины с другими структурами мозга обуславливают многообразие ее функций в процессах памяти. К миндалине подходят нервные волокна от высшего уровня корковых сенсорных систем (красные стрелки). Через них следы восприятия сенсорных стимулов активируют одну из цепочек системы памяти, включающую в себя связи между миндалой и таламусом (зеленые). Благодаря связям между миндалой и гипоталамусом, в котором, по-видимому, возникают эмоциональные реакции, образуются ассоциации между сенсорным опытом и эмоциями. Посредством этих же связей эмоции могут влиять на процесс научения, активируя реципрокные связи от миндалины к сенсорным путям (синие; изображены только для зрительной системы). Существованием связей от миндалины обратно к сенсорным областям коры можно объяснить тот факт, что сенсорный стимул одной модальности иногда активирует следы памяти других модальностей (например, запах знакомой пищи вызывает в памяти воспоминания о ее внешнем виде, текстуре и вкусе).



ПРОЯВЛЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МЕХАНИЗМОВ, принимающих участие в процессе научения, достигает максимума на высших уровнях зрительной системы. Э. Руттенберг из Северо-Западного университета определял включение радиоактивного фосфора в белок F1 на различных уровнях зрительной системы обезьяны. По его предположению изменение синапсов некоторых нейронов после повторной

стимуляции обусловлено фосфорилированием белка F1 ферментом протеинкиназой C. Эти синаптические изменения могут играть важную роль в сохранении информации в мозгу. Таким образом, можно думать, что следы памяти образуются на высших уровнях сенсорных систем, где для этого есть «биохимическое обеспечение».

ли, в том числе Б. Тернер из Медицинского колледжа Университета Говарда и Мишкин, показали, что миндалина образует многочисленные прямые связи со всеми сенсорными областями коры. Через нервный путь, являющийся одним из участков системы памяти, миндалина связана также с таламусом. Наконец, от тех областей миндалины, на которых конвергируют сенсорные влияния, отходят нервные волокна в глубь мозга, к гипоталамусу — центру эмоциональных реакций.

Поразительный факт конвергенции на миндалине сенсорных влияний из коры побудил Э. Меррей и Мишкина задаться вопросом, не обеспечивает ли эта конвергенция образование ассоциаций между следами памяти, сформировавшимися в различных сенсорных системах? До тех пор, пока не возник этот вопрос, мы исследовали обучение только в форме узнавания, т. е. реакций животного на знакомый зрительный или тактильный стимул. Однако след памяти нередко активизируется в ответ на сенсорный стимул иной модальности: звук знакомого голоса по телефону вызывает в памяти зрительный образ лица говорящего человека; вид фиолетовой сливы заставляет нас вспомнить ее вкус. Очевидно, для подобного межмодального вспоминания признаков предмета необходим некий взаимообмен информацией между теми областями коры, в которых хранятся следы памяти разных модальностей. Не опосредуется ли такой взаимообмен миндалиной?

Для проверки этого предположения Меррей и Мишкин разработали методику, объединявшую два теста на проверку памяти, связанной с узнаванием — тактильным и зрительным. Обезьян обучали выполнять тест отсроченного противопоставления образцу, причем объекты, которые они должны были узнавать, выбирались из 40 предметов, различающихся и по внешнему виду, и на ощупь. Испытания проводились как на свету, так и в темноте; в последнем случае, чтобы отличить знакомый предмет от незнакомого, животным приходилось руководствоваться только осязанием. После двухстороннего удаления миндалины обезьяны выполняли все задания почти так же успешно, как до операции, т. е. память, связанная со зрительным и тактильным узнаванием, почти не пострадала. Это согласуется с обнаруженной нами ранее способностью гиппокампа и миндалины заменять друг друга в обеспечении памяти на узнавание.

После того как животные полностью ознакомились со зрительными и тактильными признаками всех 40 предметов, ход испытаний изменили. Теперь в каждом испытании предмет сначала предъявлялся в темноте, чтобы обезьяна узнала его на ощупь, а затем этот и другой предметы предъявлялись на свету, и животному надлежало сделать выбор между ними, руководствуясь только их внешним видом. Для того чтобы оказался выбран предмет, который обезьяна осязала несколько секунд назад, у нее должна была образоваться ассоциа-

ция между зрительным и тактильным следами памяти. Животные контрольной группы, которым предварительно удаляли гиппокамп, справлялись с заданием легко, делая правильный выбор приблизительно в 90% случаев. А у животных с удаленной миндалиной показатели правильного выбора лишь незначительно превосходили случайные величины.

Тот факт, что ассоциация между следами памяти, образовавшимися в разных сенсорных системах, опосредуется миндалиной, может привести к пониманию давней загадки нейропсихологии. Около 50 лет назад Х. Клювер и П. Бьюси обнаружили странное поведение обезьян с удаленными височными долями: животные беспорядочно ощупывали, пробовали на вкус и обнюхивали несъедобный предмет, причем изучали его таким образом многократно, по-видимому, всякий раз принимая его за незнакомый. Позже мы наблюдали такое же поведение у обезьян после удаления миндалины. Этот факт дал основания предполагать, что одной из причин описанного поведения является неспособность животных связывать следы различных типов памяти. Видя знакомый предмет, они не в состоянии вспомнить его запах, а обнюхав, все равно не могут вспомнить его вкус.

Соединение памяти с эмоциями

Клювер и Бьюси подметили в поведении обезьян с удаленными височными долями еще одну интересную осо-

бенность, которую также можно объяснить отсутствием миндалины. Эти животные совершенно не испытывали страха перед людьми и проявляли полную индифферентность даже к такой обычно нестерпимой для обезьян процедуре, как шипание. Создавалось впечатление, что у них разорвана связь между восприятием знакомых стимулов и возникновением вызываемых этими стимулами эмоций. Будучи соединена нервными волокнами как с сенсорными областями коры, так и с центрами эмоциональных реакций в глубине мозга, миндалина вполне подходит на роль структуры, опосредующей эту связь. Предположение о том, что сенсорный опыт приобретает эмоциональную окраску при участии миндалины, подтверждается наблюдениями, сделанными в самом начале наших исследований памяти: у обезьян без миндалины ассоциация между объектом и вознаграждением, получаемым при его предъявлении, образуется очень медленно. В их памяти с трудом всплывают положительные эмоции, связанные со знакомым стимулом.

Возможно, что миндалина не только обеспечивает возникновение эмоциональной окраски сенсорного опыта, но также придает эмоциям форму следов восприятия и позволяет им сохраняться в памяти. Каким образом мозг выделяет важные стимулы из потока впечатлений, поступающего от органов чувств? Если эмоции влияют на переработку сенсорной информации в коре, они могут выступать в роли фильтра, сосредоточивая внимание животного (а следовательно, и процесс обучения) на эмоционально значимых стимулах. Являясь посредником между ощущениями и эмоциями, миндалина, вероятно, может обеспечивать подобное «избирательное внимание».

Как выяснилось, существует нервная цепочка, которая, по-видимому, позволяет миндалине выполнять функции фильтра. Несколькими группами исследователей установлено, что между сенсорными системами коры и миндалиной есть не только нисходящие, но и восходящие нервные волокна, причем последние имеют наибольшую плотность (по крайней мере в зрительной системе) на высших уровнях переработки информации. Подход к пониманию природы некоторых из этих связей был разработан в нашей лаборатории совместно с группой К. Перт из Национального института психического здоровья. В состав миндалины входит множество нейронов, вырабатывающих нейромедиаторы, по своему действию близкие опиуму (эндогенные опио-

иды), которые, как предполагается, в других отделах нервной системы регулируют передачу нервных сигналов. Мы обнаружили, что в сенсорных проводящих путях коры существует градиент опиатных рецепторов (молекул клеточной поверхности, с которыми опиаты должны связаться, чтобы оказать действие на нейрон): эти рецепторы наиболее многочисленны на высших уровнях системы, где окончательно формируются следы восприятия.

Все это говорит о том, что нервные волокна, содержащие опиаты, идут от миндалины в сенсорные системы коры, где они могут выполнять функции фильтра, выделяя опиаты в ответ на эмоциональные состояния, создаваемые гипоталамусом. Таким образом, миндалина может опосредовать влияние эмоций на восприятие и обучение. Реципрокными влияниями миндалины на кору можно, в частности, объяснить, почему у человека и обезьян эмоционально окрашенные события оставляют несообразно яркие впечатления.

Память и привычка

Проследив два основных нервных пути, — один из них берет начало от гиппокампа, а другой от миндалины, — ответственных за многие типы когнитивного научения (способность узнавать знакомый объект, вспоминать его признаки, в данный момент неосязаемые, запоминать положение в пространстве и придавать объекту эмоциональную значимость), мы тем не менее оставались с нерешенной проблемой. По-прежнему не было объяснения тому известному факту, что больные, лишенные памяти до такой степени, что не могут узнать человека, которого видели всего несколько минут назад, не теряют способности к научению. В свое время Б. Милнер сообщила, что больной Х. М. сумел научиться зеркальному рисованию (при этом человек следит за собственной рукой не непосредственно, а в зеркало). Х. М. настолько овладел этим навыком, что рисовал почти с нормальной скоростью, хотя после не мог даже вспомнить, что вообще делал это.

Обезьяны с разрушенными лимбическими структурами тоже способны обучаться. Такие животные обнаруживают полную беспомощность в тесте на отсроченное противопоставление образцу, когда нужно узнавать виденный однажды объект. Однако, как показала сотрудница нашей лаборатории Б. Л. Мэламут, если обезьяне раз в день предъявлять длинную серию пар различных предметов, в каж-

дой из которых под одним предметом находится лакомство, животное в конце концов научается выбирать вознаграждаемый предмет. Притом у обезьян без лимбических структур этот навык вырабатывается почти с такой же скоростью, как у контрольных не оперированных животных, хотя со стороны может показаться, что второе задание сложнее первого. Как же объяснить эти как бы противоречивые данные?

Подобно многим другим исследователям, занимающимся проблемой памяти, мы склонялись к мысли о существовании второй системы научения, независимой от лимбических цепочек памяти. Для этой системы критическим является повторение сочетания стимул — реакция, что полностью отсутствует в ситуации отсроченного противопоставления образцу. Учитывая данные клинических наблюдений за больными амнезией, Г. Петри из Таусоновского государственного университета в Балтиморе и Мишкин предполагают, что вторая система отвечает совсем за другой тип научения, чем цепочки памяти лимбических структур.

Мы называем этот тип научения привычкой. Он не относится к когнитивному научению: его основу составляет не знание и даже не воспоминания (в смысле независимых элементов умственной деятельности), а автоматические связи между стимулом и реакцией. В тесте на дискриминацию, применявшемся Мэламут, обезьяна изо дня в день сталкивается с одной и той же парой стимулов; в конце концов у нее вырабатывается привычка выбирать тот предмет, за которым всегда следует вознаграждение. Но выполнение теста на отсроченное противопоставление образцу не может быть обеспечено привычкой. Стимул, который нужно запомнить, предъявляется только один раз, и впоследствии животное должно реагировать не на этот стимул — стимул, за которым следовало вознаграждение в первый раз, а на незнакомый. Чтобы сделать правильный выбор — в пользу незнакомого предмета, необходимо осознать, какой из предметов предъявляется первоначально, и отказаться от него.

Мы определяем привычку как воспоминание автоматических связей стимул — реакция. Такие связи, как в свое время утверждали психологи-бихевиористы, являются основой всякого научения. Бихевиоризм исключал термины «ум», «знание» и даже «память» в их обычных значениях. Напротив, когнитивная психология многие формы поведения объясняет именно этими понятиями. Представ-

ление, что в основе научения лежат две совершенно разные системы, одна из которых отвечает за выработку некортикативных привычек, а другая является основой когнитивной памяти, может примирить бихевиористскую и когнитивистскую точки зрения. Если на самом деле существуют нервные механизмы двух типов научения, то поведение животного можно рассматривать как совокупность автоматических реакций, возникающих в ответ на воздействие внешних стимулов, и поступков, продиктованных знанием и ожиданием.

Местом образования привычек является, вероятно, стриатум — комплекс структур в переднем мозге. К стриатуму подходят нервные волокна от многих областей коры, в том числе от корковых сенсорных систем; в свою очередь от него идут волокна к мозговым структурам, регулирующим движения. Таким образом, нейроанатомически стриатум — подходящая структура для установления относительно прямых связей между стимулом и действием, предполагаемых понятием «привычка». Действительно, рядом исследователей показано, что повреждение стриатума ухудшает способность обезьян к выработке привычек, подобных тем, которые требуются в тесте на дискриминацию.

П. Маклин из Национального института психического здоровья обратил внимание на то, что стриатум является филогенетически древним отделом мозга, т. е. в ходе эволюции он появился задолго до коры и лимбической системы. Представляется естественным, что за выработку привычек должны отвечать как раз примитивные структуры мозга: способностью к выработке автоматических реакций обладают даже сравнительно простые животные. Привычка является примитивной формой поведения и в онтогенетическом аспекте. Как обнаружила недавно Дж. Башвалье, детеныши обезьян справляются с тестом на выработку привычки почти не хуже взрослых животных, но в отличие от них плохо выполняют тест на память, причем их показатели при этом такие, какие характерны для взрослых обезьян, страдающих амнезией. Возможно, что у обезьян «материальное обеспечение» привычки в нервной системе формируется уже в первые годы жизни, а система памяти развивается гораздо медленнее. Если человеку свойствен такой же несинхронный онтогенез механизмов привычки и памяти, это объясняет, почему довольно мало людей помнят свое раннее детство.

Что же касается вопроса, каким об-

разом взаимодействуют системы памяти и привычки в мозгу взрослого животного или человека, то его изучение только начинается. Похоже, в большинстве случаев научение происходит при участии обеих систем, однако нередко во время обучения когнитивная память и некортикативная привычка оказываются в столкновении. Как мозг в каждой конкретной

ситуации решает, что целесообразно — когнитивное научение или выработка привычки? Связаны ли элементы системы памяти со стриатумом, т. е. могут ли они влиять на выработку привычки? Изучая нервные структуры, обеспечивающие память и привычку, мы всего лишь составили карту поля будущих исследований.

Наука и общество

Неосуществимая мечта

БОЛЕЕ 20 лет назад Э. Джейнс из Вашингтонского университета в Сент-Луисе и Ф. Каммингс из Калифорнийского университета в Риверсайде рассматривали задачу о поведении одиночного возбужденного атома в металлическом резонаторе, «настроенном» на определенную частоту электромагнитных колебаний. Такой атом может излучить фотон (квант электромагнитной энергии), который создает поле излучения, а затем вновь поглотит фотон из этого поля. Оба теоретика предсказали, что на частоту подобных фотонных обменов будет влиять присутствие других фотонов в резонаторе, которое, таким образом, будет определять полную вероятность нахождения атома в возбужденном состоянии.

Джейнс и Каммингс показали, что с ростом числа фотонов в резонаторе число фотонов, взаимодействующих с атомом, становится неопределенным. Эта неопределенность означает, что существует не одна частота фотонного обмена, а некоторое распределение частот, и вероятность нахождения атома в возбужденном состоянии уменьшается. Однако если атом взаимодействует с полем излучения достаточно долго, то поле будет вести себя по отношению к атому как дискретный ансамбль фотонов, и вероятность нахождения атома в возбужденном состоянии соответственно возрастет.

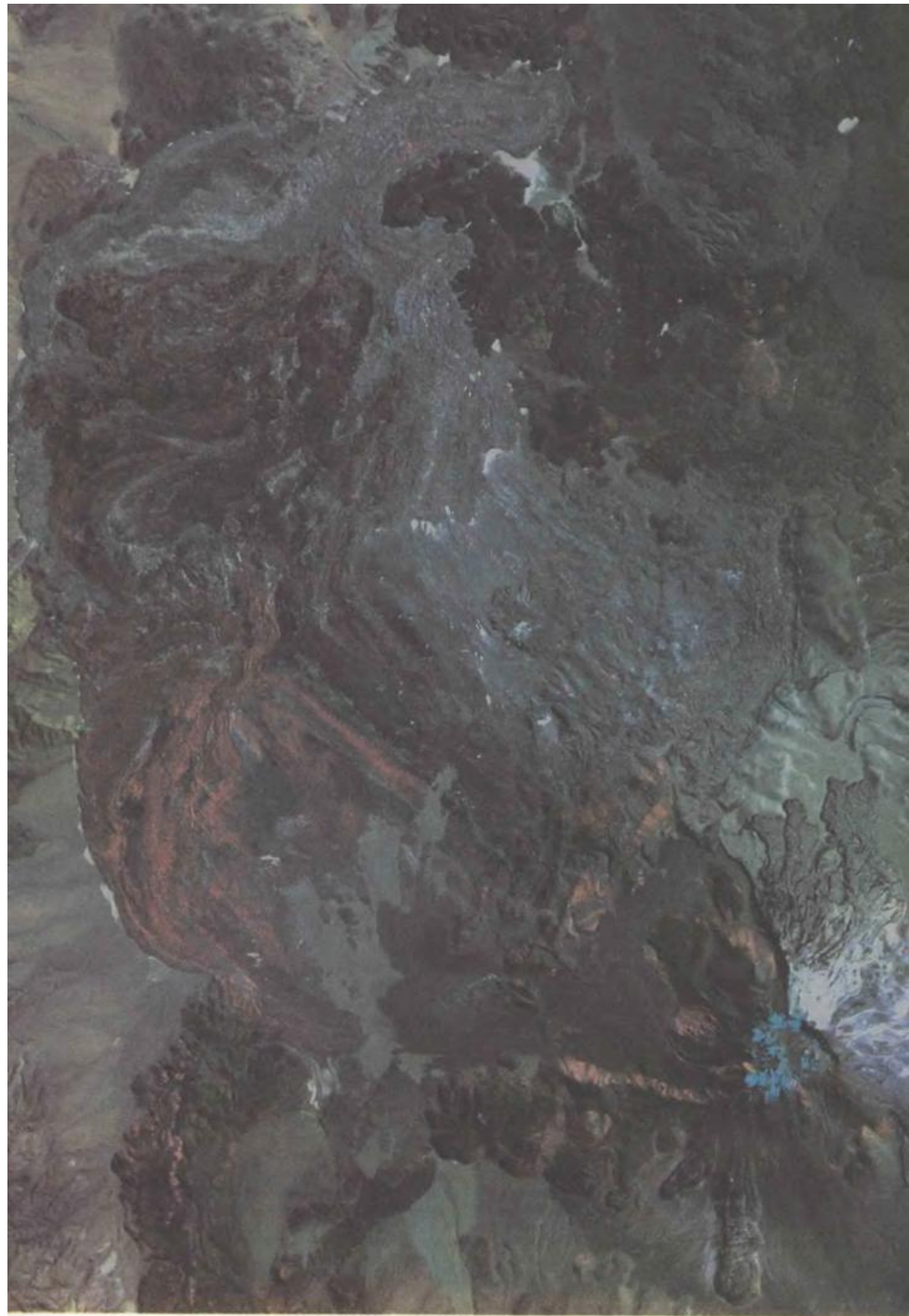
В то время, когда Джейнс и Каммингс сформулировали свою теорию, они считали, что такую систему невозможно реализовать на практике. Однако теперь Г. Ремпе и Г. Вальтер из Мюнхенского университета и Н. Кляйн из Вуппертальского университета воплотили в жизнь мысленный эксперимент теоретиков: они создали условия, при которых возбужденный атом рубидия испускает фотон микроволнового излучения в сверхпроводящем резонаторе, охлаж-

денном до очень низких температур.

Чтобы обеспечить попадание атомов в резонатор только по одному, коллимированный пучок атомов рубидия пропускать через ряд вращающихся дисков с прорезями, частота вращения которых подбирается так, что только отдельные атомы, движущиеся с определенной скоростью, могли пройти через все диски и попасть в крошечное входное отверстие резонатора. Непосредственно перед входом в резонатор каждый атом возбуждался излучением лазера, переходя в состояние с более высокой энергией, так что при обратном переходе он мог излучать микроволновый фотон. Детектор, помещенный за выходным отверстием резонатора (таким же маленьким, как и входное), регистрировал состояние атома, покидающего резонатор: оставил ли он в нем фотон или нет.

Утечка энергии из резонатора настолько мала, что фотон, испущенный возбужденным атомом, может находиться в резонаторе достаточно долго (около 2 мс), прежде чем будет поглощен тем же атомом или следующим за ним. Следовательно, попадающий в резонатор возбужденный атом может повторно испускать и поглощать фотоны. Если атом, покидающий резонатор, находится не в возбужденном состоянии, то поле излучения в резонаторе для следующего атома обогатилось на один фотон.

Поскольку исследователи смогли регулировать как среднее число фотонов в резонаторе (надлежащим образом устанавливая скорость поступления атомов в резонатор), так и продолжительность нахождения атомов в нем (путем подбора необходимой скорости атомов), их экспериментальная установка оказалась идеальным средством для проверки справедливости теории Джейнса—Каммингса. Согласно их сообщению в журнале «Physical Review Letters», полученные результаты согласуются с выводами теории.



Обрушение вулканов

В жизненном цикле многих вулканов катастрофическое обрушение, можно сказать, «нормальное» явление.

О том, как происходит этот процесс, рассказывают отложения, оставленные опустошительными лавинами обломочного материала

ПИТЕР ФРЕНСИС, СТИВЕН СЕЛФ

ВУЛКАНЫ — это необычные горы. В большинстве своем горные пики формируются главным образом процессами эрозии: вода и лед «высекают» их из огромных

блоков земной коры, поднятых на поверхность под действием тектонических сил. В противоположность им вулканы представляют собой структурные формы ландшафта: они сами строят себя из лавы и пепла. Но, если они действительно могут наращивать свою высоту, почему же они тогда не являются самыми высокими горами на Земле (как вулканы на Марсе и, вероятно, на Венере)? Какие факторы ограничивают высоту земного вулкана?

Конечно, вулканы тоже подвержены эрозии, как и другим процессам — скажем, прогибанию земной коры под действием тяжелой нагрузки, стремящемуся сгладить рельеф земной поверхности. И все же многие вулканы, как стало ясно в последние годы, «срезаются» совершенно иным механизмом, гораздо более драматичным и ярко выраженным — катастрофическим обрушением. Хотя обрушение вулканического конуса неоднократно наблюдалось в прошлом столетии, только после катастрофического извержения вулкана Сент-Хеленс в мае 1980 г. стало ясно, что весь бок вулкана может внезапно обвалиться, породив при этом не только эксплозивное извержение, но и опустошительную лавину из обломков горных пород. Пытаясь понять суть явления такого обрушения, некоторые исследователи обратили внимание на отложения, оставленные у горы Сент-Хеленс и других вулканов обломочными лавинами. Было выделено свыше 100 толщ таких отложений; их возраст колеблется от нескольких лет до десятков тысяч лет, а размеры — от менее 1 до более чем 20 км³.

Для идентификации прежде неизвестных отложений лавин, существующих на вулканах в Центральных Андах, мы рассмотрели фотоснимки, сделанные со спутника «Ландсат». Мы произвели также тщательные полевые исследования наиболее удивительных андийских отложений, связанных с чилийским вулканом Сокомпа. Из результатов этой работы и работ, которые провели многие другие исследователи, особенно Т. Уи из Университета в Кобе, становится яс-

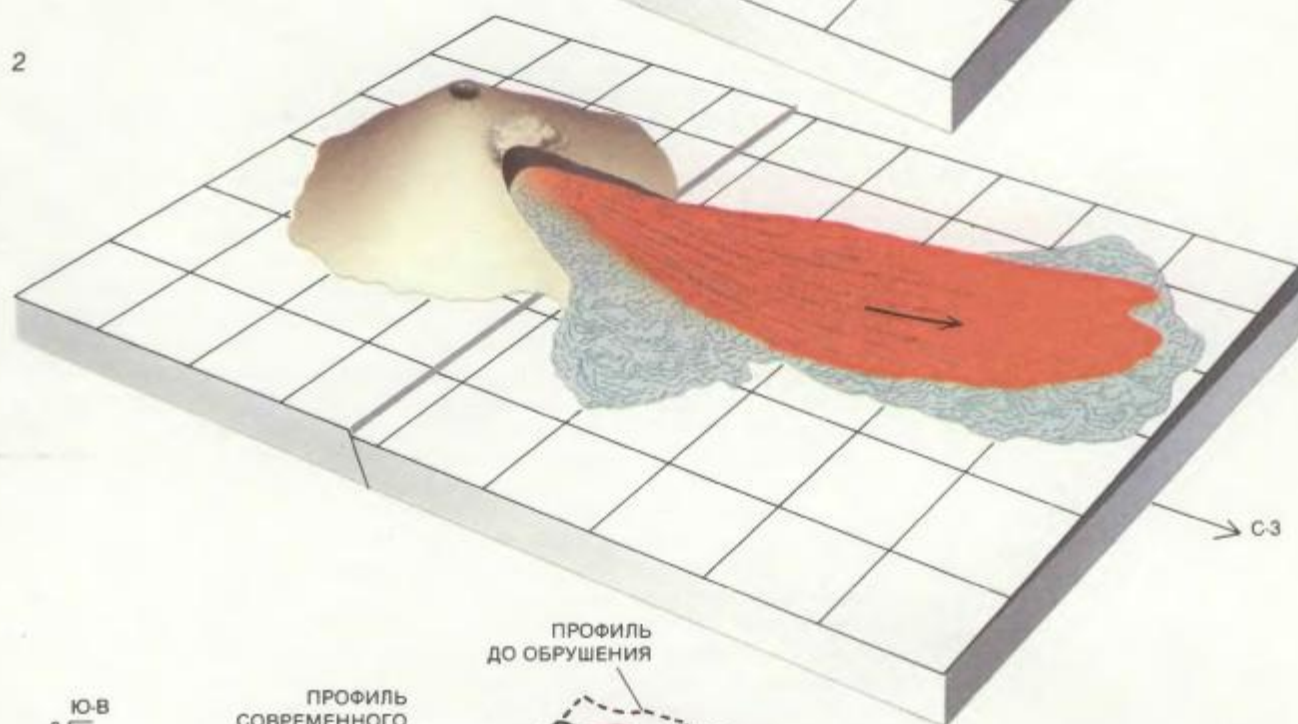
но, что случающееся время от времени грандиозное обрушение неустойчивого вулканического конуса следует считать нормальным явлением в жизненном цикле вулкана. Этот вывод справедлив, в частности, для крупных вулканов, известных под названием стратовулканов; многие сотни их окружают Тихий океан, образуя «Огненное кольцо», и встречаются также в других районах земного шара.

ОДНОЙ ИЗ причин, по которым именно стратовулканы особенно подвержены обрушению, является их состав. Обычно они ассоциируются с зонами субдукции, т. е. зонами, где две литосферные плиты (такие плиты слагают наружный слой Земли) сталкиваются и одна из них погружается под другую. («Огненное кольцо» — это по существу кольцо зон субдукции.) Из вулканов, расположенных в зонах субдукции, обычно извергаются андезитовые или дацитовые лавы, которые содержат сравнительно много кремнезема и потому являются относительно вязкими. Вместо того чтобы изливаться и удаляться от кратера, эти лавы громоздятся вокруг жерла вулкана, образуя конус с крутыми склонами, который может в конце концов стать механически неустойчивым.

Можно выделить три типа обрушений, которым подвергаются стратовулканы. Характерный пример первого типа дает вулкан Сент-Хеленс, где обрушение привело к сильнейшему взрыву. На горе Сент-Хеленс в тело вулкана внедрилась свежая порция магмы (расплавленных горных пород). Вторжение магмы привело к образованию отчетливого вздутия, нарушившего устойчивость северного склона горы. Кроме того, в результате контакта магмы с подземными водами образовался перегретый пар, «запертый» под огромным давлением внутри вулкана. Когда землетрясение ускорило частичное обрушение конуса, пар со взрывом вырвался наружу, а вылетевшие с ним пепел и обломки покрыли окружающую местность.



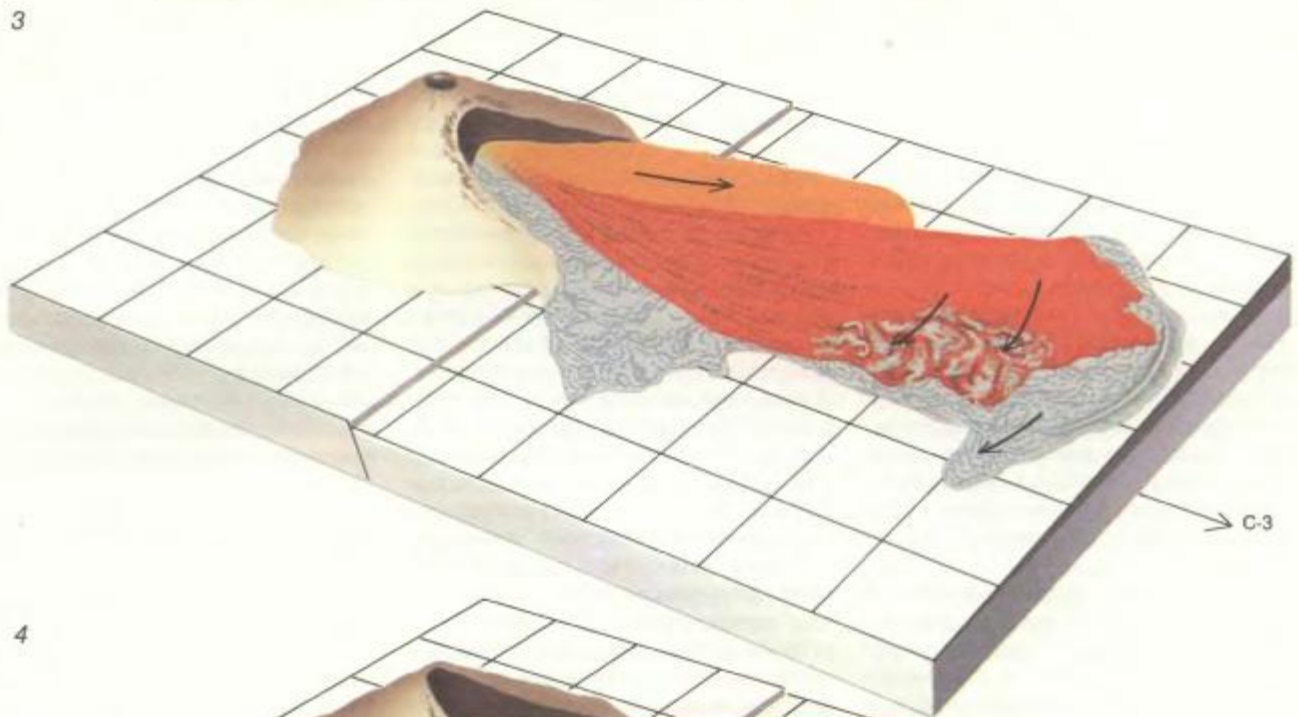
СОКОМПА — вулкан на севере Чили. Его обрушение примерно 7500 лет назад породило грандиозную лавину обломков. Снимок сделан со спутника «Ландсат»; раскраска выполнена по данным измерений на нескольких длинах волн и не соответствует реальным цветам ландшафта. Среди отложений, оставленных лавиной и покрывающих площадь около 600 км², можно выделить различные потоки обломочного материала, основываясь на их спектральных характеристиках. Серые участки на севере и востоке — главным образом отложения гравия и игнимбритов, происходящих из фундамента вулканической постройки; в областях красноватого цвета материал пород фундамента перекрыт лавами, излившимися из самого вулкана. Голубым цветом показан снег на вершине Сокомпы, имеющей высоту 6051 м.



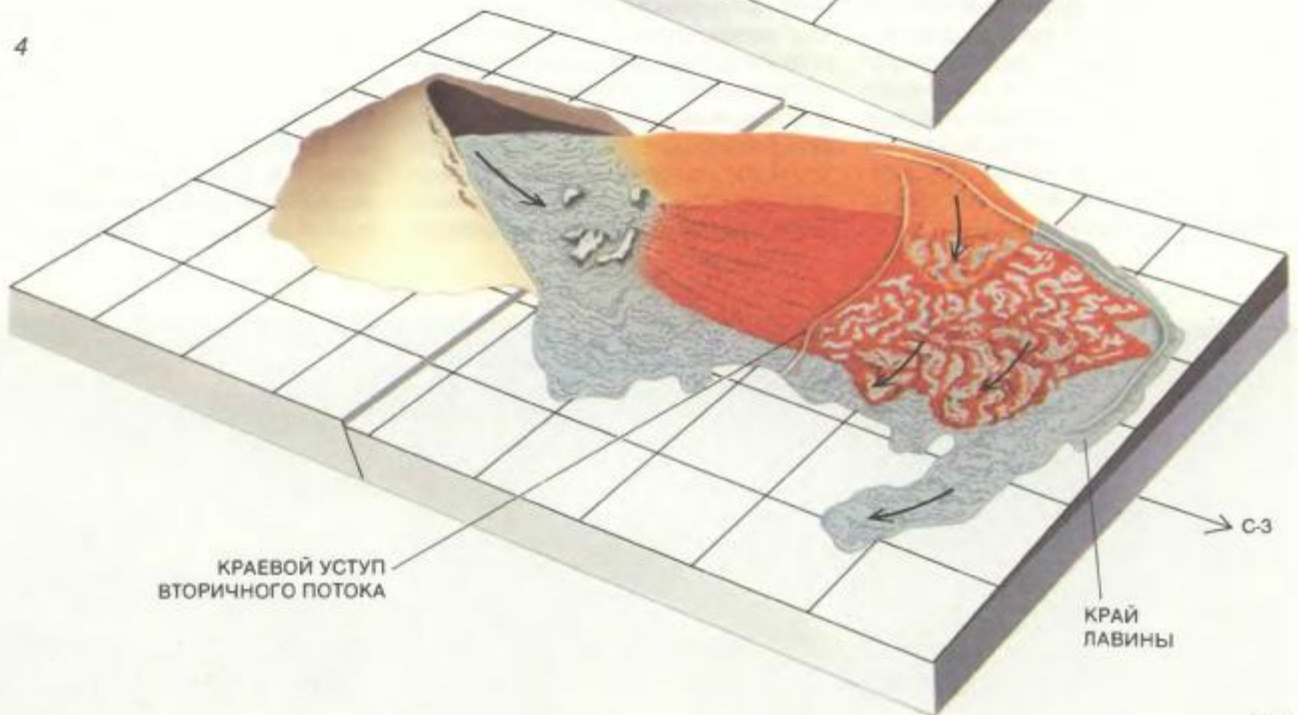
ОБРУШЕНИЕ СОКОМПЫ происходило в четыре стадии. Все событие продолжалось, вероятно, не более 10 мин. Перед обрушением вулкан стал неустойчивым из-за внедрения свежей магмы, в результате чего на его западном склоне могли сформироваться куполообразные вздутия. Обрушение началось, вероятно, под действием землетрясения, которое произошло в результате смещения по сбросовому уступу под западным склоном вулкана (1). Первая поверх-

ность отрыва располагалась вблизи подошвы горы (см. разрез внизу), и поэтому материал первой волны лавины (серый цвет) состоял в основном из гравия и игнимбри-тов, находившихся в основании вулкана. Этот материал перемещался на северо-запад, прямо через региональный склон, по-видимому, со скоростью 300 км/ч. Еще до того, как он достиг самой северо-западной точки в 35 км от вершины Сокомпы, он был перекрыт материалом новой волны

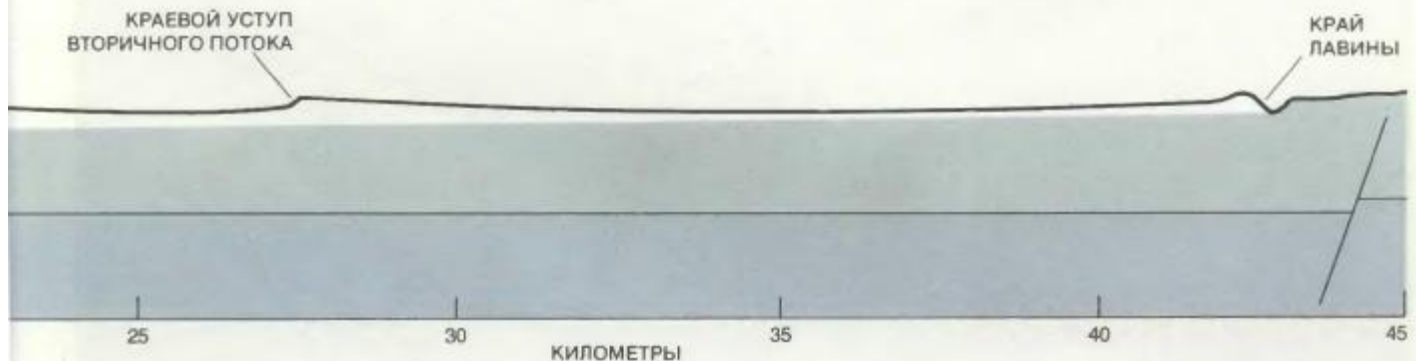
3



4

КРАЕВОЙ УСТУП
ВТОРИЧНОГО ПОТОКАКРАЙ
ЛАВИНЫ

С-3



лавины (оранжевый цвет), приведенной в движение обрушением самого вулкана (2). Значительную долю нового материала составляли молодые лавы. Обе лавинные массы ненадолго остановились, затем большая часть материала начала сползать по весьма пологому (3°) региональному склону на северо-восток (3). Одновременно с этим высоко на вулкане произошел еще один обвал, породивший третью лавинную массу (желтый цвет) к юго-западу от первых

двух. Отдельные части всех трех низвергнутых масс продолжали двигаться вниз по склону, догоняя друг друга и смешиваясь с первоначально обрушившимся материалом; после них остался отчетливо выраженный краевой уступ (4). В конце концов от стенок амфитеатра, высеченного обвалом, откололись огромные глыбы. Они сползли на несколько километров, после чего остановились в целости и сохранности у отверстия амфитеатра.

Характерный пример второго типа обрушения — вулкан Бандайсан в Японии. Хотя его оседание в 1888 г. также было спровоцировано землетрясением и сопровождалось взрывами, нет никаких указаний на то, что в вулкан внедрилась новая магма. Взрывы, вероятно, возникали вследствие соприкосновения подземных вод с горячей, но уже не расплавленной массой пород.

Наконец, с некоторыми обрушениями не связаны ни взрывы, ни какие-либо заметные проявления вулканической активности; вулкан просто обваливается, образуя «холодную» лавину, подобную тем обвалам, которые можно наблюдать в обычных горах. Последний раз этот процесс произошел в 1984 г. на вулкане Онтаке в Японии.

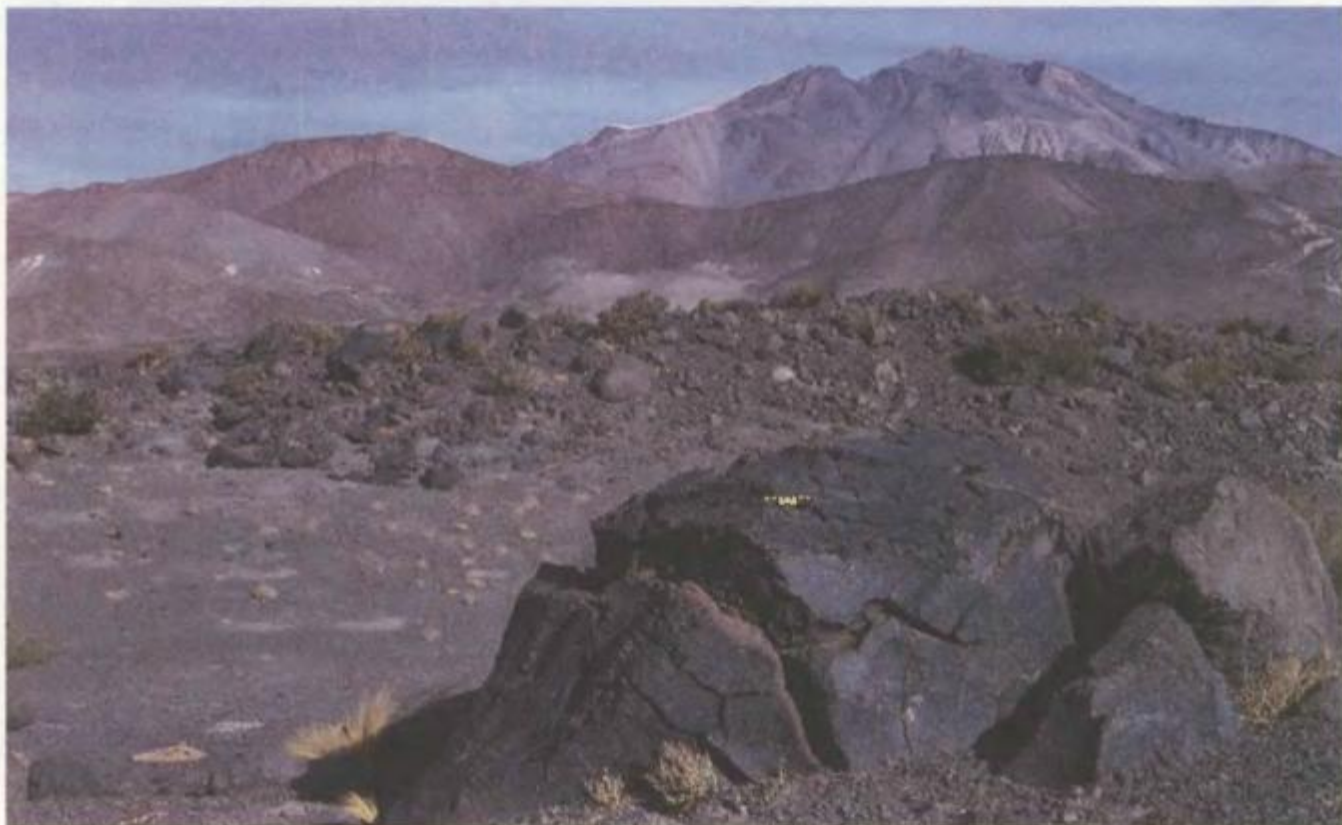
Сент-Хеленс — единственный из вулканов, который вообще удалось наблюдать с близкого расстояния во время его обрушения. А как распознать обрушение, имевшее место в доисторические времена? В тех немногих случаях, когда обломочная лавина была последним драматичным событием в истории вулкана, картина

ясна: оставленный лавиной обширный подковообразный амфитеатр в течение тысяч лет сохраняется как весьма заметная деталь ландшафта. Но на активном вулкане образовавшийся рубец может вскоре заполниться в результате последующих лавовых излияний. На вулкане Сент-Хеленс лавина выскребла примерно $2,8 \text{ км}^3$ пород с боковой части горы, соорудив гигантский амфитеатр шириной 2 км и глубиной 600 м, однако сейчас растущий лавовый купол занимает уже около трети его основания. А если взять такие вулканы, как Тата-Сабая в Боливии и Паринакота в Чили, которые испытали сильнейшие обрушения тысячи лет назад, то там амфитеатры уже полностью скрыты под лавовыми потоками и куполами.

В подобных случаях свидетельства обрушения можно найти в отложениях, оставленных двигавшейся с огромной скоростью массой вулканического щебня. Идентифицировать эти отложения не всегда легко: они могут быть скрыты под более молодыми слоями почвы и под растительностью; кроме того, их можно ошибочно принять за продукт обычных

процессов эрозии и осадконакопления. И тем не менее характерная структура лавинных отложений поразительно часто проявляется на поверхности. Ее наиболее отличительной особенностью является бугристый рельеф — тысячи мелких холмиков и впадин, которые могут покрывать площадь в десятки и даже сотни квадратных километров вблизи подошвы вулкана. Именно бугристую местность мы и старались обнаружить, просматривая сделанные со спутников фотоснимки. А на основе этого мы надеялись найти доказательства обрушения вулканов, происходившего в прошлом в Центральных Андах.

НАИБОЛЕЕ ярким из встретившихся нам примеров является Сокомпа — вулкан в северной части Чили на границе с Аргентиной, который обрушился примерно 7500 лет назад. Если амфитеатр около вулкана Сент-Хеленс охватывает приблизительно 30° окружности вулкана, то лавина, сошедшая с вулкана Сокомпа, выдолбила 70-градусный клин, а объемом материала, снесенного со склонов



ГЛЫБЫ ТИПА «ХЛЕБНОЙ КОРКИ», состоящие из дацитовой лавы и присутствующие в отложениях, которые оставлены раскаленной лавиной, сошедшей с вулкана Сокомпа, свидетельствуют, что перед обрушением в вулкане находилась свежая магма. Стекловатый вид снаружи и пенный

внутри глыбы, заметной на переднем плане, указывают на то, что она претерпела быстрое охлаждение из расплавленного состояния. Холмы в середине снимка — сползшие блоки сотни метров в высоту и до 2 км в длину, которые спустились с Сокомпы на конечной стадии обрушения.

горы, был в 10 раз больше, чем на Сент-Хеленс. Эти лавинные отложения — одни из самых крупных в мире и покрывают площадь около 600 км². К тому же они исключительно хорошо сохранились. Все это делает Сокомпу прекрасным образцом для изучения процессов обрушения вулканов.

Сейчас высота Сокомпы над уровнем моря 6051 м; до обрушения его высота, вероятно, достигала 6300 м. Гора кажется значительно более высокой с западной стороны, где она возвышается над пустыней Атакама почти на 3000 м, чем с восточной, где перепад высот от вершины до подошвы составляет около 2000 м. Разность высот над уровнем моря подошвы вулкана на восточной и западной его сторонах — важный фактор, помогающий установить, какие процессы ускорили обрушение вулкана. Местность к востоку от Сокомпы располагается на большей высоте, так как она подверглась поднятию по серии крупных разломов растяжения (сбросов), которые протягиваются здесь с севера на юг и залегают под западным склоном горы — именно там, где началось обрушение. А там, где есть

разломы, естественно, часты землетрясения. Представляется весьма вероятным, что мощное землетрясение, происшедшее на одном из разломов, вызвало обрушение Сокомпы, подобно тому как аналогичное землетрясение привело к обрушению вулкана Сент-Хеленс. Следы этих разломов можно видеть и в наши дни; они пересекают современные отложения гравия, а следовательно, даже спустя 7500 лет после катаклизма могут еще оставаться активными.

Собственно говоря, прежде чем обрушиться, вулкан Сокомпа, должен был, в течение тысяч лет содрогаться от множества землетрясений. Почему же в таком случае он не разрушился раньше? И снова ответ, по-видимому, будет тем же, что и в случае с Сент-Хеленс. Результаты полевых исследований показывают, что во время обрушения свежая магма внедрилась в тело вулкана и даже могла изливаться в виде лавы высоко в боковых частях вулканического конуса. В отложениях лавин встречается множество весьма впечатляющих глыб типа «хлебной корки», получивших такое название вследствие того, что

своей стекловатой поверхностью и пенистой внутренней текстурой они напоминают хорошо испеченный, покрытый корочкой каравай. Некоторые глыбы достигают в поперечнике 20 м. Они могли образоваться только из некоторого объема новой магмы, которая, внедрившись в тело вулкана, стремилась дестабилизировать его.

На наш взгляд, к обрушению Сокомпы привело фатальное совпадение землетрясения с периодом магматической активности. Породило ли обрушение взрыв, остается неясным. У вулкана Сент-Хеленс, например, отчетливо выраженное покрывало отложений из пепла и обломков, образовавшихся при большом взрыве и распыленных ударной волной, оказалось крайне тонким (его толщина меняется от нескольких сантиметров приблизительно до метра), и через несколько десятилетий оно уже, скорее всего, исчезнет под действием эрозии. Поэтому отсутствие определенных доказательств взрыва в случае Сокомпы не удивляет. Но в общем весьма вероятно, что, когда присутствует новая магма, большая раскаленная лавина может стать причиной экспло-



ПАРИНАКОТА — еще один вулкан в северной части Чили, обрушившийся около 15—17 тыс. лет назад. На снимке хорошо заметны две характерные особенности отложений вулканических лавин: слева, у подножия вулкана, располагаются крупные сползшие глыбы, а перед ними — более

мелкие холмики и бугорки. Впадины между бугорками заполняет озеро. Судя по размерам площади, занимаемой этими отложениями (около 150 квадратных километров), обрушение Паринакоты было менее значительным, чем обрушение Сокомпы. Амфитеатр сглажен потоками лавы.

живного извержения. Удаление части вулкана ведет к резкому падению давления, оказываемого на его горячие недра, а это — прямой путь к взрыву.

НА СОКОМПЕ раскаленная лавина вырвалась из горы громадный кусок. В то время как большинство обломков на вулкане Сент-Хеленс образовались из самой вулканической постройки, значительная доля (вероятно, более половины) материалов гораздо большего по размерам оползня на Сокомпе произошла не от самого вулкана, а от подстилающего его фундамента. Последний простирается вниз начиная от высотной отметки порядка 4000 м и состоит из вулканических пород совершенно другой геологической эры и отчасти из пород, которые вообще не являются вулканическими. Поэтому среди лавинных отложений Сокомпы можно встретить не только лавовые валуны, но и большое количество игнимбритов (пород, образовавшихся из пепла древних извержений), а также гравий осадочного происхождения. По-видимому, эти породы были отторгнуты потому, что поверхность откры-

ва расщелила западную зону разломов и врезалась в породы фундамента. Первая волна лавины захватила главным образом породы фундамента, а не те породы, которые располагались в верхней части горы.

Динамика лавины была весьма необычной. Когда первая волна, двигаясь на северо-запад, достигла подножия Сокомпы, она не стала опускаться по региональному склону на северо-восток. Вместо этого лавина продолжила свой путь и помчалась прямо через региональный склон, пока примерно в 35 км от пика вулкана не встретила круто поднимающуюся поверхность. (Северо-западная граница лавины отмечена фронтом потока, имеющего высоту более 40 м.) Лавина не следовала по криволинейной траектории, по которой двигался бы, например, мяч, несильно пущенный вдоль наклонной плоскости. Из этого следует, что она перемещалась с огромной скоростью. Определить эту скорость мы не можем, но, судя по реально наблюдавшимся лавинам, она, вероятно, достигала 300 км/ч.

Обрушение коренных пород, залегающих под вулканической построй-

кой, привело к оседанию самого вулкана, и в результате первую волну снесенного материала почти тотчас же нагнала вторая волна, состоявшая из обломков, которые находились на горе гораздо выше, и двигавшаяся в том же северо-западном направлении. Обе массы первоначально обрушившегося материала остановились лишь ненадолго. Затем вся эта машина, находившаяся более чем в 25 км от вершины, за исключением узкой ленты по ее северо-западному краю, стала сползать по региональному склону на северо-восток, под прямым углом к своему первоначальному курсу. Этот вторичный поток надвинулся на первичный лавинный материал, так что его край, обращенный к горе, оказался отмеченным резким уступом, или обрывом, северо-восточного простирания. Впоследствии как первичный, так и вторичный потоки были частично перекрыты еще одной волной лавины, спустившейся с еще большей высоты вулкана.

В конечном счете прежде, чем рассыпаться по пустыне, материал лавины, образовавшейся на Сокомпе, переместился почти на 40 км. Чем объ-



АМФИТЕАТР ВУЛКАНА СЕНТ-ХЕЛЕНС имеет глубину 600 м и ширину 2 км. Снимок сделан в сентябре 1984 г. Л. Топин-

кой из Геологической службы США. Лавовый купол, растущий внутри амфитеатра, покрывает сейчас треть его дна.



ВУЛКАН БАНДАЙСАН в Японии, обрушившийся 15 июля 1888 г. Эта современная литография, выполненная по фотографиям и рисункам, сделанным через три недели после обрушения, воспроизводит заполненный обломками амфи-

театр (с извергающими пар жерлами) и бугристый рельеф поверхности лавинных отложений. В противоположность тому что было на вулкане Сент-Хеленс, проникновение новой магмы не повлияло на устойчивость Бандайсана.

яснить столь значительное перемещение? Не грандиозным ли взрывом, возможно, происшедшим на Сокомпе? Но на самом деле даже крупные взрывы не могут сообщить значительную энергию вулканической лавине. В этом отношении вулканические лавины похожи на обычные: их энергия обусловлена главным образом действием силы тяжести. Иными словами, лавины, зарождающиеся выше, обладают большей потенциальной энергией и могут двигаться дальше. Крутой западный склон Сокомпы — это одна из причин того, что лавина распространилась на столь большое расстояние в пустыню Атакама.

Однако этим объяснение не исчерпывается. Сокомпская лавина продвинулась гораздо дальше, чем можно было бы ожидать исходя из рельефа местности в данном районе. Большая доля материала лавины происходила из пород фундамента вулканической постройки, а это означает, что лавина зародилась на высоте 4000 м или меньше. Северо-западная граница ее отложений располагается примерно в 30 км от подошвы горы, на высоте 3200 м над уровнем моря. Если разделить вертикальный перепад высот на пройденное лавиной горизонтальное расстояние, то величина их отношения составит менее 0,03. (Расчет, проведенный для вторичного, северо-восточного потока, дает поразительно похожий результат.) Отношение вертикального расстояния к горизонтальному хорошо характеризует подвижность лавины (типичное значение его составляет около 0,1). Сокомпская лавина, по-видимому, была необычайно подвижной.

Наиболее вероятное объяснение этого состоит в том, что землетрясение, стимулировавшее обрушение вулкана, придало также подвижность лавине. Во время очень сильного землетрясения (с магнитудой 7—8 по шкале Рихтера) мощное содрогание грунта может продолжаться в течение нескольких минут; кроме того, сотрясения могут усиливаться и продлеваться, если сейсмические волны отражаются от границ структуры типа бассейна, образуемой породами на глубине, т. е. такой, какая существует у Сокомпы. Сокомпской лавине должно было потребоваться всего несколько минут, чтобы достичь самой дальней точки своего распространения. Дополнительная сейсмическая энергия позволяла лавине неуклонно двигаться, компенсируя энергетические потери, обусловленные трением. В частности, благодаря сотрясениям земной поверхности первичные обрушившиеся массы после своей короткой остановки могли сдвинуться с места и продолжить движение по пологому региональному склону.

ИЗ НАРИСОВАННОЙ нами картины — схода грандиозной лавины, которая, устремляясь с огромной скоростью вниз по горному склону, в то же время испытывает внутреннее перемешивание из-за сильнейших сотрясений, — может сложиться впечатление, что обрушивающийся с вулкана поток обломочного материала совершенно хаотичен. Однако это не так. Структура потока действительно сложна, особенно когда тот достигает наибольшей скорости, но она вовсе не хаотична. Признаком хаотического (турбулентного) течения, которое

наблюдается главным образом в жидкостях и газах с малой вязкостью, например в воздухе и воде, служит то, что отдельные частицы все время находятся в движении относительно друг друга. В противоположность этому поток в вулканической лавине скорее можно назвать ламинарным; этот термин означает, что отдельные слои движутся примерно параллельно друг другу. Только самый нижний слой в лавине, соприкасающийся с поверхностью земли, испытывает значительные сдвиги.

Действительно, движение лавины в первой части ее пути, т. е. по склону вулкана, точнее было бы описать как скольжение, а не течение. Громадные глыбы пород отрывались от горы и, все ускоряясь, неслись вниз по склону. Хотя отчасти эти глыбы вращались в обратном направлении и сталкивались друг с другом, в целом они оставались неповрежденными. Во время этой фазы движения, вероятно, можно было бы, набравшись духу, съехать с горы верхом на скользящей вниз глыбе. На Сокомпе некоторые глыбы — те, которые откололись от горы в районе ее вершины, вблизи конца лавины, — сохранились в целости в открытой части амфитеатра, т. е. в нескольких километрах от того места, где они начали двигаться. Наибольшая из них имеет приблизительно 2 км в длину и 0,5 км в высоту.

Крупные глыбы, несомненно, откалывались от вулкана на протяжении всей длины лавины, но те из них, которые оторвались раньше, не остановились в отверстии амфитеатра и не смогли остаться неповрежденными. К тому моменту, когда глыба достигала подножия вулкана, она двига-

лась со скоростью 100—200 км/ч. Сдвиговые напряжения, развивающиеся при таких скоростях, достаточны для того, чтобы раздробить эту глыбу на более мелкие куски, большинство которых имеют в поперечнике меньше метра. Движение этих камней с удалением от вулкана больше напоминало течение, чем скольжение. Но все же это течение не было хаотичным; тонкие стратиграфические соотношения, существовавшие в теле вулкана, сохранились и в толще отложенной лавины.

Эта закономерность наблюдалась в ряде районов развития лавинных отложений и подтвердилась на Сокопе в исключительно большом масштабе. В первоначальном вулкане светлоокрашенная дацитовая лава залегает выше темноокрашенного андезита; среди лавинных отложений остатки дацита можно встретить над раздробленными остатками андезита. Под ними обоими, особенно у дальней границы распространения этих отложений, видны гравий светлых оттенков и игнимбриты, происходящие из пород фундамента вулканической постройки. Все три слоя подверглись сильному дроблению: в то время как первоначально их мощность исчислялась десятками или даже сотнями метров, в отложениях лавины они сузились до тонких прослоек толщиной не более нескольких метров.

НИЧТО не может уцелеть на пути вулканической лавины, несущейся с огромной скоростью и способной вследствие колоссальной инерции промчаться на сотни метров вверх по склону. Кроме того, разрушения могут охватить гораздо большие площади, чем территория, непосредственно покрытая самой лавиной. Нанося ущерб дренажной системе и заставляя выходить из берегов реки и озера, лавина может образовать необъятных размеров грязевые потоки. Еще хуже, если вулкан находится на берегу океана или большого озера. Тогда быстрое вытеснение лавиной массы воды может привести к возникновению гигантских волн типа цунами, способных произвести значительные опустошения на суше. Печально знаменитым примером является обрушение вулканического конуса Раката на острове Кракатау в 1883 г. Обломки конуса, рухнувшие в море с высоты магматического извержения, образовали «огромную волну», которая, выйдя на побережье Зондского пролива (между Явой и Суматрой) на протяжении нескольких сотен километров, смыла целиком несколько селений и унесла более 30 000 жизней.

В большинстве случаев, вероятно,

обрушению вулканов предшествует магматическая активность и обрушение сопровождается эксплозивным извержением. Тогда форма вулкана может послужить достаточным признаком, предупреждающим о возможности грядущего катаклизма. Например, перед извержением вулкана Сент-Хеленс вулканологи, внимательно следившие за ростом выпуклости на его северном склоне, предвидели, что гора может рухнуть (хотя сейчас можно сказать, что они недооценили масштабы обрушения). Когда у вулкана проявятся признаки возможного обрушения, можно построить карты потенциальной опасности, на которых будут указаны районы, где с наибольшей вероятностью скажется пагубное воздействие взрыва или раскаленной лавины. По вполне понятным причинам специалисты, занимающиеся изучением этих угрожающих явлений, сосредоточивают свое внимание на тех вулканах, для кото-

рых имеются сведения об активности.

И все же, получив толчок при сильном землетрясении, недействующий вулкан может обрушиться без всякого предупреждения. Образующаяся при этом холодная лавина может оказаться столь же разрушительной, как и крупное извержение. Например, в 1792 г. восточная часть побочного конуса вулкана Унцендаке на юге Японии обрушилась в залив Ариакэ; от возникшего в результате этого цунами погибло свыше 14 500 человек. До тех пор пока форма конусообразного вулкана не окажется сглаженной и стабилизированной процессами эрозии, вулкан следует рассматривать как кандидат на обрушение независимо от того, активен он или нет. Это обстоятельство усугубляет угрозу, которую представляют вулканы, особенно для жителей тихоокеанского побережья, где вулканические постройки весьма распространены, а землетрясения — обычные явления.

Наука и общество

Без взрыва...

ЗВЕЗДА, подобная Солнцу, масса которой недостаточна, чтобы взорваться как сверхновая, умирает гораздо более спокойно и не столь внезапно. По мере того как в ее ядре в результате термоядерных реакций образуются более тяжелые элементы, конвекция раздувает внешние слои звезды и превращает ее в красный гигант. В конце концов внешние слои рассеиваются и появляется тусклое сжавшееся ядро — белый карлик.

На южной небесной полусфере, где сейчас сияет сверхновая 1987а, в созвездии Кормы находится необычный объект, напоминающий по форме песочные часы. Он отражает процесс быстрого сброса внешних слоев красным гигантом — кульминационную, однако хуже всего изученную стадию в эволюции звезды. Б. Рейпурт из Южной европейской обсерватории в Ла-Силле (Чили) построил детальную картину этого объекта, который был обозначен ОН231,8+4,2, на основе данных, полученных с четырех телескопов. Сама звезда спрятана внутри пылевого диска в центре объекта, а по обе стороны диска расположены два быстро расширяющихся «пузыря» светящегося вещества.

Большой пузырь имеет размер 0,8

св. года и расширяется со скоростью 140 км/с. Рейпурт замечает, что быстрота протекания этого процесса по сравнению с несколькими миллиардами лет среднего времени жизни звезд объясняет, почему такие явления не столь часто наблюдаемы. Он предполагает, что эти пузыри начали образовываться около 1500 лет назад. За несколько тысяч лет они прекратят расширяться и превратятся в так называемую биполярную планетарную туманность.

Уже обнаружены десятки полностью сформировавшихся биполярных планетарных туманностей; в центре некоторых из них различаются белые карлики. Согласно одной из теорий их образования, они возникают из красных гигантов, окруженных дисками. По мере того как стареющая звезда теряет внешние слои, вещество расширяется под прямым углом к плоскости диска, так как испытывает в этом направлении наименьшее сопротивление. Рейпурт считает, что, по видимому, объект ОН231,8+4,2 соответствует этой модели.

Прежде всего возникает вопрос: почему диски образуются вокруг красных гигантов? Этот вопрос затрагивает и гораздо более широкий: до какой степени объект ОН231,8+4,2 похож на то, что ожидает наше Солнце

через много миллионов или даже миллиардов лет? Считают, что диски образуются следующим образом. Газ, выдуваемый звездным ветром, покидает поверхность красного гиганта и конденсируется, в то время как сама звезда еще относительно стабильна. М. Моррис из Калифорнийского университета в Лос-Анжелесе утверждает, что гравитационное притяжение второй звезды представляет собой наиболее вероятный механизм, вызывающий выпадение сконденсировавшегося газа на орбиты с образованием диска, а не почти сферической оболочки. На этой основе Моррис предлагает считать $OH231,8 + 4,2$ двойной звездой, а не одиночной, как Солнце.

Б. Цукерман из того же Калифорнийского университета не согласен с Моррисом в том, что диски и, следовательно, биполярные планетарные туманности возникают только из двойных звезд. Цукерман полагает, что диск мог бы образоваться и вокруг одиночной звезды, если она быстро вращается или обладает мощным дипольным магнитным полем. «Пока мы этого не знаем», — замечает он.

Температура в центре Земли

СЖИМАЯ мельчайшие образцы железа, помещенные между алмазными наковальнями и используя дополнительное ударное дожатие, исследователи пришли к беспрецедентно высоким оценкам температур земного ядра. В журнале «Science» научные группы из Калифорнийского университета в Беркли и Калифорнийского технологического института (КТИ) описывают, как они получили такие оценки из измерений температуры плавления железа — основного компонента ядра Земли — при очень высоких давлениях.

Ученые основывались на некоторых хорошо установленных свойствах земного ядра. Сейсмические исследования показали, что внешнее ядро, которое граничит с мантией на глубине около 2900 км, находится в расплавленном состоянии. Следовательно, температуру плавления железа при тех давлениях, которые, согласно расчетам, существуют на поверхности внешнего ядра, можно считать нижним пределом для температуры ядра. Внутреннее ядро, граница которого лежит на глубине примерно 5200 км, — твердое. Температура на границе между внешним и внутренним ядром должна быть равна температуре плавления (которая сильно



ИЗОБРАЖЕНИЕ, полученное Б. Рейпуртом с помощью прибора с зарядовой связью на Южной европейской обсерватории в Ла-Силле (Чили), показывает, как умирающая звезда выбрасывает два «пузыря» светящегося вещества. Большой пузырь имеет размер 0,8 св. года. Схема справа основана на данных, полученных с четырех телескопов.

возрастает с увеличением давления и, значит, глубины).

Ранее выполненные прямые измерения температур плавления при высоких давлениях ограничивались давлением около 20 млрд. паскалей, которое эквивалентно глубине всего лишь 600 км. Использование комбинации методов позволило группам исследователей из Калифорнийского университета в Беркли и КТИ под руководством соответственно Р. Джинлоса и Т. Аренса провести измерения при 250 млрд. паскалей, что примерно соответствует условиям внутри земного ядра.

Чтобы достичь давления 100 млрд. паскалей, исследователи из Калифорнийского университета в Беркли сжимали образец железа в алмазной камере — устройстве, в котором с помощью простого рычажно-винтового механизма давление передается образцу, зажатому между плоскостями двух алмазов. Прозрачность алмазов позволяет нагревать образец излучением инфракрасного лазера и определять температуру плавления железа при различных давлениях по спектру излучения образца. Исследователи из КТИ достигли еще больших давлений, применив сжатый водород для ускорения пневматического снаряда, бомбардирующего железную пленку или фольгу, которая помещена на кристаллическом окне. В результате удара образец подвергался мгновенному сжатию и нагреву; его температура измерялась путем ре-

гистрации теплового излучения, проходящего через окно.

Измеренное отношение температуры плавления к давлению показывает, что температура поверхности внешнего ядра, где давление составляет 136 млрд. паскалей, должна быть не ниже 3800 К. (Температура плавления чистого железа при таком давлении в действительности на 1000 К выше, но авторы уменьшили это значение, чтобы учесть влияние примесей, которые, как считают, есть в земном ядре.) Экстраполяция результатов показывает, что температура поверхности внутреннего ядра, где давление равно 330 млрд. паскалей, составляет примерно 6600 К. В качестве верхнего предела температуры в центре Земли исследователи предлагают значение 6900 К — выше чем на поверхности Солнца.

Приведенные значения на 2000—3000 К выше прежних оценок, основанных на косвенных данных. Поскольку перепады температур внутри Земли порождают конвективное движение вещества, которое проявляется в движении континентов и извержениях вулканов, влияние сверхгорячего ядра на геофизические процессы должно быть очень существенным. Полученные группой Аренса результаты свидетельствуют, что «нагрев земной мантии в значительной степени обеспечивается ядром. Ядро может играть большую роль в движениях вещества коры и мантии, чем считали прежде».

Как тюлень Уэдделла приспособлен к нырянию

Благодаря спадающим легким и селезенке, действующей подобно аквалангу, тюлень Уэдделла может нырять глубже и задерживать дыхание дольше, чем большинство других млекопитающих

УОРРЕН М. ЗАПОЛ

ЧЕЛОВЕК, который может без каких бы то ни было приспособлений нырнуть на 20 м и остаться под водой в течение 3 мин, считается опытным ныряльщиком. Однако это кажется детской забавой по сравнению с тем, на что способен истинный чемпион по нырянию среди млекопитающих — тюлень Уэдделла, который может погружаться более чем на 500 м и оставаться под водой дольше 70 мин.

Тюлень Уэдделла (*Leptonychotes Weddellii*), принадлежащий к семейству настоящих тюленей (*Phocidae*), живет на побережье и в прибрежных льдах Антарктиды. Это животное совершает глубокие погружения в холодные полярные воды, конечно, не для того, чтобы устанавливать рекорды выносливости, а в поисках пищи. Главным источником пропитания для него служит крупная антарктическая треска *Dissostichus mawsoni*, которая обитает в районах глубиной 250—600 м на расстоянии примерно 0,5 км от берега в толще воды около 15 м от дна.

Холод окружающей воды, температура которой достигает $-1,9^{\circ}\text{C}$, тюлень Уэдделла легко переносит благодаря своим большим размерам (взрослые особи весят 350—450 кг) и толстому слою подкожного жира, служащему теплоизолятором. Приспособиться же к нырянию сложнее: организму необходимо справляться с нехваткой воздуха и высоким давлением больших глубин. Неудивительно, что для изучения этих приспособительных механизмов потребовались десятки лет работы во многих лабораториях, а в последние годы был проведен ряд «полевых» исследований в естественной среде обитания. Новейшие полевые исследования заставляют пересмотреть представления, сложившиеся ранее на базе лабораторных данных. Оказывается, когда тюлень погружает морду в воду в экспериментальной обстановке, у него воз-

никают несколько иные реакции, чем при свободном нырянии.

Адаптация к нырянию ставит перед организмом целый ряд непростых проблем. Прежде всего, необходимо снабжать все ткани кислородом и в то же время ограничивать поступление в кровь углекислого газа — конечного продукта окисления глюкозы. Это вещество постоянно образуется в тканях в ходе метаболизма, переносится с кровью к легким и оттуда удаляется в окружающую среду. Однако при погружении CO_2 может накапливаться в крови, а это приводит к нарушению тонкого кислотно-щелочного равновесия организма.

При нырянии возникают также трудности в связи с высоким давлением. С каждыми 10 м глубины давление, испытываемое организмом, возрастает на 1 атм (1 атмосфера соответствует 760 мм рт. ст.; на уровне моря такое давление оказывает груз весом чуть больше одного килограмма, действующий на площадь в 1 см^2). Одна из опасностей на больших глубинах заключается в том, что из-за высокого давления увеличивается возбудимость нервных клеток. Это может приводить к судорогам. Кроме того, сдавливаются полости, заполненные воздухом, например, придаточные пазухи носа у человека, что вызывает боли, а если организм не может «подкачать» в эти полости воздух для уравнивания внешнего давления, кровеносные сосуды в их стенках раздуваются и лопаются.

Под действием высокого давления сжимаются газы (жидкости и заполненные жидкостью органы сжимаются в очень незначительной степени). Особую опасность для организма представляет сжатие азота, содержащегося в альвеолах — крошечных пузырьках, из которых состоит ткань легких. Концентрация азота в атмосферном воздухе равна примерно 78%. В нормальных условиях этот газ без каких-либо последствий переходит из

воздуха в кровеносное русло и обратно, однако при погружении, когда давление в легких увеличивается, избыточное количество азота растворяется в крови и тканях, что может приводить к наркозу, или, как говорят ныряльщики, глубинному опьянению. Это состояние проявляется интоксикацией, ухудшением координации и зрения, общей заторможенностью и потерей сознания. А при слишком быстром подъеме из глубины к поверхности напряжение азота в крови и тканях может оказаться выше внешнего давления и тогда из растворенного азота образуются пузырьки газа. Это вызывает так называемую кессонную болезнь: возникает боль в суставах и в мышцах, головокружение; в тяжелых случаях пузырьки азота закупоривают сосуды головного и спинного мозга, что приводит к параличу и даже смерти.

В лабораторных исследованиях, при всей их ограниченности, были выявлены важнейшие приспособительные механизмы, благодаря которым организм тюленя при нырянии обеспечен необходимым кислородом и не испытывает упомянутых выше осложнений. Я остановлюсь вначале на результатах этих исследований, а затем на тех аспектах, по которым в полевых условиях были получены данные, противоречащие лабораторным или проясняющие их.

ВАЖНЕЙШЕЕ из открытий, сделанных в условиях лаборатории, которое не вызывает пока никаких сомнений, — это открытие у тюленя способности в большом количестве запасать кислород. Тюлень Уэдделла может накапливать почти вдвое больше (в расчете на килограмм веса) кислорода, чем человек. Кроме того, кислород сосредоточен именно там, где он более всего необходим при нырянии — в крови и, в меньшей степени, в мышцах. У человека главнымместилищем кислорода служат легкие: здесь

содержится 36% общего количества его в организме, а в крови — 51%. У тюленя же в легких заключено лишь 5% кислорода, тогда как в крови — 70%. Резервы кислорода в мышцах (где он содержится в связанном виде — в комплексе с белком миоглобином) у человека составляют только 13%, у тюленя Уэдделла — около 25%.

У тюленя кровь вмещает много кислорода отчасти потому, что количество ее очень велико. В 1969 г. К. Ленфан (работавший в то время в Вашингтонском университете) обнаружил, что у тюленя Уэдделла на долю крови приходится 14% общей массы тела (для сравнения: у человека — 7%); такое сравнение создает даже несколько заниженное представление о количестве крови, которое у тюленя могут получать работающие органы, так как кровоснабжение под-

кожного жира, составляющего около одной трети от общей массы тела, весьма незначительно). Кроме того, в крови тюленя высоко содержание гемоглобина; этот белок, заключенный внутри клеток крови, называемых эритроцитами, служит переносчиком кислорода. Когда в моей лаборатории в Массачусетской больнице исследовали кровь тюленя, было обнаружено, что эритроциты составляют 60% ее объема (у человека — 35—45%).

Итак, запасы кислорода у тюленя Уэдделла велики. Однако и они небезграничны, а значит, у тюленя, как и у других ныряющих животных, должны существовать способы сбережения O_2 . Когда тюлень погружает морду в воду, в головной мозг поступают импульсы, вызывающие так называемый нырятельный рефлекс: как только животное задерживает дыхание,

наступает брадикардия (замедляются сердечные сокращения) и суживаются некоторые артерии, что ограничивает приток крови к соответствующим органам.

Быстро возникающая брадикардия в ответ на ныряние была обнаружена у животных более 100 лет назад. У человека это явление также существует, однако наиболее выражена она у представителей тех видов, образ жизни которых связан с частым нырянием, например у тюленей и китов. Пониженная частота сердечных сокращений при плавании под водой выгодна, поскольку сердечная мышца при этом работает с меньшей мощностью, а значит, поглощает меньше кислорода. Кроме того, при брадикардии уменьшается сердечный выброс (объем крови, выбрасываемой сердцем при сокращении), а это способствует поддержанию артериаль-



ТЮЛЕНЬ УЭДДЕЛЛА после плавания под льдом возвращается к проруби. В большинстве случаев тюлени ныряют в поисках добычи; такое погружение длится обычно не более 20 мин, а глубина его составляет 500 м и даже более. В отдельных случаях длительность ныряния может превышать 1 час. Для того чтобы животное могло переносить да-

же кратковременное погружение, у него должны существовать механизмы обеспечения тканей кислородом в отсутствие дыхания и защиты от осложнений, связанных с давлением — глубинного наркоза и кессонной болезни. Фотография сделана Р. Дэвисом (Международный институт по изучению морей и океанов в Сан-Диего).

ного давления на нормальном уровне в условиях суженных артерий. Наконец, ослабление кровотока приводит к замедлению обменных процессов и тем самым к уменьшению потребности тканей в кислороде.

Спазм артерий, по-видимому, необходим для того, чтобы максимальное количество крови (а следовательно, и кислорода) поступало к жизненно важным органам. Недавно мои сотрудники и я измеряли кровоток в различных органах тюленя во время ныряния в лабораторных условиях. Мы обнаружили (и это вполне согласуется с уже имевшимися данными),

что нормальный уровень кровотока сохранялся в сетчатке глаз и в головном и спинном мозге. Все эти органы необходимы при плавании для ориентировки и координации движений. Сердце, как и следовало ожидать, тоже снабжалось кровью, но интенсивность кровотока в нем была пониженной — в соответствии с уменьшением объема работы этого органа.

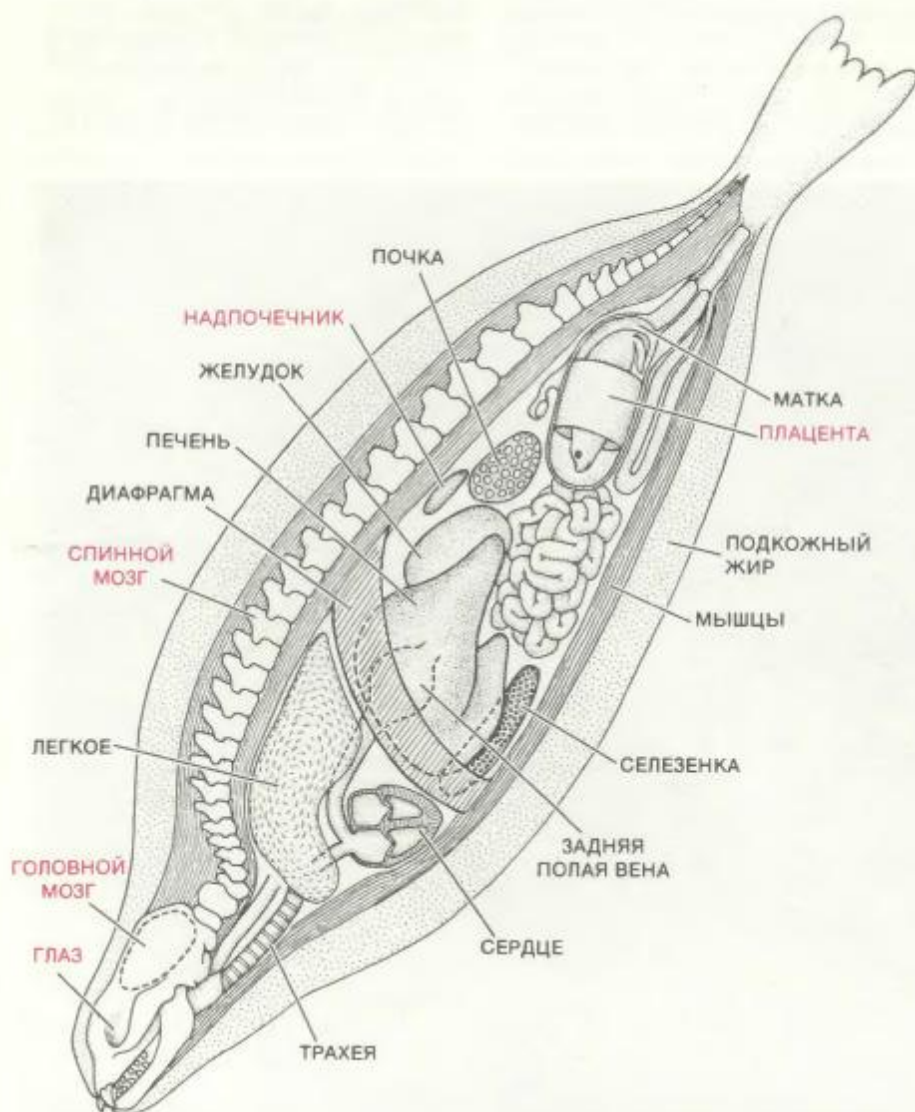
Прежний кровоток сохранялся при нырянии также в надпочечниках, а у беременных самок еще и в плаценте. Физиологический смысл высокого уровня кровотока в надпочечниках до конца не ясен. Возможно, это связано

с тем, что здесь образуется гормон кортизол. По некоторым данным, кортизол при нырянии стабилизирует деятельность нервных клеток, предотвращая тем самым судороги, вызываемые давлением. Что касается плацентарного кровотока, то здесь объяснение очевидно: плацента необходима для снабжения кислородом плода, и чтобы будущий детеныш выжил, она должна полноценно работать, когда его мать ныряет.

ИЗУЧАЯ распределение кислорода в организме тюленя Уэдделла в лабораторных условиях, мы также обнаружили, что при нырянии кровоснабжение многих органов и тканей прекращается. Некоторые из этих органов (например, почки) вообще перестают функционировать до тех пор, пока животное не поднимется на поверхность и не начнет дышать. Другие органы, которые должны непрерывно выполнять какие-либо важные функции, по-видимому, переходят на анаэробный (не зависящий от кислорода) обмен. Характерным продуктом анаэробного метаболизма является молочная кислота. Когда после принудительного погружения тюлень всплывает, уровень этого вещества у него в крови резко повышен.

Анаэробный обмен важен в условиях недостатка кислорода, но в то же время этот путь адаптации таит в себе опасность для организма. Дело в том, что при высоком уровне молочной кислоты в крови кислотно-щелочное равновесие крови нарушается — возникает так называемый ацидоз. Это состояние сопровождается судорогами, снижением сократительной способности сердца и иногда приводит к смерти. В 1930-х годах П. Шоландер (Скриппсовский институт океанографии), изучая нырятельный рефлекс в лабораторных условиях, высказал идею о том, что ацидоз у тюленя не возникает благодаря тому, что анаэробный обмен протекает лишь в скелетных мышцах и других тканях, которые при нырянии не снабжаются кровью. В отсутствие кровотока через эти ткани образующаяся в них молочная кислота не попадает в кровь до тех пор, пока тюлень не всплывет. Когда же животное поднимается на поверхность, начинают работать печень, легкие и другие органы, так что ацидоз и избыток молочной кислоты быстро ликвидируются.

В лабораторных условиях делались попытки выяснить, каким образом тюлень Уэдделла приспосабливается к высокому внешнему давлению. Как уже говорилось, были основания предполагать, что при нырянии у тюленя повышается уровень кортизола,



ОРГАНЫ И ТКАНИ тюленя, необходимые для плавания, при нырянии получают достаточное количество крови, насыщенной кислородом (цветные надписи). В их число входят головной и спинной мозг и сетчатка глаз. Кроме того, хорошо снабжаются кровью надпочечники (образующие в них гормоны, возможно, защищают головной мозг от высокого давления), а у беременных самок также плацента. При принудительном погружении в лабораторных условиях тюлень не может знать, сколько времени он будет находиться под водой, и готовится к худшему: кровоток в остальных тканях, в частности в сильно развитой мышечной системе, резко уменьшается. Когда запасы кислорода исчерпываются, энергетические потребности мышц покрываются благодаря тому, что их метаболизм переключается на анаэробный (бескислородный) путь.

предотвращающего судороги. Кроме того, выяснилось, что у тюленя отсутствуют те воздушные полости, из-за которых возникают негативные явления при нырянии у других млекопитающих. У этого животного существуют также механизмы защиты от глубинного наркоза и кессонной болезни. Его легкие относительно малы, и поэтому они могут вместить лишь небольшое количество азота; тем самым ограничивается диффузия этого газа в кровь при нырянии. Вдобавок перед погружением тюлень делает выдох, что не только уменьшает препятствующую нырянию плавучесть, но и еще больше снижает количество газов в легких.

Грудная клетка у тюленя способна спадаться, и когда при нырянии на нее действует высокое давление, воздух (вместе с азотом) «выжимается» из альвеол в бронхиальную систему. В анатомических исследованиях Дж. Куймена и его сотрудников (Скриппсовский институт океанографии) было обнаружено, что бронхи и бронхиолы у тюленя укреплены хрящевыми кольцами, благодаря которым эти воздухоносные пути служат жестким воздушным резервуаром. А поскольку в бронхах, в отличие от альвеол, воздух не соприкасается непосредственно с кровью, азот не может переходить в кровоток. Разумеется, при этом в воздухоносных путях задерживается и некоторое количество кислорода, однако оно невелико, так как содержание O_2 во вдыхаемом воздухе составляет лишь 21%. У человека же при высоком наружном давлении бронхи и бронхиолы спадются и азот в них не может задерживаться.

Несколько лет назад Куймен в опытах с принудительным погружением животных в барокамере обнаружил, что на глубине 50—70 м легкие тюленя спадаются. Это должно прекращать диффузию азота в кровоток и тем самым ограничивать общее содержание его в крови.*

НЕДАВНО Куймен и его сотрудники провели ряд работ в естественных условиях. Полученные результаты заставили нас задуматься над тем, не различаются ли реакции тюленя на ныряние в лабораторных условиях и в естественной для животного среде — в океане. При изучении свободно ныряющих тюленей оказалось, что у них не всегда наблюдается «классический» нырительный реф-

* Главным фактором, препятствующим кессонной болезни у ныряющих животных, является задержка дыхания — апноэ. — Прим. ред.



ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ КИСЛОРОДА: 1,95 л



ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ КИСЛОРОДА: 25,9 л

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСОВ КИСЛОРОДА в организме человека (слева) и тюленя Уэдделла (справа) различно. У тюленя резервы кислорода (в расчете на килограмм массы) примерно вдвое больше, чем у человека, и сосредоточены они в основном в крови и мышцах, в меньшей степени — в легких.



РЕГИСТРАЦИЯ физиологических изменений, происходящих в организме тюленя при свободном нырянии в полевых исследованиях, которые автор этой статьи и его коллеги вели в Антарктиде, осуществлялась с помощью специального портативного компьютера с прибором для взятия крови. Реакции тюленя при кратковременном (до 17 мин) свободном нырянии в естественных условиях иные, чем при принудительном погружении в лаборатории. На этом снимке Р. Хилл (Массачусетская больница) устанавливает прибор на спине тюленя.

лекс, описанный в лабораторных условиях. Однако эти исследования были лишь предварительными, поскольку у Куймена и его сотрудников не было оборудования, позволяющего следить за состоянием организма в течение всего времени погружения.

Следующий шаг был сделан после того, как Р. Хилл из Массачусетской больницы разработал специальный восьмибитный компьютер с питанием от батареек и соответствующие программы для изучения физиологических и обменных процессов, проте-

кающих у тюленя во время свободного ныряния в естественной среде. Для совместной работы по этой методике объединились исследователи разных стран. Мы собрались на научно-исследовательской станции в проливе Мак-Мердо в Антарктиде. При известной доле везения портативный компьютер (он весил около 1,5 кг, а его оперативная память составляла 64 кбайт), которым мы располагали, должен был позволить выяснить, в какой степени сохраняется классический нырительный рефлекс у тюленя Уэд-

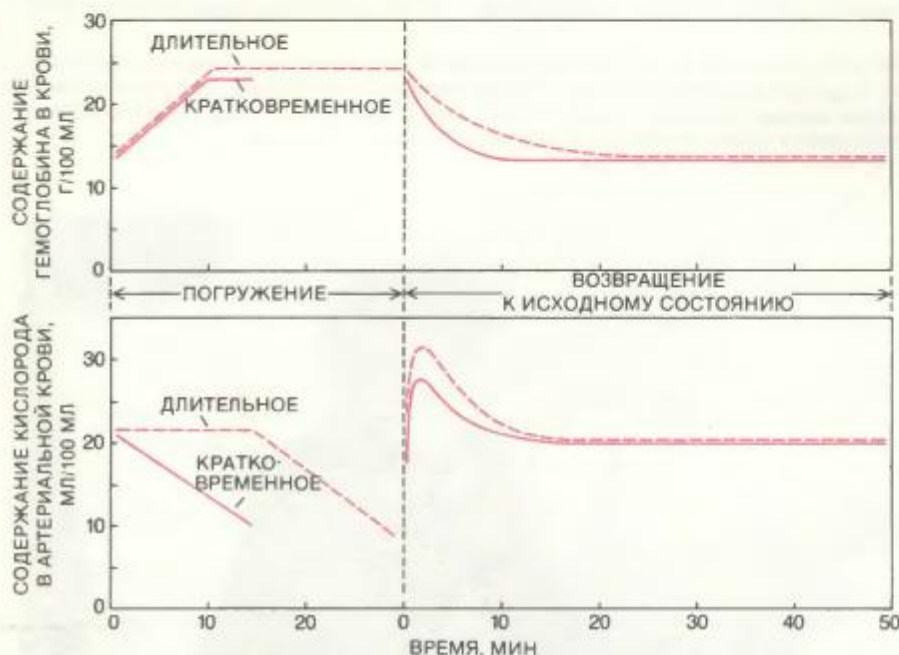
делла при естественном погружении. Кроме того, мы надеялись получить информацию о том, каким образом это животное приспосабливается к высокому давлению.

Чтобы «нырательный компьютер» Хилла выдержал давление на глубине 500 м, он был заключен в специальную капсулу. В ходе исследования прибор выполнял самые различные функции: в течение нескольких суток через определенные интервалы времени регистрировал глубину погружения животного и частоту сердечных сокращений, управлял электрическим насосом, забирающим до 7 проб артериальной крови в установленные моменты времени (например, через каждые 10 мин после начала погружения) и на заданной глубине. Эти пробы хранились в специальных мешочках или шприцах, соединенных с световодом длиной около 2 м. Световод играл особую роль, когда животное поднималось на поверхность.

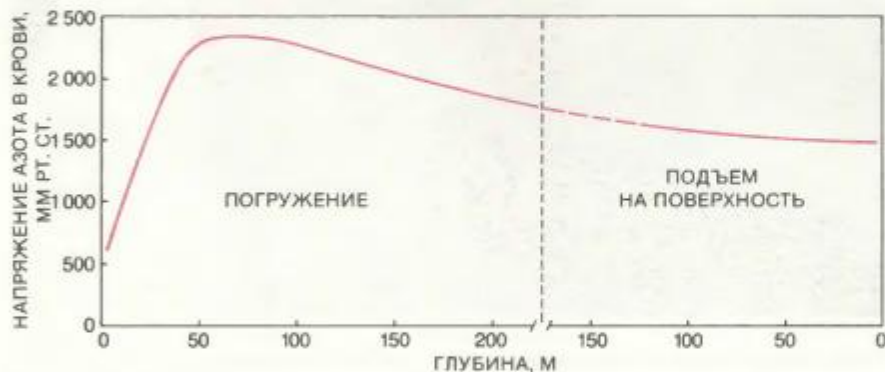
Мы отловили тюленей из близлежащих колоний и свезли их к месту исследования. Здесь в двухметровом льду была сделана прорубь диаметром около метра. Тюленей наркотизировали, применяя безвредные методы, разработанные Р. Шнайдером (Массачусетская больница). Затем им вводили катетеры и на спине устанавливали компьютер. Прибор держался на резиновой полосе, которую приклеивали к шерсти животного. (Позже, во время летней линьки, тюлени легко сбрасывали это устройство.)

После того как тюлени с укрепленными компьютерами приходили в себя от наркоза, им давали возможность нырнуть в прорубь и уплыть. Мы были уверены в том, что животные вернутся и мы сможем собрать пробы крови и снять нужные данные, так как применяли довольно надежную уловку, придуманную Куйменом. Зная, что тюлень Уэдделла может проплыть под водой лишь несколько километров, Куймен отыскивал обширные ледяные поля и делал одиночную прорубь. В такой ситуации тюленю для того, чтобы вынырнуть на воздух, приходилось возвращаться к той проруби, в которую он погрузился.

После того как животное уплыло, над прорубью ставили палатку, в дне которой было вырезано большое круглое отверстие. Эта палатка служила убежищем как для нас, так и для стационарной ЭВМ, которая должна была принимать данные от портативных компьютеров, прикрепленных к тюленям. Когда испытываемая особь возвращалась, укрепленный на ней световод быстро соединяли со стационарной ЭВМ, и за 10 с она считывала



СОДЕРЖАНИЕ ГЕМОГЛОБИНА — заключенного внутри эритроцитов белка, переносящего кислород — в крови тюленя в первые 10—12 мин свободного ныряния в естественных условиях повышается. Если погружение длительное — более 17 мин (пунктир) —, мышцы тюленя переходят на анаэробный обмен. В течение примерно 15 мин потребление кислорода организмом возмещается за счет этого нового гемоглобина. Если же ныряние кратковременное — менее 17 мин (сплошная линия) —, в мышцах продолжается аэробный обмен и дополнительный гемоглобин не может полностью компенсировать расход кислорода. В таком случае его содержание в крови с момента начала ныряния постепенно снижается.

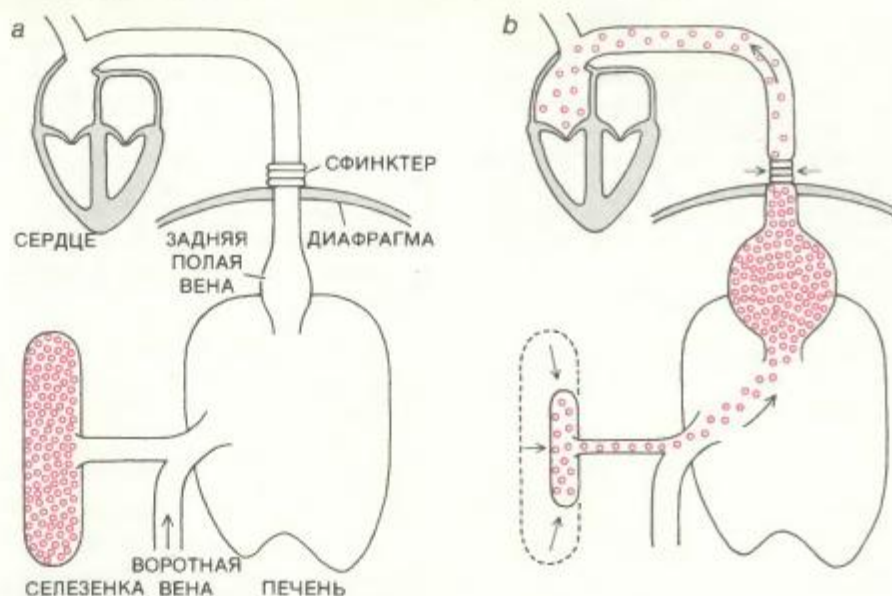


НАПРЯЖЕНИЕ АЗОТА в крови тюленя на глубине около 40 м перестает возрастать, так как этот газ уже не поступает в кровь благодаря тому, что легкие спадаются. Тем самым предупреждаются глубинный наркоз и кессонная болезнь. Если погружение продолжается, то азот захватывается мышцами и подкожным жиром, что еще более уменьшает его вредное действие.

данные с портативного компьютера, и при необходимости давала ему новые команды. Мы обнаружили (также как и Куймен в более ранних исследованиях), что примерно в 95% случаев произвольное погружение тюленя длится не более 20 мин. По-видимому, такие погружения совершаются с целью поисков пищи: тюлень ныряет прямо за добычей и сразу возвращается. Однако в 5% случаев погружение длится более 20—30 мин; это происходит тогда, когда животное исследует отдаленные участки или уходит от врага.

ИЗУЧАЯ такой важнейший показатель, как снабжение тканей кислородом, П. Хочачка (Университет пров. Британская Колумбия) обнаружил, что если погружение тюленя длится не более 20 мин, то молочная кислота в кровоток не поступает — ни во время ныряния, ни после него. Значит, при коротких погружениях (а чаще всего тюлень ныряет как раз ненадолго) мышцы не переключаются на анаэробный метаболизм и, следовательно, снабжаются кровью (мышцы — главный источник молочной кислоты, во-первых, потому что их общая масса велика, а во-вторых, потому что при нырянии они работают). Это расходится с результатами лабораторных экспериментов: при принудительных погружениях в искусственных условиях у тюленей наблюдается анаэробный метаболизм. Поскольку после естественного погружения в крови нет молочной кислоты (или уровень ее низок), то часто тюлени, поднявшись на поверхность и сделав лишь несколько вдохов, снова ныряют за рыбой.

Каким же образом при том, что кислород расходуется мышцами, достигается достаточное снабжение им мозга и других жизненно важных органов? Этот вопрос пока не решен, но есть указание на возможный ответ. Хилл заметил, что при кратковременном погружении частота сердечных сокращений у тюленя хотя и уменьшается в момент ныряния, но не остается постоянной в ходе всего погружения: она увеличивается и уменьшается в зависимости от скорости плавания, не превышая, однако, исходного значения. При ускорении работы сердца увеличивается и количество выбрасываемой им крови. Эта кровь должна куда-то поступать, и вполне вероятно, что она проходит через сосуды скелетных мышц. Если это так, то полного прекращения мышечного кровотока — «классической» реакции на ныряние — при естественных погружениях в большинстве случаев нет.



СЕЛЕЗЕНКА у тюленя Уэдделла очень большая и при погружении действует наподобие акваланга. Вероятно, когда тюлень дышит воздухом (а), богатые кислородом эритроциты накапливаются в ней, а во время ныряния (б) выбрасываются в кровоток. Этим можно объяснить увеличение содержания гемоглобина в крови тюленя в начале погружения. По мнению автора, в селезенке тюленя запасается около 24 л эритроцитов. В начале погружения селезенка сокращается, большая часть ее содержимого выбрасывается в воротную вену, проходит через печень и поступает в растяжимую заднюю полую вену, служащую резервуаром эритроцитов. Из него эритроциты по мере надобности поступают в сердце и артериальную систему, что регулируется с помощью особого сфинктера.

Что касается длительных погружений тюленя, то они, в отличие от коротких ныряний за добычей, похожи на «классические» реакции, наблюдавшиеся в лабораторных условиях. При таких погружениях наблюдается глубокая брадикардия с очень небольшими изменениями частоты сердечных сокращений. После подъема на поверхность (но не во время самого погружения) в крови тюленя появляется молочная кислота, а это значит, что мышечный кровоток во время ныряния прекращается ради сохранения кислорода. После того как мышцы переходят на анаэробный метаболизм, тюлень может оставаться под водой в течение часа или даже больше. Однако за это приходится расплачиваться: по возвращении на поверхность животное не может нырять снова до тех пор, пока не распадется вся выделившаяся из мышц молочная кислота, что занимает около часа. Почему же при коротких погружениях в лабораторных условиях у тюленя возникают такие же реакции, как при длительных естественных ныряниях? Наверное, в лаборатории тюлень не знает, как долго ему придется оставаться под водой, и поэтому его организм готовится к худшему.

В ДРУГИХ исследованиях было обнаружено, что, как при коротких ныряниях за добычей, так и при

длительных «исследовательских» погружениях, в крови тюленя быстро увеличивается содержание эритроцитов. Это означает, что повышается уровень гемоглобина, а следовательно, и количество кислорода, которое может переноситься к тканям. Один из участников нашей антарктической экспедиции Е. Квист из Копенгагенской больницы Херлеу сделал интересное открытие: он установил, что содержание эритроцитов в артериальной крови тюленя за первые 10—15 мин погружения возрастает на 50%, причем если в покое на долю эритроцитов приходится лишь 35—40% объема крови, то при нырянии — 60%. Через 10 мин после подъема на поверхность содержание эритроцитов возвращается к исходному уровню. Данные же, полученные мною с сотрудниками в лабораторных условиях, заставляли считать, что содержание эритроцитов в крови тюленя всегда высоко.

Откуда же берутся эти новые клетки? Логично предположить, что их источником служит селезенка. Функция этого органа изучена мало, однако известно, что у млекопитающих при возбуждении симпатических нервов (например, в момент ныряния или внезапного испуга) селезенка сокращается. Кстати, именно испугом можно объяснить тот факт, что у некоторых тюленей в лабораторных ус-

ловиях содержание эритроцитов в крови повышено. Вполне возможно, что в результате сокращения селезенки находящиеся в ней насыщенные гемоглобином эритроциты переходят в венозное русло, которое у тюленя весьма растяжимо. В дальнейшем сердце может по мере необходимости перекачивать эти клетки в артериальное русло. После того как тюлень возвращается на поверхность, «дополнительные» эритроциты насыщаются кислородом и могут снова депонироваться в селезенке. Функция селезенки как резервного источника кислорода — явление не уникальное. Так, у лошадей через несколько минут после начала быстрого бега селезенка выбрасывает эритроциты в кровоток.

Более прямые данные о значении селезенки для тюленей были получены при сравнительно анатомическом исследовании различных млекопитающих. Я обнаружил, что относительный вес селезенки (в процентах от общей массы тела) у тюленя Уэдделла необычно велик; в этом отношении с ним может соперничать лишь субантарктический морской слон, который также способен совершать длительные погружения. У человека, собаки и даже у китов относительные размеры селезенки значительно меньше. На основании данных о размерах селезенки и о повышении содержания гемоглобина в крови при нырянии мы с сотрудниками пришли к выводу, что у тюленя Уэдделла в селезенке содержится около 60% общего количества эритроцитов (у человека — менее 10%). Это означает, что селезенка тюленя действует подобно аквалангу, запасая и выделяя необходимый при погружении кислород.

Роль выброса насыщенных кислородом эритроцитов в кровоток особенно явственна в случае длительных погружений. В тот период погружения, когда содержание эритроцитов увеличивается, концентрация кислорода в крови остается постоянной — значит, количество кислорода, поглощаемого головным мозгом, сердцем и другими жизненно важными органами, восполняется. При кратковременных ныряниях за добычей, когда мышцы тюленя поглощают кислород, такого постоянства уровня O_2 не наблюдается: содержание кислорода в крови постепенно падает. Очевидно, в этом случае выброс эритроцитов селезенкой не может компенсировать потребление кислорода мышцами.

ПОСТУПЛЕНИЕ «свежих» эритроцитов в кровоток, по-видимому, не только дает дополнительный источник кислорода, но выполняет еще одну важную функцию — способству-

ет разбавлению растворенных в крови газов. Возможно, именно этим объясняется поразительно небольшое повышение содержания углекислого газа во время естественных погружений. Кроме того, не исключено, что отчасти благодаря разбавлению азота у тюленя не возникает глубинный наркоз и кессонная болезнь. Правда, результаты полевых исследований позволили предположить и иные объяснения. Так, в ходе работ на станции в проливе Мак-Мердо было обнаружено, что легкие тюленя на глубине около 40 м спадаются. Это явление предполагалось и ранее, однако считалось, что оно должно происходить на большей глубине.

Мы определили точку спадения легких на основании данных К. Фальке (Дюссельдорфский университет), который кропотливо измерял напряжение азота в пробах артериальной крови, взятых у тюленей при свободном погружении (напряжение азота служит хорошим показателем его содержания, так как эти величины связаны прямой зависимостью). Фальке обнаружил, что напряжение азота в крови тюленя, которое, когда животное дышит атмосферным воздухом на поверхности, составляет 550 мм рт. ст., по мере погружения сначала увеличивается и на глубине 40 м достигает 2000—2400 мм рт. ст., но на больших глубинах, когда легкие тюленя спадаются, напряжение азота в крови падает. Мы полагаем, что это падение напряжения азота обусловлено не только выбросом эритроцитов из селезенки, но также тем, что азот диффундирует из крови в мышцы и подкожный жир.

По мере того как мы изучали удивительные механизмы адаптации у взрослых тюленей, нас все больше занимал вопрос о приспособительных реакциях эмбриона. Было бы очень интересно, например, выяснить, возникает ли у плода «нырательный рефлекс», когда его мать совершает погружение. В работах Р. Элснера (Университет Аляски в Фэрбанксе) было показано, что такое возможно: при погружении в лабораторных условиях снижается частота сердечных сокращений не только у матери, но и у плода.

Пока еще нет исчерпывающего представления о реакциях плода тюленя на погружение, однако некоторые данные в полевых условиях удалось получить. Г. Лиггинс (Национальная женская больница в Окленде) и Хилл укрепили регистратор частоты сердечных сокращений на спине беременной самки тюленя. Анализ записи, сделанной компьютером, показал, что во время естественного по-

гружения частота сердечных сокращений у эмбриона снижается, но более плавно и в меньшей степени, чем у матери. После возвращения на поверхность исходный ритм его сердца восстанавливается тоже более постепенно. Это означает, что плод «узнает», когда его мать погружается в воду, но каким образом — пока не известно. Необходимо выяснить, сопровождаются ли изменения частоты сердечных сокращений у эмбриона соответствующими изменениями сердечного выброса и распределения кровотока. И если это так, то следует сделать вывод, что плод «приберегает» кислород для жизненно важных органов, когда мать ныряет, и восполняет запасы кислорода, когда она поднимается на поверхность.

ИТАК, в полевых исследованиях было показано, что в естественных условиях при длительных погружениях, которые тюлень Уэдделла совершает нечасто, в его организме происходят сдвиги, во многом сходные с реакциями, наблюдаемыми в лабораторных условиях. Полностью проявляется, например, «классический» нырательный рефлекс. Частота сердечных сокращений падает и остается низкой в течение всего погружения. Мышцы переходят на анаэробный обмен, что свидетельствует о прекращении в них кровотока, которое достигается, очевидно, путем спазма артерий.

В большинстве случаев реакции тюленя на естественное погружение не такие, как на вынужденное. Когда животное ныряет на короткое время в поисках добычи, а именно такие погружения тюлень совершает чаще всего, картина изменений в организме несколько иная. Частота сердечных сокращений уменьшается, однако она может меняться: чем быстрее животное плавает, тем чаще бьется его сердце. В мышцах продолжается аэробный метаболизм, — значит, они получают некоторое количество крови, иными словами, сжатие сосудов не полное. По-видимому, уже в самом начале погружения тюлень «решает», долго ли он будет находиться под водой и нужны ли особо жесткие меры для сохранения кислорода.

Механизм такого «принятия решения» пока остается загадочным. Однако благодаря бурному развитию технического оснащения исследований можно надеяться, что вскоре мы сумеем ответить и на этот вопрос и глубже поймем сложные приспособительные механизмы у тюленя Уэдделла — одного из самых искусных ныряльщиков.

SCIENTIFIC AMERICAN

ИЮНЬ 1937 г. Мост Storström в Дании стал самым длинным в Европе. Он пересекает водное пространство, лежащее на оживленном пути между Копенгагеном и Берлином. Его длина — 3160 м, ширина проезжей части — 14,7 м, что достаточно для размещения одной железнодорожной колеи, автомобильной дороги шириной 5,4 м и пешеходной дорожки шириной 2,7 м. Строительство моста началось весной 1933 г. и в соответствии с контрактом должно было завершиться к концу этого года. Благодаря сочетанию точных инженерных расчетов и применению новых остроумных методов строительства мост был закончен и соединился с датской железной дорогой на 12 мес. раньше срока.

В Японии разработан законопроект о введении во всей японской промышленности 84-часовой рабочей недели в целях оздоровления нации. В нынешний период бурного развития военной промышленности рабочий день составлял, как правило, 15 ч.

Проф. К. Ракмик из Университета шт. Айова поведал «правду о "детекторе лжи"». Ученый проводил лабораторные эксперименты с тем, чтобы определить полезность этого электрического прибора, часто используемого для раскрытия преступлений и получения признаний от подозреваемых. Он предупреждает, что прибор не дает столь же надежные результаты, как идентификация личности по фотографии или отпечаткам пальцев, и поэтому превращается в опасное оружие в руках недостаточно компетентных лиц.

Подобно другим объектам, предназначенным для длительного пользования, автострада должна соору-

жаться на твердом основании. В прошлом внимание строителей сосредоточивалось на выборе правильной дренажной системы и твердого всепогодного дорожного покрытия. Однако грунт, на который укладывается покрытие, заслуживает не меньшего внимания. Изучение после семи лет эксплуатации экспериментальной дороги, построенной Бюро общественных дорог и Управлением автомобильных дорог шт. Южная Каролина, подтвердило предположение о том, что главной причиной повреждения дорожного покрытия является скорее плохое основание, чем тип поверхности.

SCIENTIFIC AMERICAN

ИЮНЬ 1887 г. Крупный астрономический конгресс в Париже, организованный французским правительством, открыл новую эпоху в этой науке. Целью встречи было договориться о наилучших методах получения фотографических карт небесного свода. Участники конгресса согласились с тем, что эту работу следует разделить между большим числом обсерваторий. Среди прочего достигнута договоренность о том, что предельной для фотографирования звезд будет считаться 14-я звездная величина. Число звезд с 1-й по 14-ю звездную величину превышает 40 млн.

После обширных и кропотливых исследований комиссия, назначенная Пенсильванским университетом для изучения вопроса о том, что такое «современный спиритуализм», завершила свою работу. Комиссия нашла, что указанное воззрение составлено в равных пропорциях из надувательства и фокусов, рассчитанных на то, чтобы дурачить доверчивых или недалеких людей. Суммируя результаты своих исследований, комиссия заключает, что «спиритуализм представля-



Велосипед Раджа

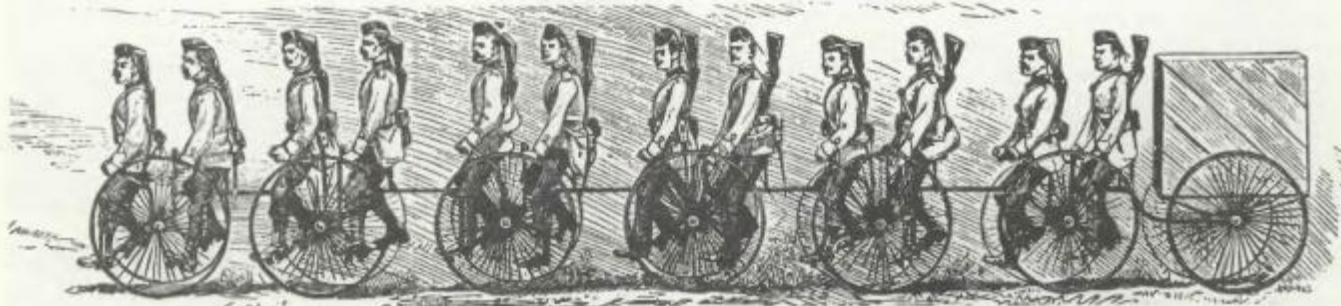
ет собой печальную картину грандиозного мошенничества, обращенного против той части общества, которой не свойствен критический ум».

Подсчитано, что на земном шаре умирает 67 человек в минуту, 97 790 в день или 35 639 835 в год. Рождаемость составляет 70 человек в минуту, 100 800 в день или 36 792 000 в год.

Получено новое вещество, напоминающее своим бело-кремовым цветом и твердостью слоновую кость. Оно изготавливается из здорового картофеля, который обмывается в разбавленной серной кислоте и затем варится в той же кислоте до твердого плотного состояния. После этого картофель отмывается от кислоты и медленно высушивается.

Те, кто до сих пор чурался велосипеда и связанных с ним удовольствий из страха перед несчастным случаем, который грезится от одного вида большого переднего колеса, могут забыть свои опасения на велосипеде Раджа. Колеса этого велосипеда одинаковы по размеру. Переднее колесо — рулевое, поэтому усилия, прикладываемые при езде, не влияют на управление, как в велосипеде обычной конструкции.

Этот многоместный велосипед, который недавно можно было видеть на лондонских улицах, предназначен для быстрой переброски пехоты. На нем размещаются двенадцать человек, которые могут везти с собой тележку с грузом или боеприпасами.



Британский армейский многоместный велосипед

Коммутационная машина

В «параллельном компьютере» новой конструкции вместо одного центрального процессора, как в обычной ЭВМ, используется сразу 65 536 процессоров. Достигаемое при этом быстроедействие в скором времени может коренным образом изменить ситуацию в нескольких областях, включая искусственный интеллект

У. ДЭНИЕЛ ХИЛЛИС

ЗА ПОСЛЕДНИЕ три десятилетия в цифровой вычислительной технике произошли разительные перемены. Вычислительные возможности машин, собиравшихся когда-то на электронных лампах и потому требовавших огромных залов, теперь доступны карманным устройствам. Сложные вычисления, на которые раньше уходило несколько дней, теперь выполняются за секунды. И все же некоторые основополагающие конструктивные принципы в цифровой вычислительной технике остались неизменными со времен машины ENIAC (одной из первых больших цифровых ЭВМ, созданных в конце 40-х годов в Пенсильванском университете). Большинство современных цифровых ЭВМ — от суперкомпьютеров до микропроцессоров — аналогично ENIAC в том, что память и центральный процессор являются в них отдельными устройствами. Чтобы выполнить то или иное вычисление, необходимые данные извлекаются из памяти, вводятся в центральный процессор, где над ними производится соответствующая операция, после чего снова возвращаются в память.

Машина, действующая по такому принципу, называется последовательной, поскольку операции в ней производятся поочередно, одна за другой. Принцип этот был взят на вооружение в основном по утилитарным причинам. На заре развития цифровой вычислительной техники устройство памяти и центральный процессор машины изготавливались из различных материалов. Поскольку память была дешевле процессоров, то желательно было максимально повысить эффективность работы процессорного устройства даже за счет снижения эффективности использования памяти. Именно это и дает последовательный принцип работы компьютера. Однако в настоящее время и память, и центральный процессор изготавлива-

ются из одних и тех же кремниевых кристаллов. В типичном современном компьютере более 90% кремниевых микросхем задействованы под память. В то время как процессор практически постоянно находится в работе, эта значительно большая часть компьютера простаивает без дела. При цене 1 млн. долл. за 1 м² обработанный, заключенный в корпуса кремний представляет собой слишком дорогостоящий ресурс, чтобы им так разбрасываться.

Очевидно, общее решение этой проблемы заключается в том, чтобы найти какой-то способ объединить работу процессорных элементов и памяти. Но как это сделать? Одно из возможных решений — воспользоваться большим количеством маленьких процессоров, работающих одновременно и снабженных каждый своей небольшой памятью. В такой системе, построенной по принципу параллельной обработки, и память, и процессорные устройства могут использоваться с высокой эффективностью. Именно этот подход я и мои коллеги применили при создании параллельного компьютера, названного нами коммутационной машиной*. Коммутационная машина состоит из 65 536 простых процессорных элементов. Каждый из этих процессоров значительно уступает по мощности центральному процессору типичного персонального компьютера, однако, работая вместе, они могут выполнять несколько миллиардов операций в секунду — скорость, которой обладают лишь самые быстроедействующие компьютеры из всех когда-либо созданных.

* В оригинале connection machine — буквально «машина соединений». Конструкция машины позволяет любому процессору связываться с любым другим, подобно абонентам телефонной станции, отсюда предлагаемый вариант названия — коммутационная машина. — Прим. перев.

И все же наиболее интересным свойством коммутационной машины является не ее быстроедействие, а гибкость в применении. Для определенных специфических применений были построены и другие параллельные компьютеры, большинство из которых отличаются очень высоким быстроедействием. Подобно людям, обладающим знаниями в какой-то одной узкой области, такие машины обычно становятся очень неуклюжим инструментом, когда их пытаются применять в областях, не связанных с их прямой специализацией. В противоположность этому коммутационная машина может работать на своей самой высокой скорости в широком диапазоне различных применений. Ключ к подобной гибкости, как это будет показано в статье, лежит в сети коммуникаций, позволяющей многочисленным процессорам обмениваться информацией способом, наиболее подходящим для задачи, решаемой в данный момент. Описываемая здесь коммутационная машина уже не является лишь опытным образцом. Около дюжины таких машин уже работают, и их применение начало изменять характер использования цифровой вычислительной техники для решения задач в области физики, обработки изображений, поиска текстов и даже искусственного интеллекта.

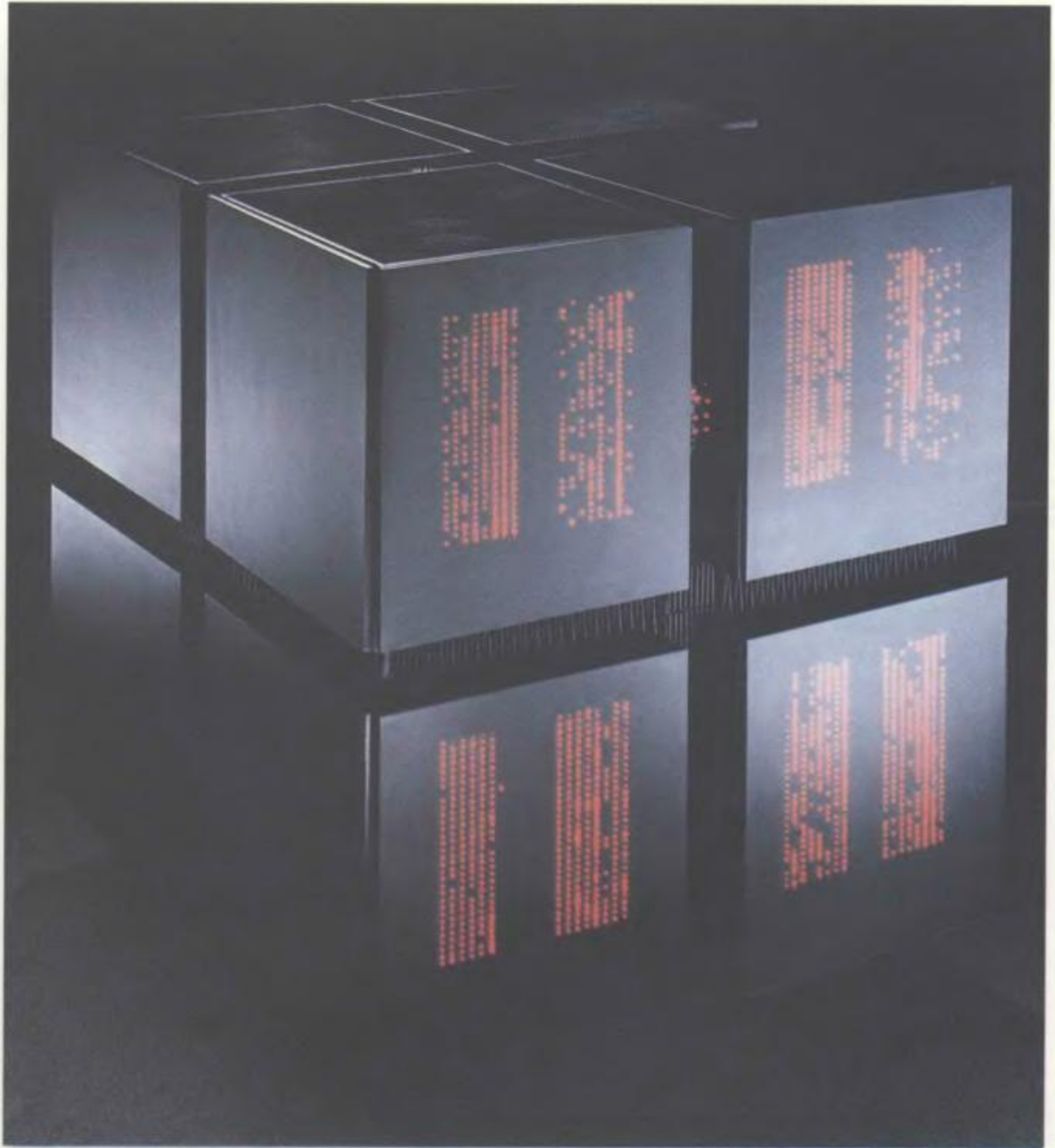
ЧТОБЫ ЛУЧШЕ понять преимущества параллельной обработки, попытаемся разобраться, в чем состоит различие между тем, как обрабатывает изображение обычный компьютер, и тем, как это делает человеческий мозг. Из пары двумерных изображений, формирующихся на сетчатке глаз, человек может (без видимых усилий) реконструировать трехмерную модель наблюдаемой сцены и поддерживать эту модель даже при быстром изменении ее двумерных изображений. Компьютер можно за-

программировать, чтобы решить какую-то часть этой задачи, но даже для самых быстродействующих машин потребуется время порядка нескольких часов, чтобы сделать то, что человеческий мозг делает за доли секунды (см. статью: Т. Поджио. Зрение у человека и машины, «В мире

науки», 1984, № 6). Мозг имеет преимущество, несмотря на тот факт, что его компоненты — нейроны — обладают быстродействием, в миллионы раз меньшим, чем транзисторы, на которых собираются компьютеры.

Почему же тогда мозг работает настолько быстрее компьютера? Систе-

ма зрения мозга понята еще не в полной мере, однако ясно, что в некоторых отделах мозга действует принцип параллельной обработки информации. Здесь мгновенно обрабатывается все изображение целиком. Компьютер же анализирует изображение последовательно, крошечными его час-



КОММУТАЦИОННАЯ МАШИНА — это куб с ребром 1,5 м, состоящий из 8 подкубов. Каждый подкуб состоит из 16 вертикально расположенных плат. На каждой плате установлены 32 интегральные микросхемы. Одна микросхема включает 16 процессоров, каждый с небольшой памятью. Красные лампочки на платах сигнализируют о состоянии

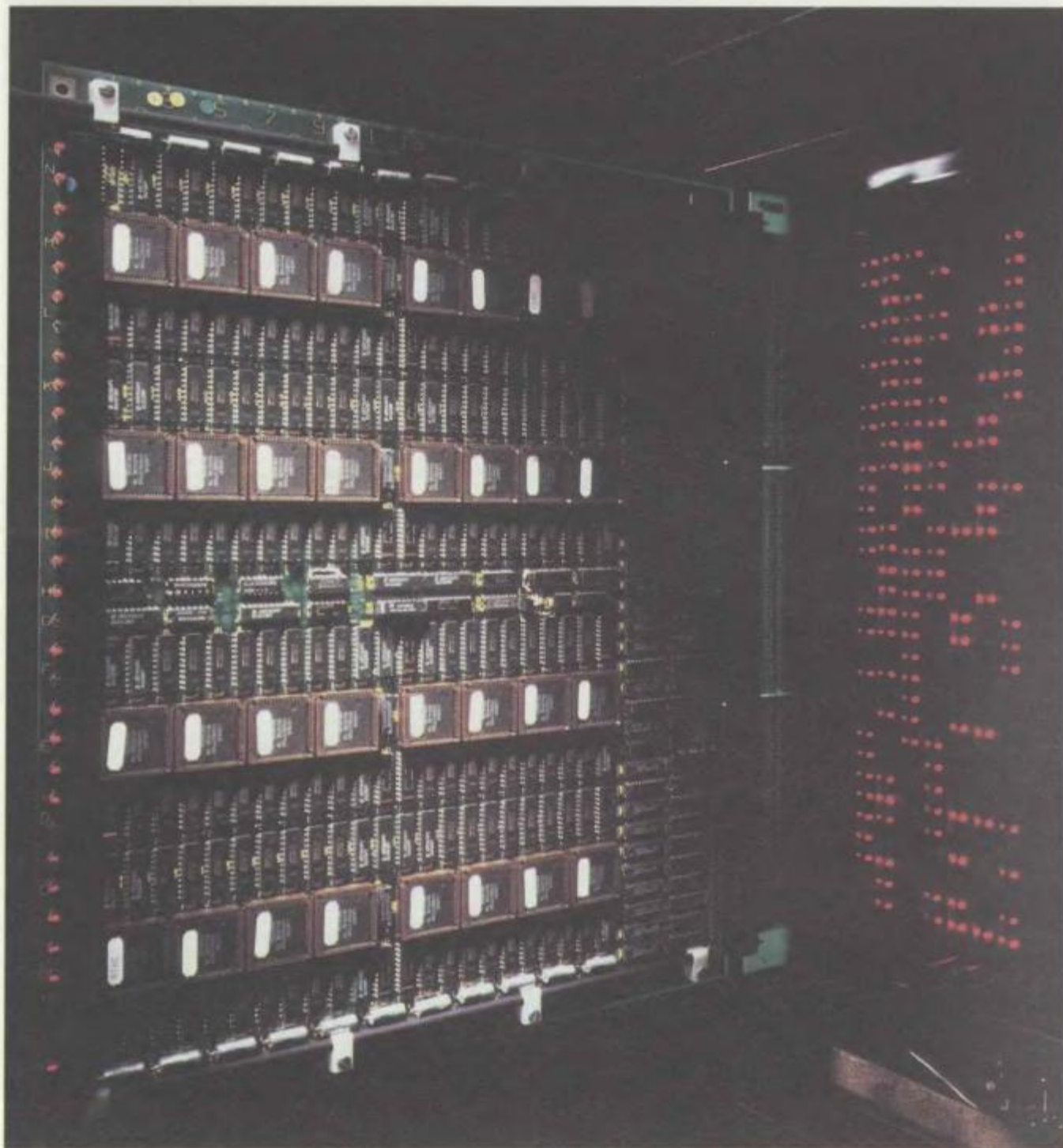
микросхем; по ним можно отыскать неисправность. Работая в параллель, 65 536 процессоров могут выполнять несколько миллиардов операций в секунду. Коммутационная машина относится к числу самых быстродействующих компьютеров.

тями, как будто он разглядывает его через небольшую замочную скважину. В компьютере изображение представляется в виде массива чисел, каждое из которых соответствует освещенности в данной точке. Типичным массивом подобного рода мог бы быть квадрат со стороной 512 точек. Компьютер традиционной архитектуры в каждый момент времени может выполнять операции лишь над

какой-то одной из 65 536 точек этого квадрата.

С другой стороны, коммутационная машина на каждую точку изображения отводит по одному процессору. Поскольку каждая операция может быть выполнена на всех точках одновременно, обработка всего изображения выполняется так же быстро, как и одной точки. Например, для того чтобы найти все точки изобра-

жения, освещенные ярче какого-то минимального уровня, машина с последовательным выполнением операций должна проверить 65 536 мельчайших элементов изображения по очереди, сравнивая яркость каждого из них с пороговым уровнем. Коммутационная машина выполняет это сравнение одновременно всеми 65 536 процессорами — каждый обрабатывает свой элемент изображения.



ПЛАТУ можно выдвинуть из машины, как книгу с полки. Квадратные элементы — это микросхемы, каждая с 16 процессорами. Прямоугольные элементы — это запомина-

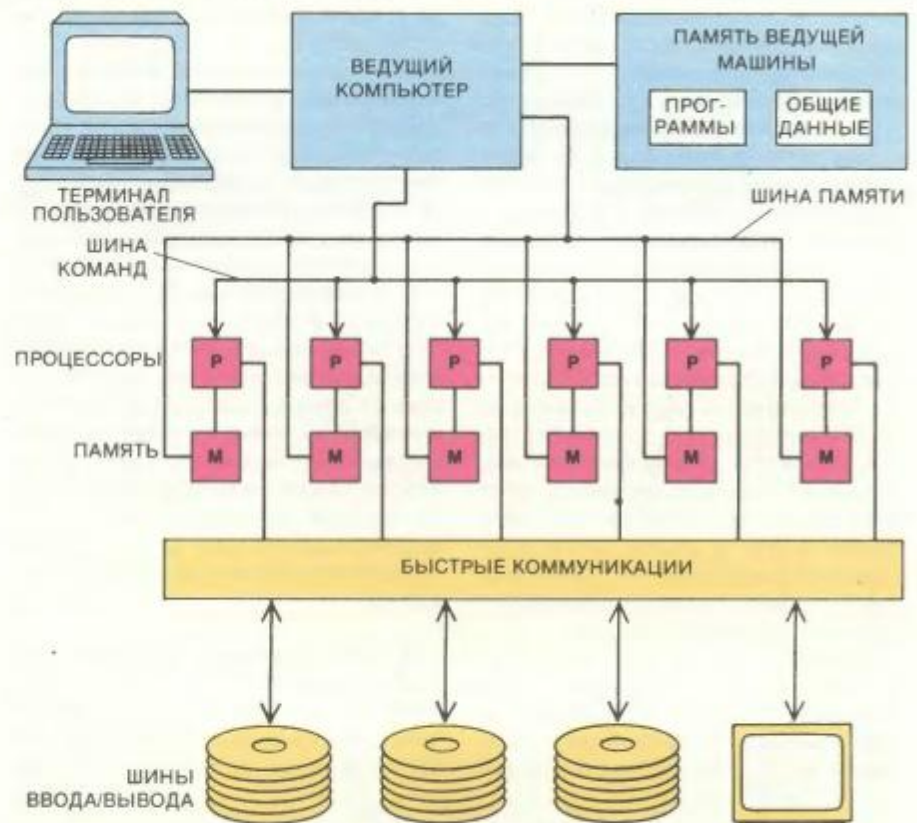
ющие устройства и коммутаторы, посредством которых обеспечивается связь между процессорами.

Операция сравнения с порогом наиболее проста, поскольку она может быть выполнена каждым процессором независимо от других. Более сложные вычисления требуют, чтобы процессоры обменивались информацией по ходу выполнения действия. Рассмотрим в качестве примера часто встречающуюся при обработке изображений операцию, называемую сверткой. Эта операция как бы размывает изображение, осредняя характеристики каждой точки с характеристиками ее соседей на двумерной решетке. (Свертка, аналогичная операциям, выполняемым зрительной системой человека, помогает растворить мелкие, несущественные детали изображения, с тем чтобы четче выделить наиболее значимые.)

Чтобы выполнить операцию свертки, каждый процессор должен прочесть по одному числу из процессоров, хранящих информацию о точках, расположенных справа, слева, сверху и снизу от данной точки. Другими словами, процессоры должны «общаться» друг с другом. Один из способов обеспечить подобные коммуникации состоит в том, чтобы соединить процессоры по схеме двумерной решетки. Поскольку в решетке каждый процессор будет непосредственно связан со своими ближайшими четырьмя соседями, такая схема коммутации как раз отвечает требованиям, предъявляемым операцией свертки. И действительно, процессорные узлы некоторых параллельных компьютеров, предназначенных для обработки изображений, собраны в двумерную решетку. Однако, хотя такое соединение удобно для свертки, оно не удобно для других операций.

Например, для вычисления средней яркости по всем точкам изображения наиболее удобную форму соединений дает структура, напоминающая перевернутое дерево. Средняя яркость изображения, содержащего 65 536 точек, может быть рассчитана путем вычисления сначала средней величины для каждой пары точек, затем средней величины для каждой пары пар и т. д. При таком пошаговом вычислении результирующую среднюю величину можно получить за 16 шагов. Последние несколько шагов вычисления требуют обмена информацией о точках изображения, далеко отстоящих друг от друга, поэтому двумерная решетка представляет собой не очень удобную структуру соединений.

ОБЩИЙ ВЫВОД, к которому можно прийти на основании рассмотренных примеров, состоит в том, что каждый тип вычислений, вообще го-



БЛОК-СХЕМА СИСТЕМЫ коммутационной машины; в ее состав входит обычный компьютер, выполняющий роль органа управления. Пользователь системы взаимодействует с этим компьютером на обычном языке программирования, несколько модифицированном для параллельного программирования. Однако, вместо того чтобы выполнять повторяющиеся операции по одной, по команде управляющего компьютера коммутационная машина выполняет эти операции параллельно. Результаты выводятся на различные периферийные устройства, в том числе на дисплей с высоким разрешением.

вора, требует своей собственной структуры соединений и что у каждого процессора может возникнуть необходимость связаться с любым другим процессором. Поэтому при разработке коммутационной машины мы выбрали такую структуру коммуникаций, при которой реализуется возможность связи одного процессора с любым другим. Достижимая таким образом коммуникационная гибкость позволяет программисту выбирать наиболее удобный алгоритм для решения каждой конкретной задачи, не беспокоясь об ограничениях, накладываемых структурой соединений в системе.

Основным многократно повторяющимся блоком коммутационной машины является интегральная микросхема, состоящая из 16 маленьких процессоров и устройства, управляющего адресацией сообщений. Каждому процессору отводится 4096 бит памяти. (Персональный компьютер обычно имеет 256 000 бит и более.) Все 16 процессоров располагаются на одном кристалле, и 32 таких кристалла-микросхемы устанавливаются на одной печатной плате. Всего в машине насчитывается 128 таких плат. Ма-

шина имеет форму куба, ребро которого равно 1,5 м. В целях упрощения диагностики неисправностей каждая микросхема соединена со световым индикатором на внешнем торце платы. Во время работы машины грани куба светятся узорами горящих лампочек.

Все 16 процессоров на одной микросхеме соединяются посредством переключателя, который обеспечивает возможность прямой связи любой пары процессоров. Чтобы реализовать прямую связь между любыми двумя из 65 536 процессоров системы, потребовалось бы более 2 млрд. проводников, что, конечно, совершенно нереально. Вместо этого имеющееся на каждой микросхеме специальное коммутирующее устройство соединено с 12 другими коммутаторами в системе, которые соединены в структуру, называемую булевым n -кубом. Такой n -куб является обобщенной версией обычного трехмерного куба и обладает некоторыми свойствами, прекрасно подходящими для сети коммуникаций между процессорами.

Полное математическое описание n -мерного куба выходит за рамки настоящей статьи, однако общий прин-

цип понять нетрудно. Обычный трехмерный куб можно представлять себе как член ряда, состоящего из «кубов» различной размерности. Например, отрезок прямой линии можно считать одномерным кубом, или «1-кубом». Соединяя два одномерных куба их вершинами — концами отрезков, мы получаем двумерный куб, или квадрат. Соединив два «2-куба» в их вершинах — углах квадратов, мы построим трехмерный куб — тело, которое, собственно, и называется кубом в обычном понимании этого слова. Аналогичным образом, если соединить вершины двух трехмерных кубов, получится четырехмерный куб, или «4-куб» (см. рисунок внизу). Этот процесс можно продолжать сколько угодно долго, и можно легко показать, что 12-куб имеет 2^{12} (4096) вершин — по одной на каждую микросхему коммутационной машины.

Такой булев n -куб представляет собой очень удобную структуру по нескольким причинам. Во-первых, ни один из процессоров системы, соединенной в 12-куб, не отстоит более чем

на 12 проводников ни от какого другого процессора, что значительно облегчает задачу создания эффективных коммуникаций в системе. Во-вторых, структура соединения в n -кубе хорошо согласуется с двоичной логикой компьютера. В цифровом компьютере все данные хранятся в виде цепочек битов, каждый из которых имеет значение либо 0, либо 1. Каждый куб в n -кубе имеет два подкуба; обозначим их 0 и 1. В результате такого представления каждая точка — вершина n -куба — имеет единственный, отличный от других адрес, задаваемый цепочкой из 12 двоичных цифр — битов. Первый бит указывает, какой из 11-кубов в 12-кубе содержит данную точку. Второй бит указывает на соответствующий 10-куб и т. д., пока адрес точки не будет полностью определен.

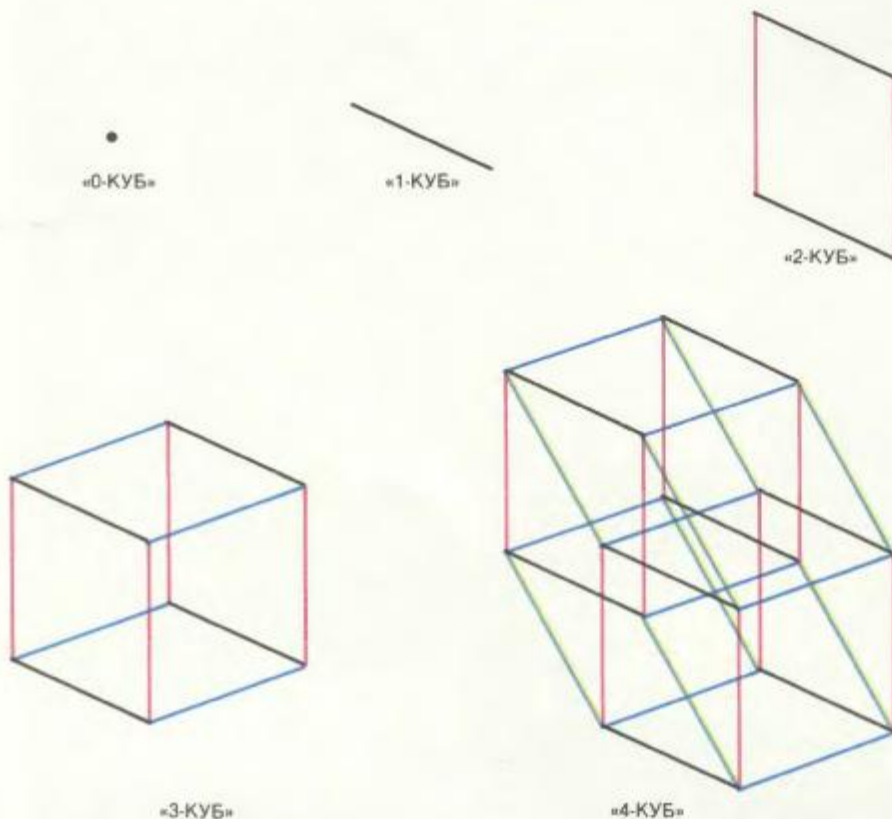
ЭТИМИ двоичными адресами можно воспользоваться для того, чтобы направлять сообщения в сеть 4096 микросхем коммутационной машины. Каждое сообщение в системе

сопровождается таким адресом. Получив сообщение, устройство, управляющее адресацией, анализирует адрес сообщений побитно, а затем направляет его следующему коммутирующему устройству на пути к адресату. Следующее устройство, получив сообщение, тоже анализирует адрес побитно и направляет сообщение дальше. Таким образом, не более чем за 12 шагов сообщение достигнет адресата.

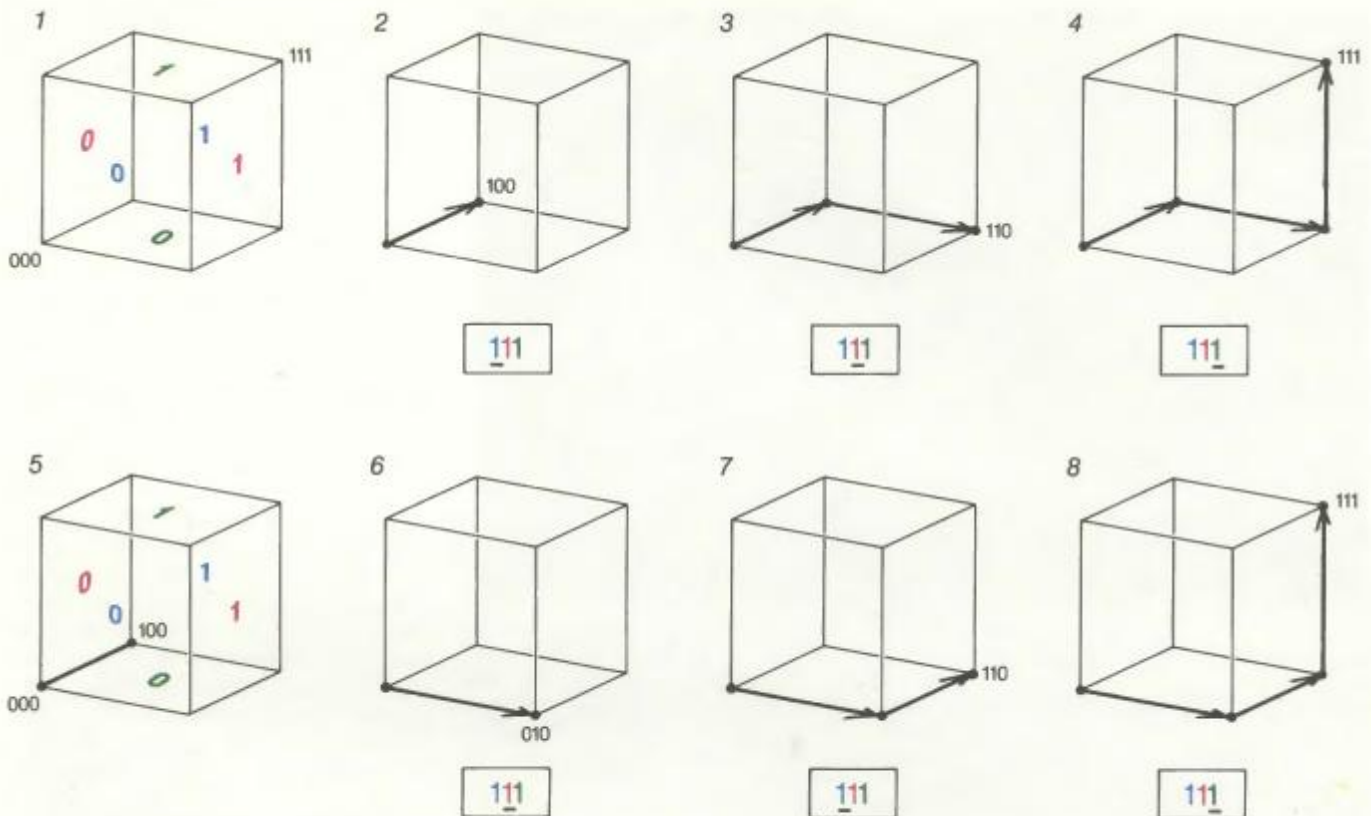
Описанная система коммуникаций обладает несколькими свойствами, повышающими ее быстродействие и делающими ее более гибкой. Одно из ценных свойств структуры n -куба состоит в том, что между любой парой процессоров есть сразу много одинаково эффективных путей коммуникации. Если один путь уже занят и находится в процессе передачи данных, коммутирующее устройство может выбрать альтернативный путь, просто поменяв порядок, в котором анализируются биты адреса (см. рисунок на с. 65).

У данной системы коммуникаций есть еще одно свойство, благодаря которому она становится очень гибкой. В некоторых ситуациях описанная сеть коммуникаций ведет себя подобно телефонной станции: она устанавливает соединение между двумя процессорами так, что они могут обмениваться информацией непрерывно и без помех со стороны других процессоров. Однако в сложных ситуациях сообщения могут быть настолько длинными и линии коммуникаций настолько занятыми, что коммутирующие устройства функционируют скорее как почтовое отделение связи, накапливая «пачки» информационных сообщений, которые должны быть разосланы позже. Такие решения принимаются в коммутирующих устройствах на основании анализа текущего состояния линий, требующихся для передачи сообщения.

Описанные свойства позволяют коммутационной машине устанавливать различные структуры связей в зависимости от решаемой в данный момент задачи. Очень важной особенностью системы является то, что подробности осуществляемого в ней механизма связи скрыты от пользователя, и ему нужно знать о булевом n -кубе не больше, чем простой абонент телефонной связи знает о механизме коммутаций на автоматической телефонной станции. (На самом деле в будущих версиях машины могут быть приняты другие структуры связей, и это не окажет никакого влияния на алгоритмы решения задач.) Программист взаимодействует с коммутационной машиной через посредника —



БУЛЕВ n -КУБ дает представление о топологии сети, связывающей процессоры коммутационной машины. Булев n -куб — это обобщенная версия обычного куба. Такие кубы могут быть построены во многих измерениях, причем каждый куб следующей размерности строится на основе куба предшествующей размерности. Точку можно считать кубом нулевой размерности, или «0-кубом». Соединив две точки, мы получаем «1-куб», или отрезок прямой. Соединение пары «2-кубов» (квадратов) дает обычный трехмерный куб. Соединенные в их вершинах два таких куба образуют «4-куб». Продолжив этот процесс, можно построить «12-куб» с 4096 вершинами. 4096 микросхем коммутационной машины соединены в форме 12-куба.



АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ПУТИ коммуникации между микросхемами, соединенными в n -куб. Здесь показаны альтернативные связи в трехмерном кубе; тот же принцип применим и к структуре 12-куба коммутационной машины. Каждой вершине n -куба (микросхемы расположены в вершинах) может соответствовать единственный, отличный от других адрес. Трехмерный куб состоит из трех пар плоских граней. Обозначим грани пары как 0 и 1, тогда любую вершину можно указать, задав трехбитовый адрес в соответствии с тем, какой член каждой пары плоскостей содержит вершину (1). Сообщения направляются коммутирующими устройствами, находящимися в каждой вершине. Они считы-

вают адрес и обрабатывают его побитно. Для примера выбрано направление от 000 к 111. Коммутирующее устройство считывает первый бит адреса и посылает сообщение в точку 100 (2). В этой точке анализируется второй бит (3). В точке 110 считывается третий бит и сообщение достигает адресата (4). Однако в тот момент, когда нужно послать сообщение, линия между точками 000 и 100 может оказаться занятой (5). В этом случае коммутирующее устройство просто считывает сначала второй разряд адреса и выбирает альтернативный путь (6). Затем анализируются первый и третий биты и сообщение приходит точно по адресу.

обычный компьютер традиционной архитектуры, работающий под управлением стандартной операционной системы и со стандартными языками программирования. Процессоры коммутационной машины связаны с ведущей машиной подобно тому, как обычное запоминающее устройство связано с центральным процессором.

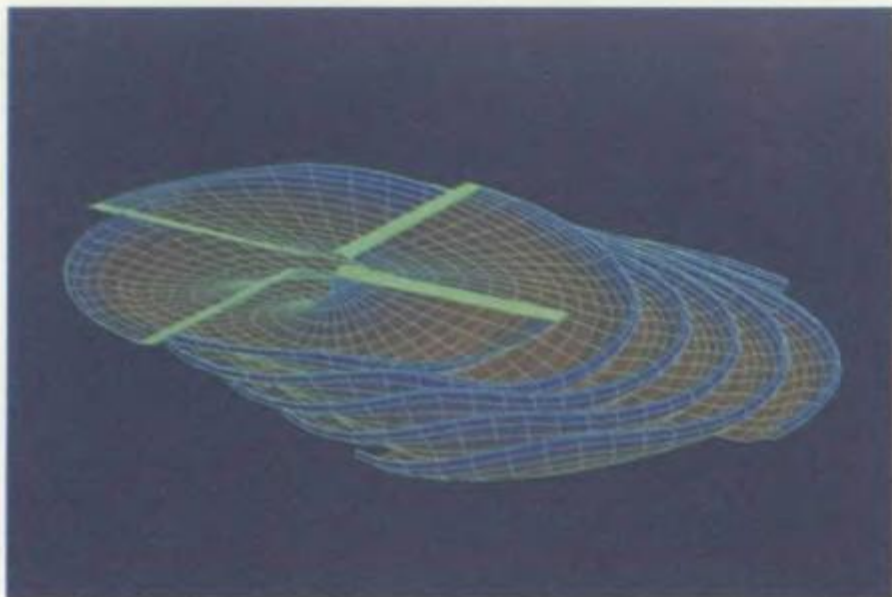
Действительно, в некотором смысле коммутационная машина является памятью ведущего компьютера. Благодаря такому отношению между этими двумя машинами становится возможной простая интеграция параллельных вычислений и существующего программного обеспечения. Программы, написанные для коммутационной машины, удивительно мало отличаются от традиционных программ. Основное различие состоит в том, что многие операции, обычно реализуемые посредством итерационных циклов, заменяются одной командой, вызывающей одновременное

срабатывание многочисленных процессоров коммутационной машины. При этом устройства, направляющие сообщения, автоматически устанавливают необходимые пути коммуникации.

Следует также отметить, что в системе нигде не используется никакая экзотическая аппаратура. При разработке коммутационной машины мы выбрали хорошо проверенные технологии. Мы сделали это в целях простоты и надежности системы. Отдельные процессоры сами по себе являются относительно менее быстродействующими по сравнению с современными сверхбыстродействующими компьютерами. Заказные микросхемы произведены на базе той же технологии, которая применяется в настоящее время для производства персональных компьютеров и карманных калькуляторов. Однако собранные воедино все 65 536 процессоров делают машину очень быстрой. Во многих приложениях быстро-

действие системы может достигать более 2 млрд. операций в секунду, а для некоторых особенно выгодных приложений оно превышает 10 млрд. операций в секунду, что приблизительно в 1000 раз превышает быстродействие обычной крупной универсальной ЭВМ.

РАССМАТРИВАЯ быстродействие машины в несколько другом аспекте, посмотрим, как она выполняет арифметические операции над числами с плавающей запятой. Скорость выполнения этих операций обычно рассматривается как стандартный критерий мощности машины в научных приложениях, требующих интенсивных вычислений. Под арифметической операцией с плавающей запятой понимается умножение или деление двух чисел в экспоненциальном представлении, например таких, как $1,5 \cdot 10^2$. Современный суперкомпьютер может выполнять несколько сот миллионов таких опера-



ВИНТ ВЕРТОЛЕТА создает сложные воздушные потоки, хорошо моделируемые коммутационной машиной. Отдельные составные элементы изображения соответствуют потокам в небольших областях. Расчет потока в каждой области производится отдельным процессором. Взаимодействие между областями, определяющее характер общего потока, рассчитывается параллельно. Такие особенности потока, как завихрения в нижней части, важны для определения сил, действующих на лопасти винта. Программа, моделирующая обтекание винта, разработана Т. Эголом из исследовательского центра United Technologies Research Center и коллегой автора статьи Дж. Массаром.

ций в секунду. Коммутационная машина достигает быстродействия порядка 2500 млн. операций с плавающей запятой.

В каких же целях используется эта значительная вычислительная мощность? Как уже говорилось, первоначально машина применялась для некоторых задач обработки изображений. В других приложениях использовался параллелизм, присущий природе некоторых физических процессов. Одним из примеров того, как коммутационная машина может отражать природный параллелизм, служит техническая задача расчета обтекания воздухом крыла самолета или винта вертолета.

В природе общий характер воздушного течения формируется как результат бесчисленных актов взаимодействия молекул, сталкивающихся друг с другом и с поверхностью крыла. Инженер, проводящий расчеты (он интересуется лишь общей картиной течения, а не отдельными молекулярными взаимодействиями), пользуется упрощенной крупномасштабной моделью, состоящей из системы дифференциальных уравнений в частных производных. Однако уравнения эти справедливы одновременно, или в параллель: все они учитывают изменения давления в маленьких объемах воздуха и в сумме дают общую картину течения. Поскольку уравнения «работают» параллельно, они могут

быстро и эффективно решаться коммутационной машиной.

Однако, располагая параллельным компьютером, мы можем выйти за установленные уравнениями пределы и подойти ближе к пониманию физической реальности. Крупномасштабные динамические процессы в жидкости в основном не зависят от физических свойств ее отдельных частиц. Более того, качественное поведение жидкости не меняется, если значительно уменьшить число составляющих ее частиц. Следовательно, можно достаточно точно воссоздать крупномасштабный характер течения, проанализировав столкновения между несколькими десятками миллионов простых обобщенных частиц.

С. Волфрам из Центра по изучению сложных систем при Иллинойском университете в Эрбана-Шампейне и мой коллега Дж. Салем воспользовались преимуществами этого метода для моделирования обтекания жидкостью сложных поверхностей. Их модель учитывала поведение всего нескольких десятков миллионов частиц, причем приближение к реальным частицам было довольно грубым: допускалось, что каждая частица может двигаться лишь в шести направлениях при целочисленных значениях скорости. Тем не менее эта система способна достаточно хорошо моделировать течение жидкости.

Простейшим и наиболее логичным

подходом к расчету течения жидкости был бы такой, при котором каждой частице соответствовал свой собственный процессор. Однако в типичной модели насчитывается около 8 млн. «частиц», в то время как коммутационная машина при всех ее огромных возможностях располагает лишь 65 тыс. процессоров. Решение этой и других аналогичных проблем моделирования заключается в том, чтобы заставить каждый процессор действовать так, как если бы он представлял собой целую цепочку различных процессоров, каждый из которых моделировал бы поведение одной частицы. Подробности реализации этого приема опять остаются скрытыми от программиста, который просто указывает, сколько «виртуальных процессоров» требуется для модели. Остальное — это уже дело аппаратных средств и специального математического обеспечения. Разумеется, если каждый процессор должен по очереди моделировать работу 250 процессоров, то вычисления займут в 250 раз больше времени, чем в случае, когда на каждую частицу приходится по одному реальному процессору.

Многие интересные приложения коммутационной машины не связаны с большим объемом арифметических вычислений. Мои коллеги Б. Кале, К. Стэнфилл и Д. Уолтц использовали параллельный принцип работы компьютера для поиска нужных документов в большом массиве. Их идея заключается в том, чтобы запрограммировать каждый процессор на сравнение одного документа из большой базы данных с «поисковым образом» — наиболее представительным фрагментом того документа, который нужно отыскать. После того как это сравнение проделано, процессоры обмениваются информацией и ранжируют документы согласно тому, насколько хорошо они соответствуют поисковому образу.

Сравнение двух произвольных отрывков текста, чтобы определить, насколько они соответствуют друг другу, задача далеко не простая. Подсчет совпадающих слов в обоих фрагментах ничего не дает, поскольку результаты такого подсчета засоряются предложениями и артиклями, которые практически не несут никакой смысловой нагрузки. Поэтому информационно-поисковая система пользуется словарем и некоторыми грамматическими правилами, позволяющими учитывать в анализируемых фрагментах фразы, отражающие их смысл. Каждому процессору отводится свой, сжатый таким образом фрагмент текста, а поисковый образ сообщает-ся всем процессорам сети.

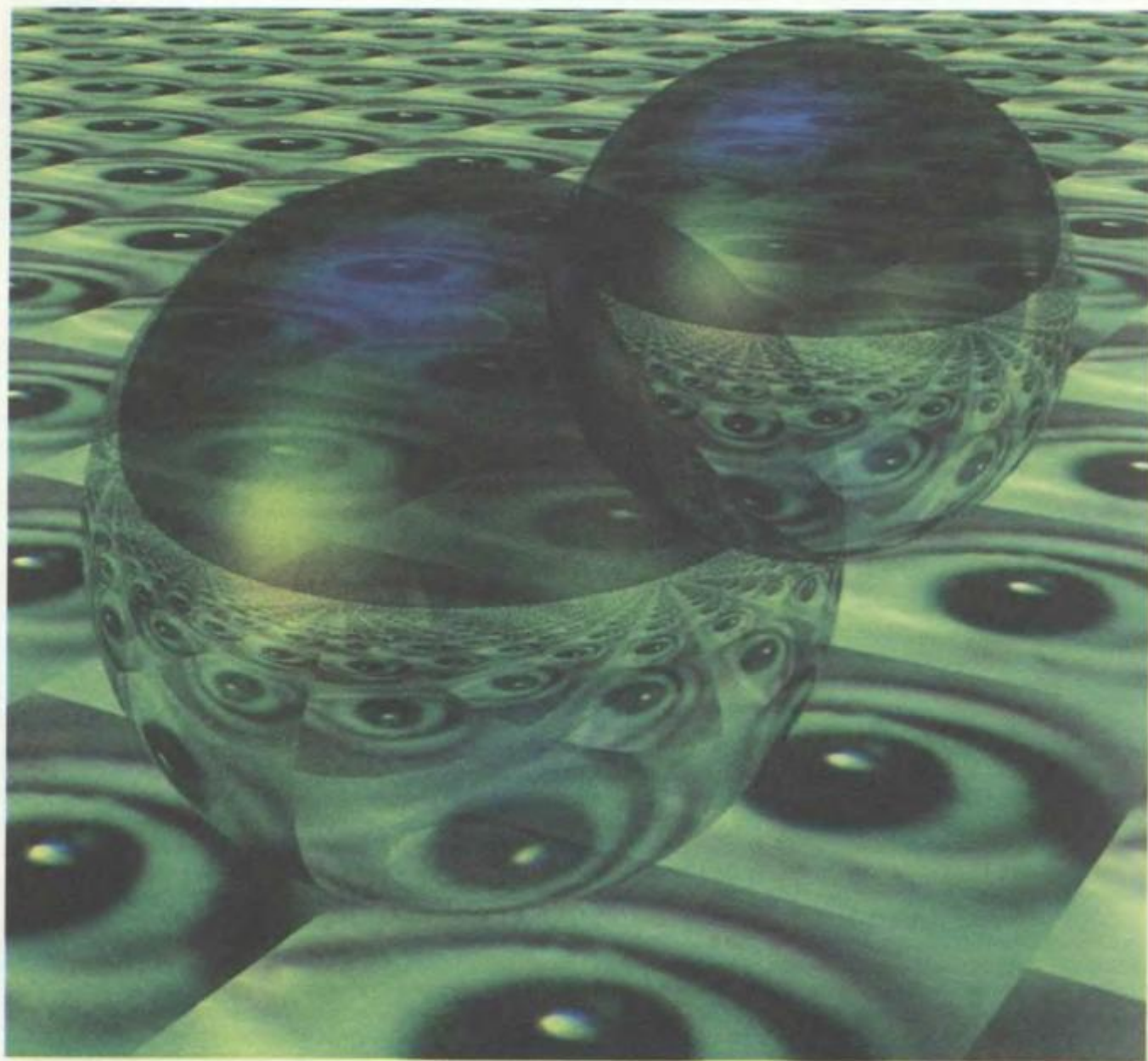
ТЕПЕРЬ процесс сравнения уже относительно несложен, и, поскольку одновременно проверяется 65 536 фрагментов, вся база данных может быть просмотрена почти мгновенно. Ранжирование фрагментов по степени сходства с поисковым образом — более трудная операция, так как требует довольно сложного взаимодействия процессоров между собой. И все же при параллельной работе это может быть сделано за время около 50 мс. В результате несколько документов с высокой степенью релевантности предлагаются пользователю, который на основе анализа этих документов может выбрать новый поис-

ковый образ. (И наоборот, фрагменты, не имеющие никакого сходства с отыскиваемым текстом, могут послужить основой для негативных поисковых образов.) Поскольку все сравнения производятся одновременно, весь массив текстов проверяется на соответствие поисковому образу большими порциями за сравнительно короткое время.

Программа поиска текстов может работать, не используя ничего, что хоть сколько-нибудь позволяло бы понять содержание текстов. Понимание того, что содержат в себе тексты, потребовало бы значительных знаний о мире, которые не были заложены в

информационно-поисковую систему. Одна из самых привлекательных перспектив применения коммутационной машины как раз и заключается в написании программ, включающих в себя знания и способных имитировать некоторые процессы умственной деятельности человека.

Как и восстановление по двумерным изображениям трехмерной модели мира, рассуждения на уровне «здравого смысла» не требуют никаких видимых усилий; человеческий мозг справляется с этими задачами легко и быстро. Например, всякий ребенок способен вывести логическое заключение о том, что любимая ма-



КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА — одна из областей, где параллельные машины могут применяться с наибольшим успехом. Приведенная иллюстрация была получена с помощью так называемого метода трассирования лучей. Каждому процессору коммутационной машины отведен свой пиксел (элемент изображения). Процессоры просле-

живают за лучами света, отражающимися от воображаемых предметов (здесь — от стеклянных шаров и изображений глаз). Пути, проходимые лучами, определяют результирующую окраску каждого пиксела. Изображение получено К. Симсом из Массачусетского технологического института.

мина ваза разобьется, если ее уронить (признаки мгновенного понимания этого факта ясно видны на его лице). Он в состоянии заключить, что ваза скорее подобна тарелке или камню, которые падают, нежели птице или воздушному шару, которые не падают. Этот вывод может быть сделан безошибочно, даже если, например, ваза имеет сферическую форму, такую же как у воздушного шарика.

Очевидно, что человек делает подобные умозаключения легче и точнее по мере того, как у него накапливаются знания об окружающем мире. Для компьютеров традиционной архитектуры справедливо как раз обратное. По мере того как расширяется система понятий, число возможных отношений между ними растет еще быстрее. Поскольку машина с последовательным принципом работы может анализировать эти отношения только по одному, процесс рассуждения очень сильно замедляется с ростом количества знаний, которыми располагает система. Следует отметить, что именно медлительность обычных компьютеров в логических рассуждениях была одной из главных причин, стимулировавших создание коммутационной машины.

В КОНЦЕ 70-х годов, будучи аспирантом Массачусетского технологического института, я заинтересовался проблемой моделирования на компьютере логических рассуждений на уровне здравого смысла. Я считал, что затруднения, возникающие при решении этой проблемы на компьютерах с последовательным принципом работы и обусловленные их ограниченной способностью делать простые дедуктивные умозаключения, можно разрешить с помощью машины, которая умела бы анализировать все возможные связи между понятиями параллельно, т. е. более одной связи одновременно. (На эту идею меня натолкнула работа М. Минского из МТИ и С. Фалмена из Университета Карнеги — Меллона.) Это было в 1978 г. К 1985 г. развитие этой идеи достигло стадии разработки опытного образца новой машины на средства Агентства по управлению перспективными исследованиями в области обороны США, предложившего купить первую машину. К этому времени я уже покинул МТИ и принял участие в создании компании Thinking Machine Corporation («Думающие машины»), которая занимается производством и сбытом коммутационной машины.

Теперь, когда коммутационная машина стала физической реальностью, исследователи, работающие в обла-

сти искусственного интеллекта, пользуются ею для решения задач логического вывода на уровне здравого смысла. Суть применяемого ими подхода состоит в том, чтобы сопоставить каждому понятию свой процессор. Тогда связями, устанавливаемыми между процессорами, можно воспользоваться как представлениями многочисленных отношений между простыми понятиями. В описанном выше простом примере один процессор мог бы представлять, скажем, понятие «ваза», другой — «мама», а третий — «любит». Связи между этими тремя процессорами воплотят знание факта о том, что «мама любит вазу». Другие связи могут представлять форму вазы, ее историю и материал, из которого она сделана. Когда нужно решить, что случится, если уронить вазу, соответствующие связи могут отыскиваться в параллельном режиме.

Поскольку уже сейчас в эксплуатации находится около десятка коммутационных машин, можно ожидать, что в скором времени для этой машины появятся новые программы. Вероятно, многие из них будут относиться к четырем уже упомянутым областям: обработке изображений, моделированию физических процессов, поиску информации и искусственному интеллекту. Обучаясь работе с коммутационной машиной, мы сталкиваемся с одной из самых трудных и интересных проблем — как научиться думать в категориях параллельных процессов. Программисты накопили значительный опыт в программировании для машин с последовательным режимом работы и успешно справляются со своей работой. Обучение программированию для машин с параллельным режимом требует иного мышления, совершенно непохожего на то, к которому мы привыкли.

По сравнению с некоторыми другими типами компьютеров с параллельным принципом работы коммутационная машина ставит перед нами значительно более серьезные проблемы. Не следует думать, что коммутационная машина является единственной в своем роде. На самом деле уже существует много различных конструкций подобных машин, находящихся на разных стадиях практической реализации. Все эти конструкции можно разбить на два широких класса — «крупнозернистые» и «мелкозернистые». Крупнозернистые машины состоят из сравнительно малого числа процессоров, каждый из которых обладает относительно большой вычислительной мощностью, в то время как мелкозернистые машины объединяют в себе большое количество про-

цессоров малой мощности.

Эти два класса параллельных компьютеров образуют спектр, на одном конце которого находится обычный последовательный компьютер с минимальным количеством процессоров, т. е. всего одним. На другом конце спектра находятся конструкции, подобные коммутационной машине, включающей в себя очень большое число маленьких процессоров. И хотя некоторые весьма авторитетные исследователи и отдельные фирмы в своих разработках отдают предпочтение крупнозернистым машинам, лично я придерживаюсь мнения, что в конечном итоге наиболее плодотворной окажется мелкозернистая конструкция. В то же время она и наиболее далека от сложившихся у нас представлений о программировании.

СОСТАВЛЯЯ программу для крупнозернистой машины, можно придерживаться понятий и приемов, мало отличающихся от тех, которыми пользуются при программировании последовательных компьютеров. Проблемы возникают при попытках координировать работу программ. В то же время при составлении той или иной программы для коммутационной машины мы сталкиваемся уже с проблемами и возможностями совершенно иного рода. Чтобы в полной мере использовать потенциальные возможности машины, необходимо пересмотреть наши подходы к вычислениям, чему мы как программисты только начали учиться. Этот процесс обучения новым подходам будет, несомненно, и трудным, и плодотворным.

В этой связи нужно отметить и тот факт, что коммутационную машину можно расширить, придав ей значительно большую вычислительную мощность без каких-либо фундаментальных изменений в конструкции. В большинстве приложений, на которые ориентирована машина, можно с успехом воспользоваться компьютерами, значительно большими по сравнению с нынешней моделью коммутационной машины. По этой причине конструкция машины с самого начала была выбрана такой, чтобы в последующем можно было намного увеличить количество ее процессоров. Коммутационная машина расширится просто путем добавления процессоров, памяти и коммуникационных устройств к существующей модели.

В качестве крайнего примера представим себе параллельную машину, состоящую из 1 млрд. процессоров. Эта машина, возможно, сохранит некоторые свойства коммутационной машины, однако при ее создании, не-

сомненно, придется решать много новых проблем. Если строить ее по современной технологии, то машина с 1 млрд. процессоров по размерам будет такой же, как дом, а ее стоимость в 20 раз превысит стоимость самого мощного современного компьютера. Однако она сможет достичь быстродействия в 100 млн. млн. (10^{14}) операций в секунду, что на несколько порядков величины превосходит вычислительную мощность всех современных суперкомпьютеров вместе взятых.

При создании подобной вычислительной фабрики возникнут, конечно, свои технические проблемы, но они разрешимы. Настоящие проблемы, связанные с этой машиной, относятся скорее к сфере нашего воображения — как воспользоваться такой вычислительной мощностью? Располагая ею, можно будет решать более сложные задачи из тех областей, о которых уже шла речь, но все же в каком-то смысле эти задачи тривиальны. Приложения, действительно стоящие машины с 1 млрд. процессоров, потребуют принципиально иных подходов

к вычислительным процессам.

Параллельная машина с 1 млрд. процессоров может послужить основой вычислительного центра, аналогичного современным теплоэлектроцентралям. Подобно тому как теплоэлектроцентраль, сжигая уголь, производит электроэнергию, подаваемую по проводам к индивидуальным потребителям, огромный параллельный компьютер может снабдить вычислительной мощностью целый «город» роботов и автоматизированных рабочих мест. Конструкция параллельной машины позволит многим пользователям потреблять эту вычислительную мощность по частям для решения небольших задач, в то время как целиком она будет применяться лишь к наиболее крупным задачам. Конечно, такая картина выглядит несколько утопично (по крайней мере на данный момент), но она ни в коем случае не является неосуществимой, а это — залог тех глубоких перемен, которые в конечном итоге принесет параллельный принцип вычислений.

финансирования этой программы, который был сразу же отклонен подкомиссией сената. В результате было заморожено 27,5 млн. долл. в новых отчислениях и 35 млн. долл. в пересмотренных фондах, предназначенных для EOSAT в 1987 г. 5 января 1987 г. строительство аппаратов «Ландсат-6» и «Ландсат-7» было остановлено, а несколько сот рабочих уволено или переведено на другие работы.

Проект пересмотренного финансового плана, представленный недавно НУИОА, предусматривает расходы на строительство второго спутника и не выходит за рамки бюджета, предложенного правительством на следующие 2 года. Если план будет утвержден ОУБ, а затем конгрессом, это приведет к отсрочке запуска спутника «Ландсат-6» до сентября 1990 г. (первоначально запланированного на декабрь 1988 г.), а спутника «Ландсат-7» до июня 1993 г. Окончательное решение должно было быть принято до 1 июля 1987 г.

Некоторые представители правительства сомневаются в целесообразности коммерческой программы «Ландсат». Существует также расхождение во мнении относительно эффективности EOSAT в «сбыте» данных, полученных со спутников «Ландсат-4» и «Ландсат-5», которые все еще действуют на орбите, несмотря на то, что «отработали» свой срок. Темпы расширения рынка данных «Ландсат» оказались ниже, чем предполагалось. В 1986 г. доходы EOSAT составили 15,3 млн. долл., т.е. всего две трети того, что предполагалось первоначально. Кроме того, ОУБ исключило возможность для федеральных управлений (на которые приходится более 60% спроса данных на внутреннем рынке) заключать договоры с EOSAT в ближайшем будущем.

Согласно одной из точек зрения, маневрирование в конгрессе в отношении программы «Ландсат» имеет целью заставить министерство обороны — главного пользователя данных — предложить (бесплатно или с субсидиями) свои ракеты-носители для осуществления программы «Ландсат». Свертывание этой программы вызовет серьезную озабоченность у министерства обороны, где эта программа рассматривается как важный инструмент внешней политики. Строительство станций для приема данных со спутников «Ландсат» ведется в настоящее время в нескольких стратегически важных районах, включая Исламабад и Эр-Рияд, причем сооружение каждой из них обойдется местному правительству в 10 млн. долл.

Наука и общество

В трудном положении

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ недавно принятой в США независимой программы запуска исследовательских коммерческих спутников дистанционного управления, вероятно, будет отложено на 2 года, поскольку правительство пока не выполнило своих обязательств перед компанией EOSAT (совместным предприятием компаний Hughes Aircraft и корпорации RCA), разработавшей эту программу. По мнению Ч. П. Уильямса, президента EOSAT, эта задержка приведет к тому, что потенциальные пользователи спутниковых данных «попадут в руки» конкурирующей французской фирмы SPOT-Image и японского технологического центра Remote Sensing Technology.

В 1985 г. министерство финансов США обязалось в соответствии с контрактом выделить компании EOSAT 250 млн. долл. на осуществление программы исследований с помощью спутников «Ландсат-6» и «Ландсат-7». Хотя конгресс одобрил этот план, до сих пор EOSAT было выделено всего 90 млн. долл., что

обусловлено стремлением правительства прекратить финансирование программы «Ландсат». В результате катастрофы с «Челленджером» эта программа лишилась готового средства вывода аппаратов на орбиту, что привело к значительному увеличению стоимости запуска спутников.

Работы по программе «Ландсат» начали проводиться в 1979 г., а выделенная ей сумма в 250 млн. долл. была утверждена бывшим директором отдела управления и бюджета (ОУБ) Д. Стокманом, однако при новом правительстве она лишилась поддержки Д. Ригана — бывшего главы канцелярии Белого дома — и Дж. Миллера III, нынешнего директора ОУБ. Еще не успели высохнуть чернила на контракте EOSAT 1985 г., как ОУБ предложил снизить финансирование до нуля. Как отметил У. Д. Николс — председатель исполнительного комитета EOSAT, — «правительство предало программу».

В прошлом году Национальное управление по исследованию океана и атмосферы (НУИОА), контролирующее программу «Ландсат», представило на рассмотрение конгрессу план

Рождение программы разработки бактериологического оружия в США

Недавно рассекреченные правительственные документы проливают свет на то, как в США начинались исследования, связанные с разработкой бактериологического оружия. Осуществление этой программы, относительно которой сейчас возникли острые дискуссии, начиналось с создания секретных лабораторий во время второй мировой войны

БАРТОН ДЖ. БЕРНСТЕЙН

«К ЧЕМУ ТАКАЯ секретность в борьбе с насекомыми—вредителями?» — спросил в недоумении Франклин Д. Рузвельт своего специального помощника Уэйна Коя, рассматривая 14 июля 1943 г. просьбу министерства сельского хозяйства выделить 405 тыс. долл. на исследования поражения растений насекомыми—вредителями и болезнями. К тому времени США уже полтора года участвовали во второй мировой войне. Президенту было известно лишь то, что бюджетное бюро ничего не знает об этой программе и что военное министерство предписало министерству сельского хозяйства не разглашать о ней сведений.

Рузвельт поручил Коя узнать о тайнственном предприятии. Через два дня тот доложил ему, что для секретности есть основания и что о самой программе президенту лучше расскажет человек по имени Джордж У. Мерк. Мерк не был военным, но по заданию военного министерства выполнял исследования, связанные с разработкой бактериологического оружия.

По сравнению с манхаттенским проектом стоимостью 2 млрд. долл., приведшим к созданию атомной бомбы, программа исследований по бактериологическому оружию во время второй мировой войны может показаться мелкомасштабной. В осуществлении этой программы стоимостью 60 млн. долл. (с учетом затрат на строительство) принимали участие около 4 тыс. человек, включая уче-

ных. Не удивительно, что президент мог забыть об участии министерства сельского хозяйства в данной программе, контролируемой химической службой военного министерства.

Ни Рузвельту, ни его преемнику Гарри С. Трумэну не пришлось принимать решения о применении бактериологического оружия. Однако с окончанием второй мировой войны разработка этого оружия не прекратилась. В течение многих лет в США продолжались исследования в этой области, в последнее же время вновь возникла заинтересованность в их финансировании: ассигнования на разработку бактериологического оружия, которые были минимальными при Никсоне, Форде и Картере, в прошлом году снова достигли 60 млн. долл.

В сентябре прошлого года состоялась конференция многих стран по вопросу о соблюдении Конвенции 1972 г. о запрещении разработки, производства и накопления запасов бактериологического (биологического) и токсинного оружия и об их уничтожении. Эту Конвенцию подписали как США, так и СССР, но США обвиняли Советский Союз в том, что он несколько раз ее нарушал. Учитывая противоречивый характер американских утверждений, нежелание Советского Союза внести ясность по этому вопросу и споры сторон относительно деятельности каждой из них, могут возникнуть трудности в отношении Конвенции 1972 г.* В апреле нынешнего года, после ряда неофициальных контактов, ученые из обеих стран приняли участие во встрече в

Женеве, чтобы попытаться выработать приемлемые для всех сторон меры по проверке соблюдения Конвенции.

В связи с этим представляется целесообразным проанализировать, как начиналось создание в США бактериологического оружия, а также благодаря каким факторам оно не было применено американцами во второй мировой войне. На основании 100 ключевых документов мне удалось

* На конференции 1986 г., о которой говорит автор статьи, советская делегация убедительно доказала, что «озабоченность» в этой связи, проявляемая одними только США, является полностью беспочвенной и надуманной. Многие другие делегации указали, что необоснованные утверждения только подрывают авторитет Конвенции 1972 г. Именно благодаря желанию СССР «внести ясность по этому вопросу» на конференции в конечном счете восторжествовал конструктивный дух и в итоговый документ была включена совместно разработанная делегациями СССР и США формула о «применении государствами — участниками позитивного подхода к вопросам соблюдения» (Конвенции), а также принято решение о созыве специального совещания научных и технических экспертов для выработки условий обмена информацией с целью предотвращения возникновения неясностей или подозрений. Результаты могли бы быть и большими, если бы США не помешали принятию конференцией предложения СССР о проведении специальной конференции по вопросу разработки и утверждения дополнительного протокола к Конвенции 1972 г. по мерам укрепления механизма контроля за ее соблюдением. — Прим. ред.

восстановить общую картину событий, разворачивавшихся вокруг разработки бактериологического оружия во время войны. Эти документы взяты из тысяч американских источников, рассекреченных по специальному требованию, а также из некогда секретных архивов Великобритании.

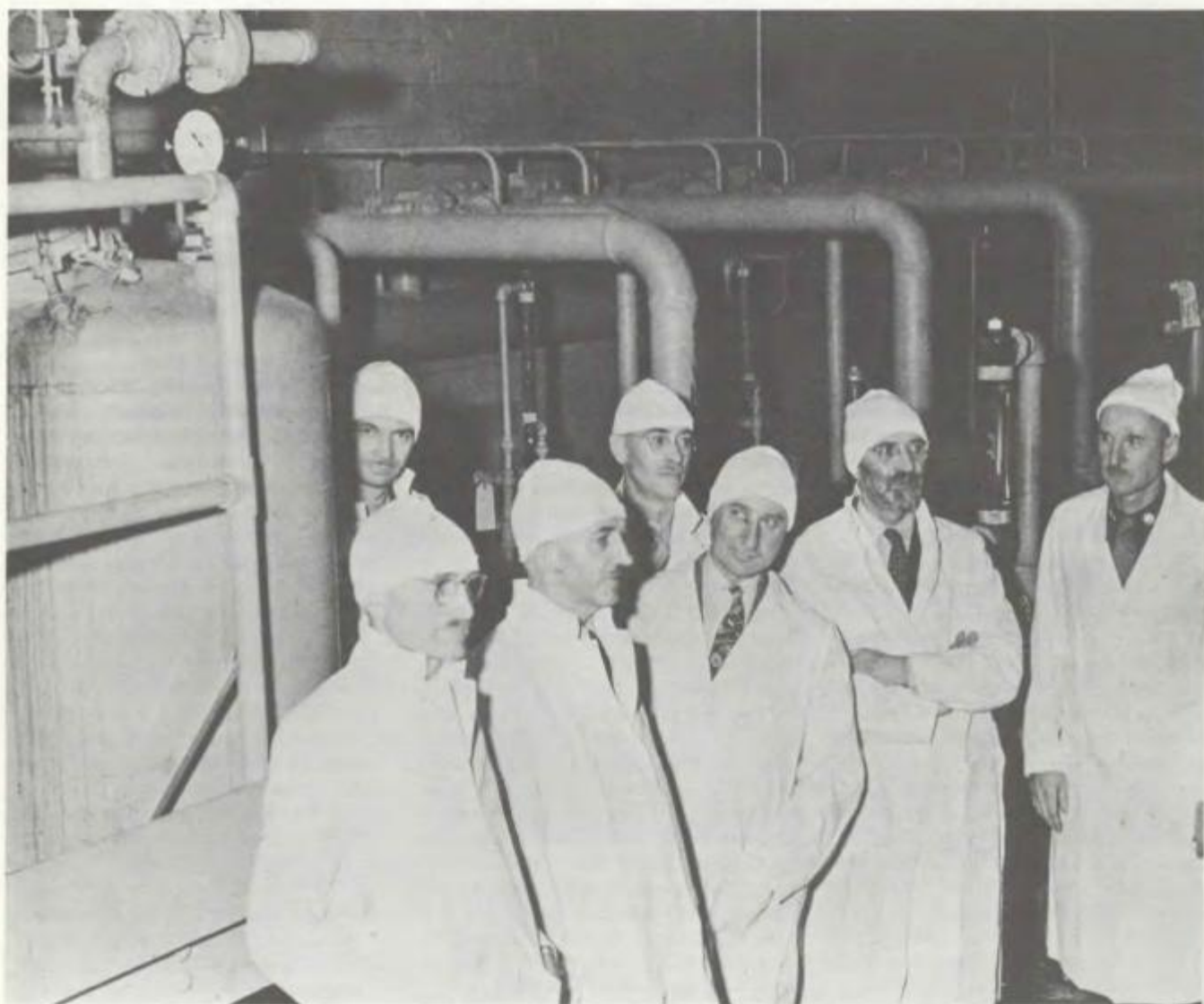
В ПЕРВУЮ МИРОВУЮ ВОЙНУ в результате применения таких отравляющих веществ, как хлор и горчиный газ, было убито и поражено свыше миллиона солдат и гражданского населения. Учитывая столь пагубные последствия, 40 стран подписали в 1925 г. Женевский протокол, запрещающий первыми использовать химическое и бактериологическое оружие. Однако этот протокол не налагал ограничений на разработку.

производство и накопление этого оружия. В последующие годы большинство ведущих промышленно развитых стран активно осуществляли программы разработки бактериологического оружия. Хотя США и подписали Женевский протокол, он был ратифицирован ими лишь в 1975 г.

Исследования, связанные с разработкой бактериологического оружия, начали проводиться в США в 1941 г. под эгидой химической службы военного министерства, и до 1942 г. их масштаб был незначителен. В феврале 1942 г. специальная комиссия, назначенная Национальной академией наук США, представила военному министру Генри Л. Стимсону отчет, содержащий рекомендации относительно будущего программы исследований по бактериологическому ору-

жую. Стимсон потребовал представления этого отчета за несколько месяцев до бомбардировки Пёрл-Харбора.

Комиссия, в состав которой входили такие известные биологи, как Эдвин Б. Фред из Висконсинского университета и Стэнхоуп Бэйн-Джоунз из Йельского университета, пришла к заключению, что атака противника с применением бактериологического оружия может привести к массовой гибели людей, посевов и домашнего скота. В отчете говорилось в основном об оборонительных мерах и работе по созданию вакцин и средств защиты систем водоснабжения, однако комиссия также рекомендовала, хотя и не столь явно, чтобы в США начали проводиться исследования наступательного потенциала бактериологического оружия.



The value of biological warfare will be a debatable question until it has been clearly proven or disproven by experience. Such experience may be forthcoming. The wise assumption is that any method which appears to offer advantages to a nation at war will be vigorously employed by that nation. There is but one logical course to pursue, namely to study the possibilities of such warfare from every angle, make every preparation for reducing its effectiveness and thereby reduce the likelihood of its use. In order to plan such preparation, it is advantageous to take the point of view of the aggressor and to give careful attention to the characteristics which a biologic offensive might have.

DECLASSIFIED

E.O. 12356, Sec. 3.3

~~SECRET~~

ВЫДЕРЖКА ИЗ РЕКОМЕНДАЦИЙ, содержащихся в докладе Национальной академии наук США от 1942 г., в которой обосновывается проведение исследований по бактериологическому оружию. Доклад, вероятно, убедил президента Рузвельта создать военную исследовательскую службу. Штамп слева — «РАССЕКРЕЧЕНО». Перевод текста: Вопрос о значении бактериологического оружия будет оставаться спорным до тех пор, пока это оружие не проверят в действии. Возможно, что вскоре это будет сделано. Разумно допустить, что любой метод, дающий преи-

мущества воюющей стране, будет ею незамедлительно использован. Существует только один логический путь: всесторонне исследовать возможности бактериологического оружия, сделать все необходимые приготовления для уменьшения его эффективности и тем самым снизить вероятность его применения (противником — *Ред.*). В планировании этих действий целесообразно учитывать точку зрения агрессора и уделить особое внимание характеристикам, которыми могло бы обладать наступательное бактериологическое оружие.

Ссылаясь на предупреждения ученых, Стимсон стремился добиться одобрения президента на осуществление программы разработки бактериологического оружия, в которой координирование и руководство всей исследовательской работой по заданию правительства выполняла бы небольшая консультативная группа. «Мы должны быть готовыми, — писал Стимсон Рузвельту в своем меморандуме в апреле 1942 г. — Все работы необходимо проводить в строгой секретности и как можно быстрее».

Стимсон нигде не упомянул, что химическая служба военного министерства уже приступила к таким исследованиям; сам же президент, вероятно, ничего не знал о них. Так или иначе химической службе были выделены миллионы долларов из бюджета военного министерства, и она стала играть большую роль в осуществлении программы разработки бактериологического оружия, чем небольшая консультативная группа, формально руководившая исследованиями. Почему в таком случае эта группа была необходима Стимсону?

Возможно, потому, что, как он сам говорил президенту, «исследования по бактериологическому оружию — это грязное занятие». Привлекая гражданских лиц в качестве руководителей, Стимсон надеялся узаконить исследования, проводившиеся химической службой. По мнению некоторых членов комиссии, назначенной Национальной академией наук, про-

граммой должно руководить военное министерство, однако сами военные желали, чтобы руководство ею осуществляла группа гражданских лиц, сотрудничающая с армейскими службами. Стимсон объяснял Рузвельту позицию военных таким образом: «Если руководство данным деломверить гражданскому управлению, то это поможет предотвратить чрезмерную обеспокоенность общественности в том, что военное министерство, возможно, помышляет использовать это оружие в наступательных целях».

СТИМСОН предложил включить (и тем самым «спрятать») консультативную группу, занимающуюся разработкой «микробного оружия», в состав вновь созданного учреждения, называемого федеральным агентством социального обеспечения, которое контролировало деятельность системы здравоохранения и социальных служб. Он хотел, чтобы программой руководил какой-нибудь известный ученый, знакомый с университетской системой научных исследований и имевший опыт административной работы. После совещания с министрами 15 мая 1942 г. Рузвельт сообщил, что еще не ознакомился с планом военного министра, однако сказал, что ему следует продолжать осуществлять свой замысел. Неделию спустя Стимсон обсудил свои идеи с министром сельского хозяйства К. Р. Уикардом, который под-

твердил свое согласие участвовать в исследовательской работе, координируемой консультативной группой, и П. В. Макнаттом, возглавлявшим федеральное агентство социального обеспечения.

К середине лета три кандидата (экономист У. У. Стюарт, председатель Рокфеллеровского фонда; географ И. Бауман, ректор Университета Джонса Гопкинса; экономист Э. Э. Дэй, ректор Корнеллского университета) отказались от предложения возглавить новую группу. Наконец в августе Дж. У. Мерк, президент фармацевтической фирмы (Merck & Co., Inc.), согласился принять его.

В середине 1942 г. консультативная группа, получившая скромное название «военная исследовательская служба» (ВИС) и ассигнования на сумму в 200 тыс. долл., начала свою деятельность. Широкие контакты между известными биологами и врачами позволили правлению, состоявшему из 8 человек, организовать проведение секретных исследований примерно в 28 американских университетах, включая Гарвардский, Колумбийский, Корнеллский, Чикагский, Северо-Западный, Висконсинский, Станфордский и Калифорнийский, а также Университет шт. Огайо и Университет Нотр-Дам. К январю 1943 г. ВИС заключила договор с У. А. Хаганом из Корнеллского университета на проведение исследований по использованию возбудителей ботулизма как наступательного оружия, а

также с Дж. Х. Мюллером из Гарвардской медицинской школы на изучение сибирской язвы.

Сибирская язва и ботулизм оставались в центре исследований по бактериологическому оружию, проводившихся во время войны. Обе смертоносные болезни вызываются бактериями, которые очень устойчивы и способны к интенсивному размножению. Инкубационный период составляет всего несколько дней или даже часов. Споры сибирской язвы попадают в организм человека через органы дыхания или поврежденные участки кожи. Заболевание ботулизмом происходит в результате пищевого отравления ботулическим токсином.

НЕ ОГРАНИЧИВАЯСЬ только университетскими лабораториями, ВИС предоставила возможность химической службе военного министерства значительно расширить собственные исследования по бактериологическому оружию. В 1942—1943 гг. химической службе были выделены миллионы долларов на строительство исследовательских лабораторий, для работы в которых затем были приглашены многие ученые. Самая крупная из них — лаборатория в Кэмп-Детрике (ныне Форт-Детрик) — была построена во Фредерике, шт. Мэриленд. Ее стоимость составила 13 млн. долл.

Сознание того факта, что необходимость их работы продиктована войной, помогло ученым, пришедшим из университетов, преодолеть

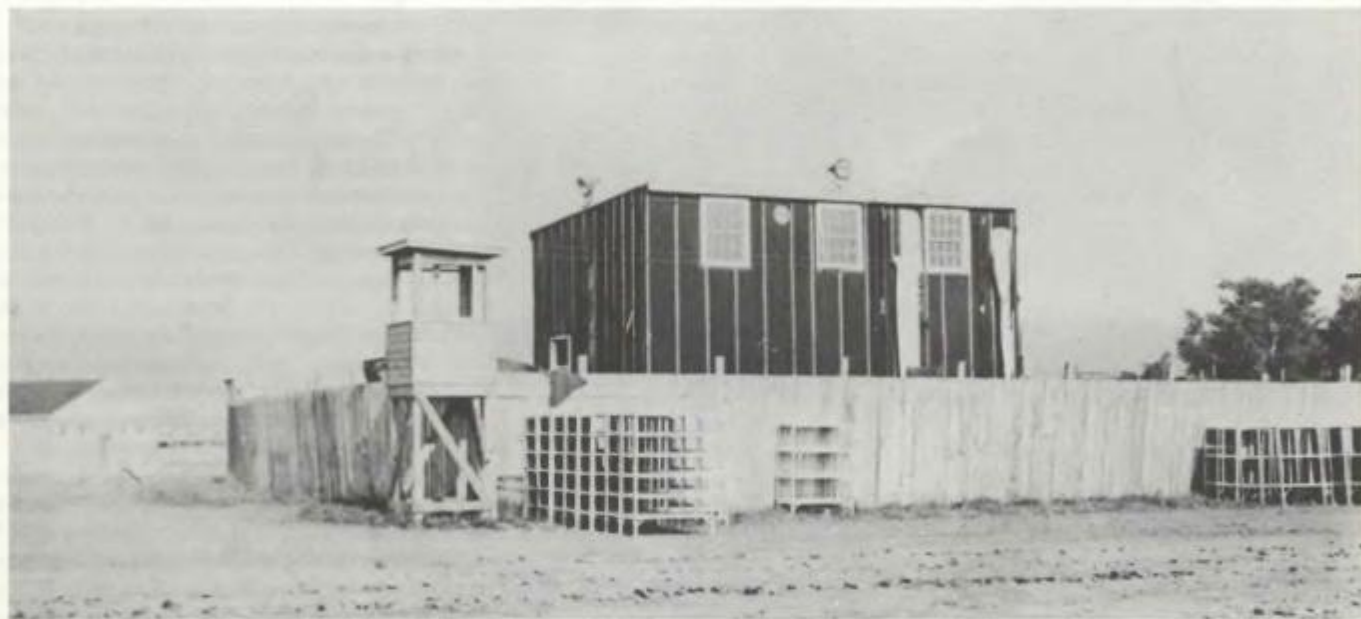
отвращение к столь неблагоприятному делу, как разработка смертоносного оружия. Т. Роузбери, микробиолог из Колумбийского университета, отмечал в 1942 г., что «вероятность применения бактериологического оружия, несомненно, возрастет, если противнику будет известно, что мы не подготовлены к тому, чтобы отразить такое нападение и ответить ударом на удар». Вскоре он стал руководителем исследований в лаборатории химической службы в Кэмп-Детрике. Впоследствии Роузбери писал: «Мы боролись с огнем (державами «оси Берлин — Рим») и неизбежно рисковали — либо быть запачканными, либо сожженными».

Стимсон и Макнатт, возможно, были в восторге от такой сентиментальности, однако точка зрения Роузбери относительно того, кто заправлял делами, привела бы их в изумление. Он полагал, что, создавая бактериологическое оружие, ученые его лаборатории руководствовались этическими соображениями. «Гражданские лица, в форме или не в форме, принимали решения; профессиональные военные оставались в стороне. Стоявший перед нами этический вопрос мы решили точно так же, как и другие ученые, работавшие в Ок-Ридже, Ханфорде, Чикаго и Лос-Аламосе», — писал позже Роузбери.

Факты свидетельствуют о другом. Даже если президент и не определял задачи ВИС, ключевые решения принимались скорее всего в Вашингтоне, а не в лаборатории.

ХОТЯ Макнатт основное внимание уделял работе социальных служб, из его поля зрения не ускользала и деятельность ВИС, «спрятанной» в его агентстве. В феврале 1943 г. он сообщил Рузвельту, что сумма в 200 тыс. долл., выделенная ВИС, почти израсходована. По его словам, требовалось согласие президента на «расширение исследований по двум или трем... уже осуществляемым проектам». В конце марта 1943 г. Макнатт запросил, с одобрения Стимсона, еще 25 тыс. долл. на 1943 и всего 350 тыс. долл. на 1944 финансовый год. Через два дня от Рузвельта пришел лаконичный ответ: «О'кей. Ф.Д.Р.». Спустя несколько месяцев Рузвельт дал согласие на увеличение бюджета ВИС на 1944 г., который в результате достиг 460 тыс. долл.

Соблюдая строгую секретность в отношении исследовательской программы, Макнатт нигде, даже в корреспонденции Рузвельту, не писал о проектах или их деталях. В собственном архиве Рузвельта содержится не более десяти писем и записок относительно бактериологического оружия. В тех из них, которые датированы 1942 и 1943 гг., речь идет в основном о небольших ассигнованиях и организационных вопросах, связанных с деятельностью ВИС. Возможно, что Макнатт и Стимсон, а также начальник штаба сухопутных войск генерал Дж.К. Маршалл во время встреч с Рузвельтом информировали его о дополнительных суммах в миллионы



«ЧЕРНАЯ МАРИЯ» — мрачное, покрытое толем сооружение, построенное в 1944 г. в Кэмп-Детрике для проведения экспериментов с бактериологическим оружием. Слева

видна сторожевая вышка, на которой находился вооруженный часовой. Постройка была снесена вскоре после войны.

долларов, выделенных ВИС на разработку бактериологического оружия. Ни один из известных документов, однако, не содержит сведений о том, что Рузвельт получал такие отчеты.

Тем временем химическая служба расширяла свои технические возможности в разработке, испытании и производстве бактериологического оружия. Кроме лаборатории в Кэмп-

Детрике и относящейся к ней территории площадью в 220 га, на острове Хорн в Паскагуле (шт. Миссисипи) был построен полигон площадью 882 га для полевых испытаний. Вблизи испытательного полигона Дагуэй (шт. Юта) химической службе была выделена территория площадью 70 600 га для бомбардировочных испытаний, а вблизи Терре-Хота (шт. Индиана) на площади в 2700 га планировалось построить завод по производству бактериологического оружия.

Совершенствовалась также и технология. При техническом содействии Великобритании химическая служба получила значительную возможность самой изготавливать бактериологические бомбы и в конце 1943 г. начала работы по созданию бомб массой около 225 кг с возбудителями сибирской язвы. Каждая из этих бомб содержала 106 бомб малого калибра массой около 2 кг, которые при ударе разлетались во все стороны и разрушались. Эти бомбы не испытывались, поскольку и без того было ясно, что начиненные возбудителями сибирской язвы, вызывающей поражение легких, они несут неизбежную смерть.

Химической службе удалось также получить ботулический токсин — один из самых опасных пищевых ядов. Прием даже небольшого количества пищи, зараженной токсином, вызывает сильное отравление или смерть. При обычном заражении токсином смертность составляет 16—82%, однако за счет применения специальных средств доставки и достаточной концентрации токсина ученые Кэмп-Детрика надеялись создать оружие с высокой поражающей способностью.

В НАЧАЛЕ 1944 г. химическая служба, окрыленная успехом, начала настаивать на том, чтобы ей дополнительно было выделено 2,5 млн. долл. на производство бомб с возбудителями сибирской язвы и ботулизма. По словам ее представителей, такая сумма позволила бы ежемесячно производить либо 275 тыс. бомб с возбудителями ботулизма, либо 1 млн. бомб с возбудителями сибирской язвы. Проблема заключалась, однако, в том, что на строительство заводов требовалось время, поэтому оружие могло быть произведено в достаточном количестве лишь к 1945 г. По прогнозам военных стратегов, война к тому времени должна была вестись только с Японией.

Химическая служба получила запрошенную ею денежную сумму. В дополнение к планам создать арсенал

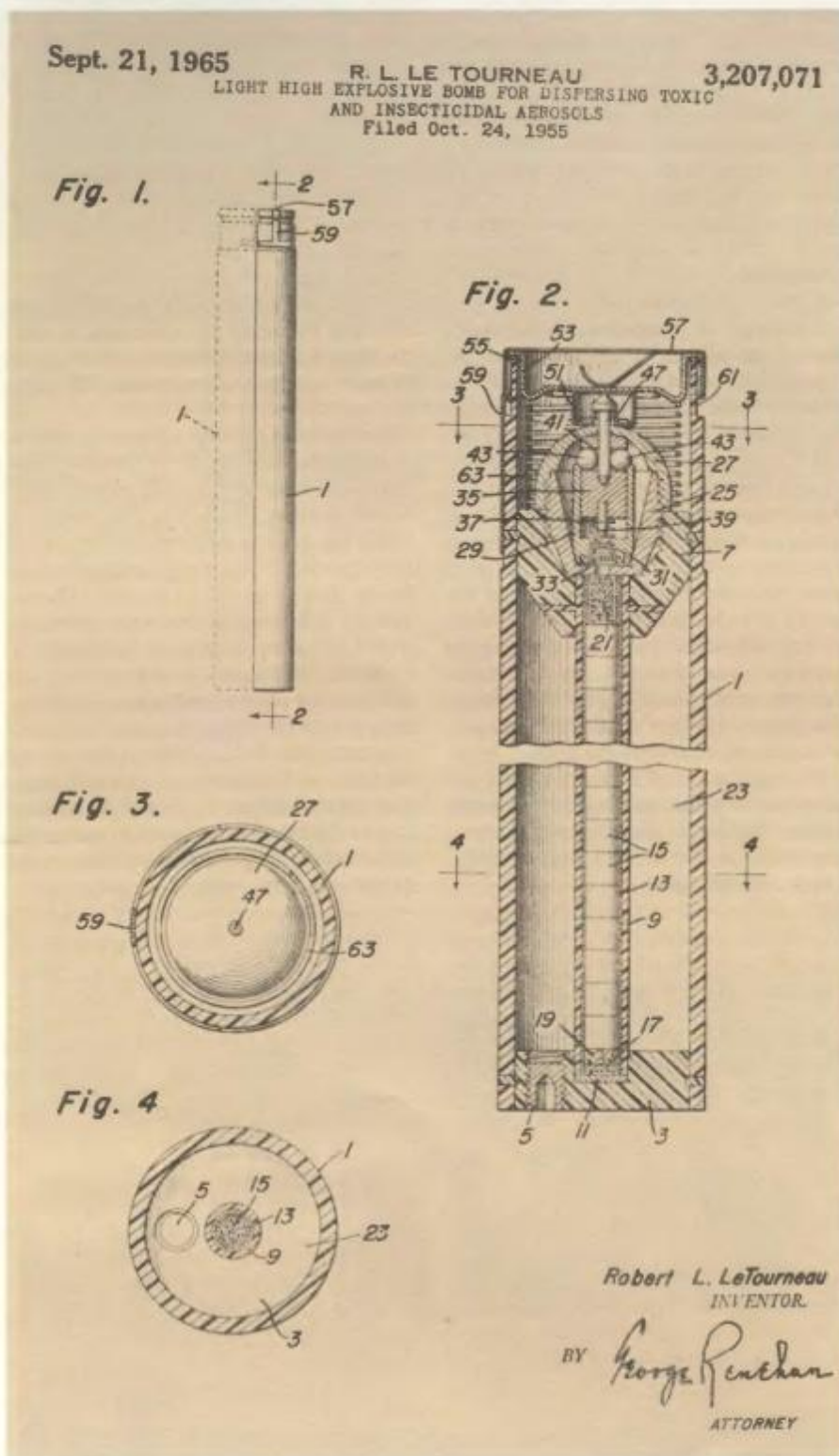


РИСУНОК ИЗ ПАТЕНТНОГО ОПИСАНИЯ, обнаруженный в подшивке документов за 1955 г. Роберта Л. Ле Турно. На рисунке изображен «разрывной снаряд для рассеивания токсичных и инсектицидных аэрозолей». По своей конструкции он, вероятно, схож с бомбами, начиненными возбудителями сибирской язвы; эти бомбы были созданы во время второй мировой войны, когда Ле Турно принимал участие в создании бактериологического оружия. Детали конструкции этих бомб до сих пор засекречены.



СОВЕТНИКИ ПО БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКОМУ ОРУЖИЮ, собравшиеся в Кэмп-Детрике на совещание с работавшими там учеными. В центре группы — Дж. Мерк, президент фирмы Merck & Co., Inc. Слева направо — директор по на-

учной части И. Л. Болдуин, капитан Н. С. Прайм, бригадный генерал У. А. Борден, контр-адмирал Дж. Зюрер, капитан 3-го ранга У. Б. Сарлз, полковник Вулперт и подполковник Н. Пайл.

бактериологического оружия, чтобы противостоять Японии, исследования, проводившиеся этой организацией, обрели еще большее значение в связи с появлением новой угрозы, требовавшей безотлагательных мер.

В начале 1944 г. эксперты разведслужб стран антигитлеровской коалиции высказывали опасения, что Германия, возможно, собирается использовать свои новые мощные самолеты-снаряды V-1 для бомбардировки Великобритании и не исключено, что эти снаряды будут нести бактериологический заряд. Немецкое верховное командование, предупреждали они, находилось в стратегическом кризисе; мобилизуя все свои ресурсы, оно могло прибегнуть к бактериологическому оружию для достижения военного превосходства.

Эти предсказания делались по принципу «исходя из худшего» и не были утешительными. Если к июню 1944 г. у США и имелись бомбы с возбудителями сибирской язвы, то всего несколько штук, и то предназначенные для испытаний. Бомб, которые могли бы использоваться для удара по противнику, у них определенно не было.

Военное командование организова-

ло проведение прививок 100 тыс. солдат против ботулизма, надеясь тем самым убедить Германию, что союзные войска готовятся нанести ответный удар. Если бы Германия действительно нанесла удар бактериологическим оружием, то англо-американские силы, вероятно, ответили бы на него химическим оружием.

На самом деле немецкие V-1 были оснащены зарядами обычного типа. По причинам, до сих пор непонятым, Гитлер запретил все исследования по созданию наступательного бактериологического оружия. Американская же программа, необходимость которой в немалой степени была продиктована угрозой (на самом деле никогда не существовавшей) со стороны Германии, оставалась неиспытанной.

РАБОТЫ в Кэмп-Детрике велись полным ходом. В мае 1944 г. Стимсон и Макнатт представили Рузвельту краткий отчет об исследованиях, содержащий всего пять строк о научных результатах. В этот отчет не попало многое. Завод по производству бомб с возбудителями сибирской язвы получил заказ на производство миллиона бомб, в лабораториях же успешно разрабатывались средства

рассеивания на небольшой площади ботулина в пастообразном виде. В ноябре Мерк направил Стимсону и Маршаллу (но не Рузвельту) отчет, где в скрытой форме говорилось о работе по получению еще четырех «средств против человека». Судя по другим источникам, ими, вероятно, были возбудители бруцеллеза (мальтийской лихорадки), пситтакоза (попугайной болезни), туляремии и сапа.

По словам Мерка, химическая служба занималась также разработкой «по крайней мере пяти средств, пагубно воздействующих на растения». (Эти средства на самом деле представляли собой химические вещества, но в то время они были включены в программу разработки бактериологического оружия, поскольку способны уничтожать посевы.) Шестое средство, тиоцианид аммония, предназначалось для уничтожения «японских садов».

Об этих разработках отмечалось в кратком, всего в 12 строк, ноябрьском отчете Мерка по бактериологическому оружию. Отчет был обнаружен в рассекреченных документах военного министра в Вашингтоне. Свидетельства того, что сам Стимсон или президент интересовались научной стороной программы, отсутствуют.

Рузвельт не проявлял интереса не только к научному, но и к политическому аспекту разработки бактериологического оружия. Несмотря на значительный прогресс в исследованиях, проводившихся в Кэмп-Детрике, и слухи, что Германия собирается применить бактериологическое оружие, президент, судя по всему, уделял мало внимания этому виду оружия. В 1942 г., а затем в 1943 г. Рузвельт публично обещал не начинать химическую войну, однако он заявлял, что если противник применит химические отравляющие вещества, то США ответят тем же. Очевидно, он никогда не намеревался сделать подобное заявление в отношении бактериологического оружия. Ни один из его советников также не делал предложения о том, чтобы таким же образом сдерживать Германию и Японию, если они намерены применить бактериологическое оружие.

В мае 1944 г. Стимсон и Макнатт предложили Рузвельту упразднить военную исследовательскую службу и назначить Мерка консультантом Стимсона. Президент с готовностью одобрил это предложение, и последовавшие затем изменения еще больше отдалили его от секретного предприятия по разработке бактериологического оружия.

В июле того же года начальник штаба вооруженных сил адмирал У. Д. Лихи и несколько других советников президента провели в присутствии Рузвельта, как позже отмечал сам Лихи, «горячее обсуждение проблемы бактериологического оружия». Разговор в основном касался вопроса о применении этого оружия первыми для уничтожения посевов риса в Японии. Лихи писал впоследствии, что он был против этой идеи; Рузвельт же не занял определенной позиции. Оставалось неясным, примет ли он решение об ответном ударе тем же, если державы «оси» первыми применят бактериологическое оружие, или поддержит то, чтобы американцы первыми применили это оружие против Японии. (В то время ходили слухи, что Япония применила бактериологическое оружие против Китая.) «Наследие», связанное с бактериологическим оружием, которое Рузвельт передал Трумэну, было весьма неопределенным, и эта неопределенность составляла резкий контраст с публичными заверениями Рузвельта, что США не применят первыми химическое оружие.

Две недели спустя после вступления Трумэна в должность президента в апреле 1945 г. и на следующий день после того, как он ознакомился с подробным отчетом о создании атомной

бомбы, Стимсон получил сообщение от своего специального помощника Х. Х. Банди. В нем говорилось, что Мерк и несколько других членов группы, занимающихся разработкой бактериологического оружия, предлагают использовать химические вещества для уничтожения посевов сельскохозяйственных культур в Японии. «Это очень серьезный шаг, — предупреждал Банди, — и вы, возможно, пожелаете высказать свои соображения президенту». Стимсон направил Маршаллу записку, в которой просил его безотлагательно обсудить с ним этот вопрос.

НАЧИНАЯ с этого момента и до окончания войны основным направлением программы становится разработка не бактериологических средств, а химических веществ, способных уничтожить сельскохозяйственные посевы. Американские ученые утверждали, что эти химические вещества не вызывают отравления людей; военно-юридическая служба США пришла к заключению, что их использование будет правомочным на том основании, что для людей они не являются токсичными и что США, как воюющее государство, «вправе лишать противника запасов продовольствия и воды и уничтожать ресурсы на его полях».

Хотя Стимсон был встревожен известиями о массовой гибели мирного населения в результате совершенных американских бомбардировок, он, видимо, был готов принять решение об уничтожении посевов в Японии. Известно, что генерал Маршалл хотел применить против японских войск химические отравляющие вещества и, вероятно, и Стимсона не смущала тактика уничтожения посевов. В мае и июне 1945 г. один из генералов ВВС составил подробный план уничтожения посевов риса в Японии путем сбрасывания тиоцианида аммония над районами, производящими рис, вблизи шести крупных городов: Токио, Иокогама, Осака, Нагоя, Киото и Кобе. Командующий ВВС США генерал Х. Х. Арнольд отклонил этот план скорее по тактическим, чем моральным соображениям. По его словам, бомбардировка японских городов и промышленных объектов «даст более быстрый и эффективный результат».

Другие военные планировщики, обсуждая возможность применения средств для уничтожения посевов в Японии, так же, как Арнольд и его штаб, уделяли внимание прежде всего тактической стороне. Некоторые из них сомневались, что имеющегося количества химических веществ окажется

ся достаточно, другие считали, что уничтожение посевов риса в 1945 г. будет иметь последствия только в 1946 г. К тому времени, говорили они, война будет выиграна и американские оккупационные силы столкнутся с дополнительной проблемой, как обеспечить продовольствием голодающее мирное население.

3 августа 1945 г., за три дня до бомбардировки Хиросимы, заместитель Арнольда генерал-лейтенант И. К. Икер попросил представить ему доклад о возможности уничтожения посевов риса с воздуха, который включал бы сведения о самых сильных действующих химических веществах, а также о доступных средствах и способах их доставки. Доклад он получил 10 августа 1945 г., на следующий день после бомбардировки Нагасаки. Через 4 дня война в Тихом океане закончилась.

О существовании тайно созданного арсенала бактериологического оружия не было забыто в последние месяцы войны. Еще в ходе осуществления программы разработки этого оружия один из генералов сухопутных войск США отмечал, что администрация могла бы принять на рассмотрение политику первого применения бактериологического оружия против Японии. Позже военные стратеги, обсуждая способ нанесения ответного удара, пришли к заключению, что в случае нарушения Японией Женевского протокола и применения ею боевых отравляющих веществ США следует быть готовыми ответить на это как химическим, так и бактериологическим оружием. Как отмечал адмирал Д. Б. Дункан, член объединенного комитета начальников штабов, в некоторых ситуациях бактериологическое оружие может быть более эффективным, чем химическое. Американцам во время второй мировой войны так и не пришлось принимать решения, затрагивающего моральные аспекты применения бактериологического оружия. Окончательное решение о применении этого оружия пришлось бы принимать Трумэну; вероятно, за советом он обратился бы к генералу Маршаллу, которым он всегда восхищался, и военному министру Стимсону, которого считал высоконравственным человеком. Эти главные советники, одобвившие атомную бомбардировку японских городов, возможно, были бы и за принятие решения об уничтожении посевов риса в Японии, чтобы заставить эту страну капитулировать.

Возможно, что решение о применении бактериологического оружия, несущего невидимый яд и угрозу эпидемии, принять было сложнее. Спустя

несколько лет Трумэн в письме одному из своих помощников намекал, что если бы война в Тихом океане затянулась до середины августа 1945 г., то он одобрил бы решение о применении как бактериологических, так и химических отравляющих веществ; санкционированная же им атомная бомбардировка имела гораздо более губительные последствия.

Разработка и накопление бактериологического оружия продолжались в США до 1969 г., когда под влиянием антивоенных настроений, вызванных войной во Вьетнаме, президент Никсон обещал прекратить программу разработки этого оружия и уничтожить его запасы. Спустя 3 года США и более 100 других государств подписали Конвенцию о бактериологическом и токсинном оружии, при этом многие страны приняли решение сразу запретить у себя оружие этого типа.

В начале 80-х годов в США стали высказываться предположения, что Советский Союз активно осуществляет программу разработки бактериологического оружия. Это привело к тому, что США расширили свою собственную программу. Подозрения в отношении СССР частично были обусловлены случаями заболевания сибирской язвой в Свердловске в 1979 г., возможно, вызванными утечкой возбудителей этой болезни из лаборатории, в которой, по утверждениям США, разрабатывается бактериологическое оружие.*

Подозрения вызваны также случаями выпадения в Лаосе и Кампучии так называемого желтого дождя. США заявляют, что это осадки грибковых токсинов, поставляемых Советским Союзом Вьетнаму, хотя по мнению экспертов, желтый дождь — это не что иное, как массовая дефекация пчел (см. статью Т. Д. Сили, Дж. В. Новика, М. Меселсона, Дж. Гиллемина и П. Акратанакула, Желтый дождь, «В мире науки», 1986, № 2).

Таким образом, секретные исследо-

вания, начатые во время второй мировой войны, разрослись настолько, что стали предметом международной дискуссии. Как же эти вопросы решаются в мирное время? Если исходить из прошлого, то решения вряд ли принимаются теми, кто занят непосредственно разработкой оружия. Во время войны ученые работали над созданием нового оружия, однако, как показала история, решение вопросов о его размещении и использовании было им неподвластно. Как Рузвельту, так и Трумэну, несмотря на их полномочие верховного главнокомандующего, было известно совсем мало об арсенале бактериологического оружия в период их пребывания на посту

президента. Значительная часть этого арсенала была создана главным образом, чтобы противостоять Германии, которая никогда не намеревалась создать свой арсенал бактериологического оружия наступательного типа.

Американский опыт во второй мировой войне предупреждает: оружие, созданное для целей сдерживания или возмездия, может вызвать соблазн морально оправдать его применение в качестве наступательного оружия. Как только военная машина приходит в действие, ученые могут и не суметь ограничить использование созданной ими технологии, особенно в том случае, если сторона считает, что она ведет «справедливую войну».

Издательство МИР предлагает:

БИОПОЛИМЕРЫ

Под редакцией

Ю. Иманиси

Перевод с японского

Коллективная монография, посвященная физическим и физикохимическим свойствам и методам исследования биополимеров и надмолекулярных биологических структур на современном уровне. Охвачены исследования, опубликованные вплоть до 1985 г., причем библиография

включает более 1000 работ, значительную часть которых (около 30%) составляют работы японских авторов.

Для научных работников, студентов старших курсов, специализирующихся в области химии полимеров, биохимии, молекулярной биологии.

1988, 28 л. Цена 4 р. 50 к.

МИГМАТИТЫ

Под редакцией Дж. Эшуорта

Перевод с английского

Рассматривается проблема генезиса мигматитов с привлечением новых экспериментальных данных по гранитным системам, по флюидным включениям в минералах мигматитов, а также по фазовым равновесиям, отмечающимся при частичном плавлении пелитовых пород. Делается вывод о комплексной природе процессов мигматизации. Приводится детальное описание текстур и структур мигматитов, а

также методика подсчета баланса вещества при их образовании. Дается геолого-петрологическая характеристика мигматитов Шотландии и северной части Аппалачей, а также детально рассматриваются новые данные по флюидным включениям в минералах мигматитов Южной Норвегии и Колорадо.

Для петрологов, минералогов, геохимиков и геологов широкого профиля.

1988, 23 л. Цена 3 р. 80 к.

* На конференции государств — участников Конвенции 1972 г., состоявшейся в 1986 г., советской делегацией была доказана несостоятельность подозрений США в отношении источника возникновения заболеваний сибирской язвой в Свердловске в 1979 г., которые на самом деле были вызваны употреблением в пищу мяса больных животных, купленного у частных лиц.

На состоявшемся в апреле 1987 г. в Женеве совещании экспертов государств — участников Конвенции, на котором были рассмотрены меры укрепления авторитета Конвенции и предотвращения или сокращения случаев возникновения сомнений в выполнении ее положений, вопрос о заболеваниях в Свердловске уже не поднимался. — Прим. ред.



Головоломки в двух и трех измерениях и методы, облегчающие их решение

ДЖИРЛ УОЛКЕР

ГОЛОВОЛОМКИ, суть которых состоит в том, чтобы собрать из нескольких двух- или трехмерных элементов определенную фигуру, вызывают всеобщий интерес. Можно ли придумать правила, помогающие упростить решение, чтобы не анализировать каждое возможное соединение? В поисках таких правил я начал с исследования обычной плоской головоломки, представляющей собой квадрат. Затем я изменил ее, рассмотрев три необычных скрученных игровых поля. Наконец я проанализировал несколько трехмерных головоломок, изобретенных А. Фишером из фирмы Minotaur Design («Игрушки Минотавра»). Это, видимо, наиболее сложные из головоломок такого рода.

Для начала я взял плоскую головоломку, состоящую из четырех элементов. Как соединить их, чтобы они образовали квадрат? Сколько таких решений существует? Эта головоломка достаточно проста и вы можете попытаться решить ее в уме. Я принялся за детальный анализ этой головоломки, чтобы найти правила, которые можно применять и к другим более сложным головоломкам. Моим первым игровым полем стал квадрат со стороной в четыре клетки (будем говорить, что длина стороны равна четырем). Какой элемент следует положить на квадрат первым? Поскольку протяженность элемента *C* по вертикали и по горизонтали равна двум, он может занимать более разнообразные положения, чем элементы большего размера, длина которых в одном или двух измерениях равна трем. Я решил начать с элемента *B* — самого большого из всех.

Элемент *B* можно положить че-

тырьмя различными способами: в виде нормально стоящего *T*, перевернутого *T*, горизонтально лежащего *T* с перекладиной слева и горизонтально лежащего *T* с перекладиной справа. Поскольку в каждом варианте элемент может находиться в квадрате в четырех местах, полное число начальных «ходов» равно 16. На самом деле имеется только четыре принципиально различных начальных хода; остальные 12 возникают в силу того, что элемент можно вращать в его же плоскости или перевернуть поле вверх ногами вместе с элементом и получить такое положение, которое на первый взгляд кажется отличным от других. Такое уменьшение числа различных начальных ходов можно сделать только для первого элемента. Каждый последующий элемент должен рассматриваться во всех возможных ориентациях. В качестве начального положения элемента *B* я выбрал перевернутое *T*.

Элемент *B* может лежать в квадрате в четырех местах. Однако, поскольку он симметричен относительно вертикальной оси, положение *B2* сводится к положению *B1* путем переворачивания головоломки. По той же причине *B4* эквивалентно *B3*. Таким образом, *B* может занимать в квадрате только два принципиально различных положения: *B1* и *B3*. Положение *B3* нет необходимости рассматривать далее, поскольку «дырки», возникающие в этом случае на клетках 9 и 13 игрового поля, невозможно заполнить ни одним из оставшихся элементов.

Перейдем теперь к элементу *A*. Пять из шести возможных вариантов его размещения приводят к недопустимым дыркам. Нижний рисунок на

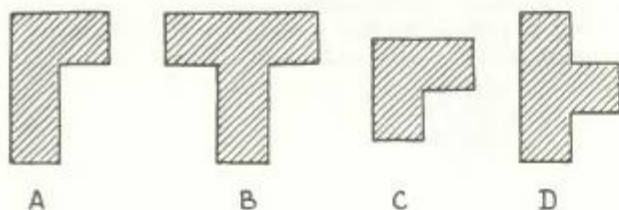
с. 79 иллюстрирует многообещающую позицию *A1* и плохой ход *A2*.

Теперь прибавим элемент *D* к *A1*. Из трех возможных его положений только положение *D1* позволяет избежать появления недопустимых дырок. Наконец добавляем элемент *C*, чем и завершается покрытие квадрата. Поскольку путь, которым мы пришли к решению, был однозначным, головоломка имеет единственное решение. (Существует зеркальное решение, но оно не считается отличным от основного.)

Собирая таким образом головоломку, я уяснил для себя некоторые правила этой процедуры. Первым следует класть большой элемент: тем самым уменьшается число начальных ходов. Ориентацию этого элемента можно выбирать произвольно, поскольку любую другую ориентацию можно получить поворотом поля в плоскости или его переворачиванием. Если первый элемент симметричен относительно по крайней мере одной оси, нет необходимости учитывать зеркальные положения.

Некоторые варианты размещения элемента можно не рассматривать, если они приводят к недопустимым дыркам. Под дырками имеются в виду такие участки поля, которые невозможно покрыть оставшимися элементами или которые требуют отсутствующих в наличии форм. В качестве примера можно привести одну или две изолированных клетки у края доски. Описанная игра достаточно тривиальна: разместив второй элемент, вы видите, что лишь одно из положений имеет право на существование. В более хитрых головоломках элемент может занимать несколько положений, которые следует принимать во внимание при последующих ходах.

Изучая различные головоломки, я одновременно читал книгу Дж. Уикса «The Shape of Space: How to Visualize Surfaces and Three-Dimensional Manifolds» («Форма пространства: как вообразить поверхность и трехмерные многообразия»). В этой увлекательной книге Уикс описывает несколько игр на двумерной поверхности, подобной моему квадратному полю. В отличие от него поверхность не имеет реальных краев: правый и левый, а также верхний и нижний края попарно склеены. Если вы мысленно «выйдете» из квадрата с его левой стороны, то окажетесь на соответствующей клетке на правой стороне. Подобным образом, выходя через верхнюю сторону, вы попадаете в квадрат через нижнюю сторону. Такой квадрат можно рассматривать как плоский вариант тора (бублика). Двигаясь влево или вправо, вы сделаете полный круг



13	14	15	16
9	10	11	12
5	6	7	8
1	2	3	4

Плоская головоломка из четырех элементов и соответствующее ей игровое поле

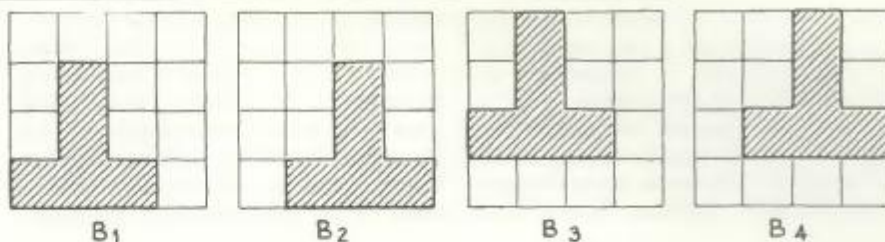
по тору; движение вверх или вниз идет через дыру тора и назад на его переднюю поверхность. Уикс считает, что на таком поле играть проще, если к первоначальному квадрату со всех сторон пририсовать такие же квадраты. Назовем эту конструкцию продолженным игровым полем.

Допустим, упомянутые выше четыре элемента головоломки выкладываются на новом поле. В нормальных условиях элемент нельзя класть так, чтобы он выступал за пределы квадрата. На расширенном поле такие ходы разрешены: та часть элемента, которая «выходит» из квадрата, «входит» в него с другой стороны. Такой случай иллюстрируется на рисунке сверху слева на с. 80. Заметьте, что элемент *B* занимает на основном квадрате три отдельные области.

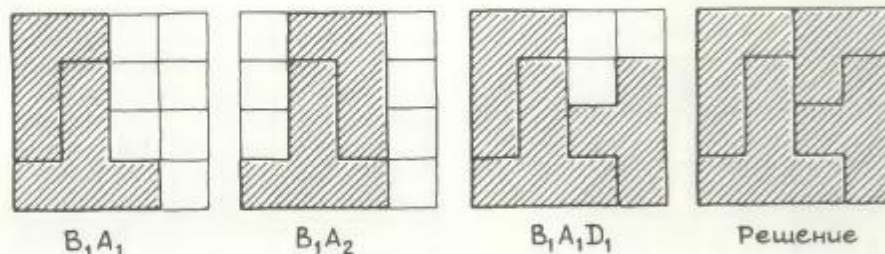
Головоломка имеет теперь гораздо больше решений, но являются ли они принципиально различными? Вообразите нормальное решение, смещенное на одну или несколько клеток либо по вертикали, либо по горизонтали, либо в обоих направлениях. Части элементов, которые выходят из квадрата на одной его стороне, входят в него на другой стороне. Сдвиньте, к примеру, нормальную конфигурацию как целое влево на одну клетку. Левые части элементов *A* и *B* окажутся у правой стороны квадрата. Такие простые смещения нормального решения не считаются новыми решениями.

Удобный способ представления нормального решения иллюстрируется на рисунке сверху справа на с. 80. Элемент *B* ориентирован нормальным образом, другие элементы располагаются справа от него. Я называю это расширенной конфигурацией. Вообразите, что она помещена в любом месте нового поля. Если стороны элемента *B* параллельны краям поля, то эта конфигурация точно заполняет квадрат. Расположите ее, например, так, чтобы *B* находился в правом верхнем углу квадрата. Тогда остальные элементы уйдут через верхнюю и правую стороны квадрата и появятся вновь у других сторон квадрата, заполняя его. Зеркальное изображение этой конфигурации также является решением, но не считается новым.

Имеет ли эта головоломка другие принципиально различные решения? Да, имеет. Я насчитал еще четыре решения, каждое со своим зеркальным отражением. Одно из них показано на рисунке. Поместите эту конфигурацию в любом месте на доске и она целиком заполнит квадрат. Попробуйте поискать другие решения. Этот поиск можно вести систематически, если использовать правила, которые я изложил, описывая нормальную голово-



Четыре положения элемента *B*



Четыре элемента, уложенных на поле

ломку. Можно также работать с расширенными конфигурациями, мысленно перегибая части кусков, которые выходят слишком далеко вправо или вверх. Не забывайте при этом следить за зеркальными решениями.

«Соединить» края поля можно и предварительно перекрутив его. Верхний и нижний края соединяются как и в предыдущем случае, правый же и левый мысленно разворачиваются относительно друг друга на 180° и лишь затем «склеиваются». Это поле представляет плоский аналог бутылки Клейна — известной в топологии фигуры. Если мысленно шагнуть влево от клетки 1, то вы окажетесь у левой стороны квадрата в клетке 16. Движение вверх или вниз происходит так же, как на поле, являющемся аналогом плоского тора.

Нормальная конфигурация заполняет и это поле, но сдвинуть ее удастся далеко не всегда. В среднем ряду рисунков справа на с. 80 показаны еще два независимых решения. Мысленно поместите эти конфигурации на основной квадрат продолженного поля. Заметьте, что их можно смещать горизонтально, но не вертикально. Заметьте также, что ориентация элемента *B* в этих решениях различна. В силу того что левый и правый края поля склеены после его перекручивания, различные ориентации первого элемента нельзя свести к одной ориентации путем вращения поля. Сколько принципиально различных решений имеет головоломка в таком виде?

Наконец, можно сделать и четвертую разновидность игрового поля, соединив верхний и нижний края также после перекручивания поля. (С технической точки зрения эту доску нельзя

считать плоским представлением из-за способа, которым соединены углы. Вообразите нижний правый угол основного квадрата: здесь склеены только клетки 4 и 13, а не четыре различные клетки, как в других полях.) Чтобы свести к минимуму ошибки, лучше играть на продолженном поле. На рисунке внизу слева на с. 80 показано, как можно положить элемент *B*. Ясно, что смещение элемента на одну клетку вправо не дает правильный ход, поскольку элемент дважды займет клетку 4. Сколько принципиально различных решений имеет головоломка на этом поле?

Я выбрал элементы такой формы, чтобы удалось получить решение на игровом поле нормального вида. Можно ли взять такие элементы, чтобы решение существовало только на одном из описанных полей? На поле в виде плоского тора существует пять решений с выбранными мною элементами. Если изменить головоломку так, чтобы в нее входил лишь один квадратный элемент со стороной, равной четырем, каждому полю будет соответствовать лишь одно независимое решение. Представьте себе элементы другого вида, причем все различные. При каких элементах число решений для каждого поля максимально? Попробуйте проанализировать головоломки большего размера, чтобы проверить, выводятся ли для них даваемые здесь общие правила.

Описанная простая головоломка служила мне разминкой перед анализом трехмерных головоломок Фишера. Разрабатывая их, Фишер вначале попытался определить, сколькими способами можно соединить отдельные кубики, чтобы получить различ-

ные элементы, называемые поликубами. Существуют 2 трикуба (фигур из трех кубиков), 8 тетракубов, 29 пентакубов и 166 гексакубов.

Популярной игрой, которая состоит в том, чтобы складывать из поликубов куб со стороной, равной трем, является игра «Кубики Сомы», изобретенная П. Хейном и представленная в 1958 г. (см. M. Gardner. Mathematical Games. «Scientific American», September, 1958). Современная трактовка игры и библиография на эту тему даны в недавно опубликованной книге Гарднера «Knotted Doughnuts and Other Mathematical Entertain-

ments» («Связанные бублики и другие математические развлечения»). В игре используются один трикуб и шесть тетракубов. (Линейные трикуб и тетракуб, а также тетракуб квадратной формы не используются.) Игра имеет ровно 240 решений.

Фишер задался вопросом, в какой

7	8	5	6	7	8	5	6
3	4	1	2	3	4	1	2
15	16	13	14	15	16	13	14
11	12	9	10	11	12	9	10
7	8	5	6	7	8	5	6
3	4	1	2	3	4	1	2
15	16	13	14	15	16	13	14
11	12	9	10	11	12	9	10

Игровое поле
в виде плоского аналога тора



Нормальное решение

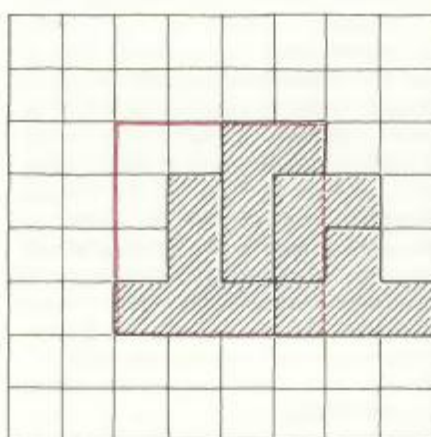


Второе независимое
решение

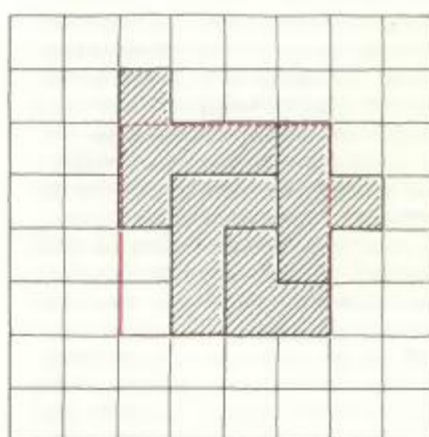
Решение для поля, представляемого плоским аналогом тора

11	12	5	6	7	8	9	10
15	16	1	2	3	4	13	14
3	4	13	14	15	16	1	2
7	8	9	10	11	12	5	6
11	12	5	6	7	8	9	10
15	16	1	2	3	4	13	14
3	4	13	14	15	16	1	2
7	8	9	10	11	12	5	6

Поле со склеенными краями
(с перекруткой)

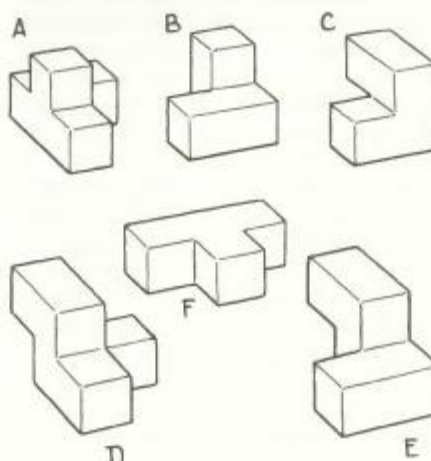


Решение для поля со склеенными краями (с перекруткой)

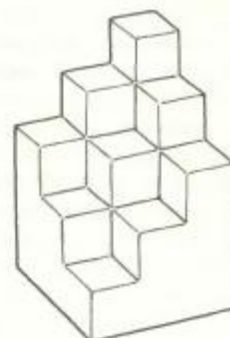


10	9	8	7	6	5	12	11
14	13	4	3	2	1	16	15
3	4	13	14	15	16	1	2
7	8	9	10	11	12	5	6
11	12	5	6	7	8	9	10
15	16	1	2	3	4	13	14
2	1	16	15	14	13	4	3
6	5	12	11	10	9	8	7

Поле с перекруткой
по двум направлениям



Элементы для «Куба Минотавра»



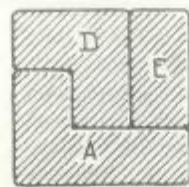
Решение в виде «кристалла»

степени сложность кубической головоломки зависит от числа составляющих ее элементов. Если все элементы представляют собой не что иное, как 27 отдельных не связанных между собой кубиков или даже девять трикубов, головоломка перестает быть головоломной. Она была бы неинтересной и в том случае, если бы собиралась лишь из двух или трех элементов. Фишер пришел к выводу, что наилучшая головоломка в виде куба со стороной, равной трем, должна состоять из шести элементов. Для проверки своего вывода он протестировал учащихся приготовительной школы в Лондоне. В процессе тестирования дети собирали семь различных кубов, состоящих из разного числа элементов — от трех до девяти.

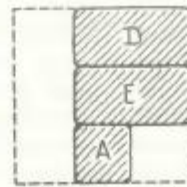
Записывая среднее время, затрачиваемое на каждую задачу, и процент правильных решений, Фишер обнаружил, что задача с кубом, состоящим из шести элементов, действительно требует наибольшего времени и решается с наибольшим трудом. Следующей по трудности оказалась головоломка из пяти элементов, за ней шла почти одинаковая с ней по трудности головоломка из семи элементов. Фишер усложнил свои головоломки тем, что выбрал элементы примерно одинакового размера, но такие, что ни один из них не похож на другой даже в зеркальном исполнении. При соединении друг с другом ни один из них не соприкасается с другим больше чем двумя гранями.

Одним из результатов изысканий Фишера стал «Куб Минотавра», собираемый из трех тетракубов и трех пентакубов. Существует только одно решение, приводящее к построению куба со стороной, равной трем. Головоломка Минотавра позволяет сложить ступенчатую структуру, которая напоминает кристалл.

Поиск решения для куба я начал с перечисления возможных положений элемента *A*, одного из самых больших. На этот раз игровым полем служил простой куб. Как и в случае плоских головоломок, ориентация первого элемента выбирается произвольной, поскольку все другие ориентации сводятся к выбранной путем поворота поля. Каждой ориентации элемента *A* соответствуют четыре различных его положения в кубе. Затем я добавляю элемент *D*, который может находиться в 34 положениях по отношению ко всем возможным положениям элемента *A*. Для каждого из положений *D* я рассматриваю возможные положения элемента *E*. После размещения трех или четырех элементов приходится отказываться от некоторых конфигураций, так как они



Уровень 1



Уровень 2



Уровень 3

Элементы, заполняющие кубическое игровое поле

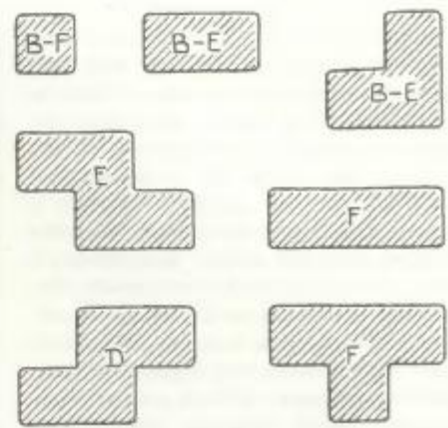
создают недопустимые дырки. И все-таки к тому моменту, когда решение найдено, каталог вариантов оказывается весьма большим.

Одна из причин, по которой трехмерные головоломки более сложны, чем головоломки на плоскости, состоит в том, что недопустимые дырки не обнаруживают себя так явно: дырка на одном уровне может быть заполнена элементом, расположенным на другом уровне. Недопустимые дырки иногда проявляются как изолированная дырка или изолированная цепочка дырок у одной из сторон поля. Некоторые дырки у края или внутри являются недопустимыми в том смысле, что оставшиеся элементы не могут их заполнить.

На верхнем рисунке на с. 81 показан результат последовательного размещения элемента *A*, *D* и *E*. Ставя элемент *E*, я был осведомлен о дырке в ячейке 12 на первом уровне, поскольку элемент *D* окружал ее на двух уровнях. Какие элементы могут заполнить эту дырку? Это мог бы сделать элемент *E*, но поставив его, мы получим дырку в ячейке 13 на втором уровне, которую невозможно было бы заполнить ни одним из оставшихся элементов. Подошел бы и элемент *B*, но этот ход быстро приводит к недопустимым конфигурациям.

Более экономный поиск решения состоит в том, чтобы сосредоточить внимание на наиболее обнадёживающих конфигурациях. Начнем с элемента *A*. Как разместить остальные элементы, чтобы они заняли часть остающейся области на наиболее низком уровне? Все элементы, например, можно повернуть таким образом, чтобы они заняли одиночную ячейку на этом уровне, но только элемент *F* можно повернуть так, что он займет три ячейки в ряду.

Составьте перечень этих основных форм. Затем опишите все способы, которыми их можно сочетать для заполнения всей пустой области. Четыре конфигурации показаны на верхнем рисунке на с. 82. Первые две кажутся более обещающими в силу того, что составлены из меньшего числа элементов. Помните, что все эти элементы должны стыковаться на втором уровне. Поскольку первые две конфи-



Основные фигуры

гурации требуют для своего построения только двух элементов, их следует проанализировать прежде тех, которые строятся из трех элементов.

Какие элементы могут создать первую конфигурацию и в то же время совместимы на втором уровне? Существует только две возможности: или *D* и *B*, или *B* и *C*. Дальнейшее исследование продолжается, когда пустая область на уровне 2 заполняется оставшимися основными формами. Если анализ зашел в тупик, вернитесь ко второй обнадёживающей конфигурации, которая заполняет первый уровень. Эта процедура помогает упростить трудоемкую задачу каталогизации всех возможных соединений элементов, хотя и не гарантирует успеха. Гарантию может дать только полный каталог.

«Суперкуб Минотавра» со стороной, равной четырем, собирается из восьми пентакубов и четырех гексакубов. Сказать, что эта головоломка трудна, значило бы не сказать ничего. Исследуя различные варианты, Фишер нашел, что наибольшую трудность среди головоломок разного размера представляет именно та, которая составлена из 12 элементов. Как и в случае меньшей головоломки, элементы имеют примерно одинаковый размер, но на этот раз ни один из них не может занять целиком одну из сторон игрового поля.

С суперкубом связаны несколько головоломок. Собрать из элементов суперкуб удастся двумя способами. Одно из решений допускает замеча-

тельное «скручивание». Если отнять от куба несколько элементов в виде целого блока и разместить их поновому на оставшейся части куба, тот превращается в «кристалл». Подобные ступенчатые структуры можно построить, используя более 200 других соединений элементов, но ни одну из них нельзя «превратить» в куб. Кроме того, из элементов можно собрать два куба со стороной, равной трем, и маленькую пирамиду.

Поиск решения для большого куба требует большого терпения или тонкой интуиции. Для оценки сложности головоломки я начал с одного из самых «уродливых» гексакубов, повернув его так, чтобы пять основных составляющих его кубиков лежали в нижнем ряду игрового поля. На этом уровне гексакуб может находиться в четырех возможных положениях. Его можно также переместить на выше лежащий уровень и на следующий за ним, причем каждому варианту будет соответствовать четыре новых положения. Таким образом, при первом ходе этот элемент может быть введен в игру 12 способами.

Выбрав один из начальных ходов, я добавил к первому гексакубу второй,

который допускал уже 96 вариантов размещения. Итак, для первых двух ходов имеется около 1200 возможностей. Взяв один вариант, я поставил третий элемент — пентакуб, который мог находиться в 44 возможных положениях. Я исследовал их все, обращая внимание на дырки, возникающие на игровом поле, и на оставшиеся элементы. После установки четырех или пяти элементов начали появляться некоторые недопустимые дырки. Эта головоломка, безусловно, трудна. Однако я знал, что один человек нашел решение, дающее также и кристалл, и решение, порождающее два малых куба и пирамиду. На это у него ушло шесть часов.

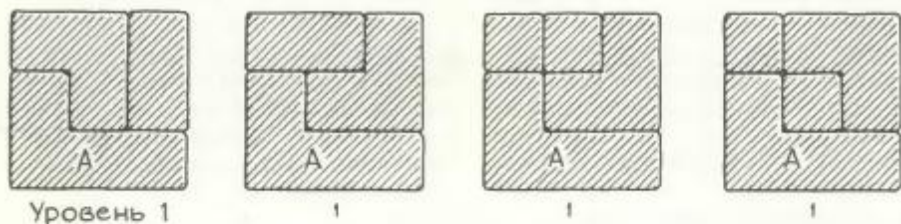
Фишер изучил и головоломки большего размера. Имея 29 разных пентакубов, можно, используя 25 из них, собрать куб со стороной, равной пяти. Таких решений существует довольно много. Используя все различные гексакубы и квадратный тетракуб, можно построить куб со стороной, равной десяти.

Фишер также сконструировал головоломку в виде пирамиды, состоящей из элементов, которые он назвал «клиногранниками». Разрабатывая

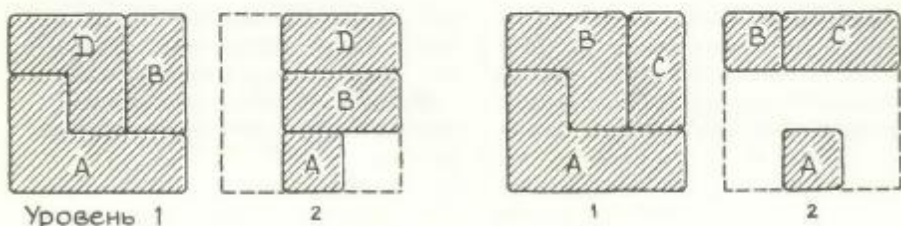
эту головоломку, он начал с двух четырехгранных пирамид, которые соединяются восьмигранником. Эти элементы можно соединить тремя способами, так чтобы четырехгранные пирамиды не соприкасались друг с другом гранями. Один из способов дает фигуру, которую Фишер назвал клином. Каждый элемент, используемый в этой головоломке, состоит из двух клиньев, соединенных так, что никакие четырехгранники не соприкасаются гранями; то же относится к восьмигранникам. При сборке головоломки из указанных элементов это правило распространяется и на элементы, стоящие рядом.

«Пирамида Минотавра» состоит из пяти клиногранников с четырьмя четырехгранниками вдоль каждого ребра. Внутри скрыты четыре полости, имеющие форму четырехгранников. «Гигантская пирамида Минотавра» состоит из 10 клиногранников (по 5 четырехгранников на ребре) и содержит 5 полостей в форме четырехгранников, скрытых от взгляда. Пять из ее элементов идентичны элементам малой пирамиды. Фишер изучил и большие пирамиды, часть которых требует для сборки элементы, изготовленные двумя другими способами из двух четырехгранников, соединяемых восьмигранником. Все эти пирамидальные головоломки трудны для решения, поскольку неправильные углы и замысловатая форма мешают игроку использовать интуицию при сборке головоломки. Попробуйте найти какие-нибудь правила, облегчающие решение.

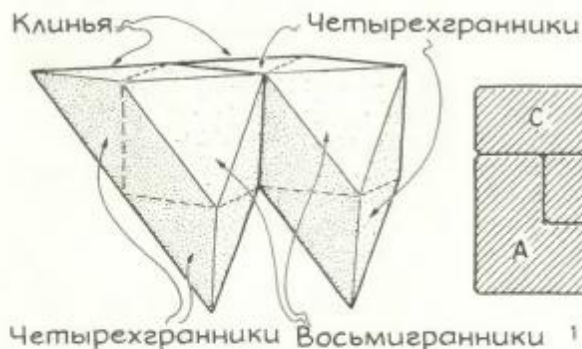
Напоследок задача. Можно ли собрать головоломку Фишера (малый куб) на игровом поле со склеенными краями? Рассмотрите склеивание без перекрутки и с перекруткой на четверть или поворотом. Если склейка выполнена без перекрутки, то удастся собрать куб обычным образом, а затем сместить его, выйдя за границы игрового поля. Сможете ли вы найти новое решение для куба на этих полях? Один простой пример показан на рисунке внизу справа.



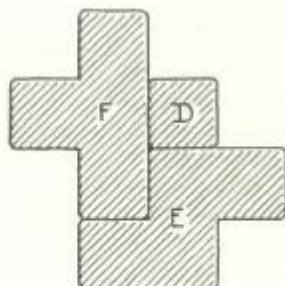
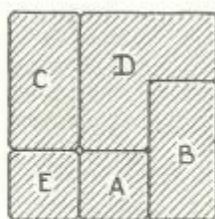
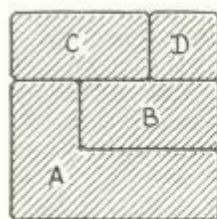
Способы заполнения уровня I



Стыкующиеся элементы



«Клиногранный» элемент



Решение для куба со склеенными гранями

Издательство МИР предлагает:

Й. Янсен
КУРС ЦИФРОВОЙ
ЭЛЕКТРОНИКИ

В четырех томах
Перевод с голландского

Й. Янсен Курс
цифровой
электроники



Издательство „Мир“

Автор курса — крупный голландский специалист с большим опытом практической работы. В т. 1 приводится описание схем простейших элементов электронной техники и ИС для цифровых устройств. В т. 2 рассматриваются методы проектирования типовых узлов на базе ИС и приводятся схемы разнообразных цифровых устройств. В т. 3 речь идет о

методах проектирования сложных цифровых устройств на базе микропроцессорных секций. Последний том посвящен принципам построения микроЭВМ. В качестве примеров используются новейшие разработки.

Для инженеров и студентов электронных специальностей, а также разработчиков ЭВМ.

1987—1988, 93 л.
Цена 8 р. за комплект.



Алгоритмические головоломки

А. К. ДЬЮДНИ

ГОРОДА Задаченск и Решенск стоят друг от друга на 100 км. Как-то погожим июньским днем в полдень из этих городов выйдут навстречу друг другу два поезда, причем каждый движется со скоростью 50 км в час. В тот же момент пчела, уютно пристроившаяся на головной фаре поезда в Задаченске, вылетает в направлении Решенска и летит вдоль железнодорожного пути со скоростью 90 км в час. Встретившись с поездом, идущим из Решенска, пчела резко разворачивается и летит обратно все с той же скоростью 90 км в час. Встретившись с поездом, идущим из Задаченска, она опять разворачивается и летит в противоположном направлении. Таким образом пчела снует между поездами до тех пор, пока они не встретятся. Какова будет полная длина пути, проделанного пчелой? Ответ к этой известной задачке, который будет дан в конце статьи, короткий. Это просто число.

Однако существуют задачи и другого рода, которые можно назвать алгоритмическими головоломками, и ответы к ним выглядят намного сложнее. Решить такую задачу — значит указать последовательность процедур, позволяющих прийти к желаемому результату. Другими словами, ответ представляет собой алгоритм. В литературе, посвященной головоломкам, приводится немало подобных задач. К числу известных относится, например, задача о том, как разделить жидкость в сосуде на три равные части посредством последовательности переливаний с использованием других сосудов определенной емкости или как можно без потерь с помощью одной лодки переправить на другой берег реки волка, козла и капусту. К этому же классу относится и задача о том, каким образом можно определить фальшивую монету (отличающуюся по массе) в кучке монет посредством последовательности взвешиваний на рычажных весах.

Различие в ответах на обычную задачу и алгоритмическую головоломку проще всего пояснить на конкретном примере. Начав с железнодорожных путей, пойдем по ним и дальше, продолжая тему первого примера. Допустим теперь, что поезда, движущиеся

навстречу друг другу, при встрече не сталкиваются, а вовремя притормаживают. С шипением и грохотом они останавливаются друг перед другом. (При этом мне почему-то представляются два огромных старинных паровоза.) Между поездами лежит короткий отрезок железнодорожного полотна и маленькое боковое ответвление, длина которого позволяет разместить лишь один вагон или локомотив (см. верхний рисунок на с. 85). Очевидно, кто-то сделал серьезную ошибку при составлении расписания. Единственный способ выйти из затруднения и разминуться заключается в том, чтобы машинисты каким-то образом воспользовались боковым путем. В этой задаче так же, как и в последующих, мы будем предполагать, что каждый вагон и каждый локомотив с обеих сторон имеют устройство сцепления. Кроме того, на каждом поезде есть сцепщик, который, бегая по путям, может сцеплять и отцеплять вагоны.

Вытирая пот с лица красным в горошек носовым платком, машинист поезда, следующего из Задаченска, восклицает: «Я не знаю, как мы сможем пропустить друг друга. У нас есть только вот то небольшое ответвление». Машинист из Решенска настроен более оптимистично. Он излагает план, следуя которому поезда могут разминуться. Возможно ли это? Прежде чем читать дальше, давайте взглянем на рисунок. Для конкретности на нем изображены два поезда, каждый из пяти вагонов. В общей формулировке этой алгоритмической головоломки поезда имеют по n вагонов.

Подходя к решению этой сравнительно простой задачи, читатель, наверно, будет говорить себе под нос: «Так, посмотрим... А почему бы не провести состав из Задаченска по боковому пути по одному вагону? Поезд из Решенска мог бы снова как челнок взад и вперед, затаскивая каждый раз новый вагон задаченского поезда на боковой путь, затем, проезжая мимо него по основному пути на всю свою длину и прицепляя его с другой стороны, чтобы вывести с бокового пути перед тем, как вернуться за следующим вагоном».

Такое описание может послужить отправной точкой для построения ответа к алгоритмической головоломке, но его нужно сделать более ясным и четким. Воспользуемся для этого алгоритмической системой записи, введя некоторые вспомогательные обозначения. При решении задачи можно выделить четыре участка железнодорожного полотна: участок от Задаченска до бокового пути (обозначим его A); отрезок основного пути между стрелками, соединяющими его с боковым путем (B); сам боковой путь (B') и участок от бокового пути до Решенска (C). Такая команда, как «Вперед к A », означает, что поезд из Решенска, состоящий из локомотива и вагонов, прицепленных к нему на данный момент, продвигается вперед до тех пор, пока полностью не окажется на участке пути A .

Напомним, что у каждого поезда по n вагонов. Локомотив задаченского поезда обозначим через $P1$, а его вагоны пронумеруем как $P2, P3$ и т. д. Команда «Прицепить Pk » означает, что к данному моменту решенский поезд находится вплотную к k -му элементу задаченского поезда; состав из Решенска мягко подкатывается к вагону Pk и сцепляется с ним. Те из вас, кто когда-нибудь жил вблизи железнодорожной станции, наверно, хорошо помнят очень характерный, ни на что другое не похожий звук, которым сопровождается сцепка вагонов.

Теперь можно записать алгоритм решения:

```
расцепить поезд  $P$ 
for  $k = 1$  to  $n + 1$ 
  вперед к  $A$ 
  прицепить  $Pk$ 
  назад к  $C$ 
  вперед к  $B'$ 
  отцепить  $Pk$ 
  назад к  $C$ 
  вперед к  $A$ 
  назад к  $B'$ 
  прицепить  $Pk$ 
  назад к  $C$ 
  отцепить  $Pk$ 
сцепить поезд  $P$ 
```

Сначала поезд из Задаченска расцепляется на отдельные вагоны и мы имеем n вагонов и локомотив. Затем в алгоритме начинается цикл из 11 шагов. Вся работу выполняет поезд из Решенска. Ни разу не отцепив ни одного из своих вагонов, он сначала проходит вперед на участок A , где сцепляется с первым элементом ($k = 1$) задаченского состава, т. е. с локомотивом. Он буксирует локомотив назад к участку C и после перевода стрелок загоняет его на боковой путь B' , здесь локомотив отцепляется. Затем

состав из Решенска снова возвращается на участок С, стрелки переводятся, и он идет вперед к участку А. После этого он возвращается, проходит на боковой путь, снова прицепляется к оставленному там локомотиву задаченского состава и буксирует его на участок С, где отцепляет и оставляет его. Ту же последовательность шагов поезд выполняет для каждого из оставшихся вагонов задаченского состава. Когда главный цикл завершен, все вагоны задаченского поезда оказываются на участке дороги между решенским составом и Решенском. Теперь, как только поезд придет в себя от утомительных алгоритмических процедур, он запыхтит и тронется в направлении к Решенску.

Еще одна алгоритмическая головоломка возникает, когда поезд из Задаченска, завершая свое путешествие, подъезжает к Решенску. Машинист, глядя на пробегающие мимо него пригороды, вдруг с ужасом вспоминает, что забыл взять с собой пакетик с бутербродами. Делать нечего, придется возвращаться обратно. Он нажимает на тормоза, и постепенно тяжелый состав из n вагонов останавливается. Пятиться всю дорогу до Задаченска не

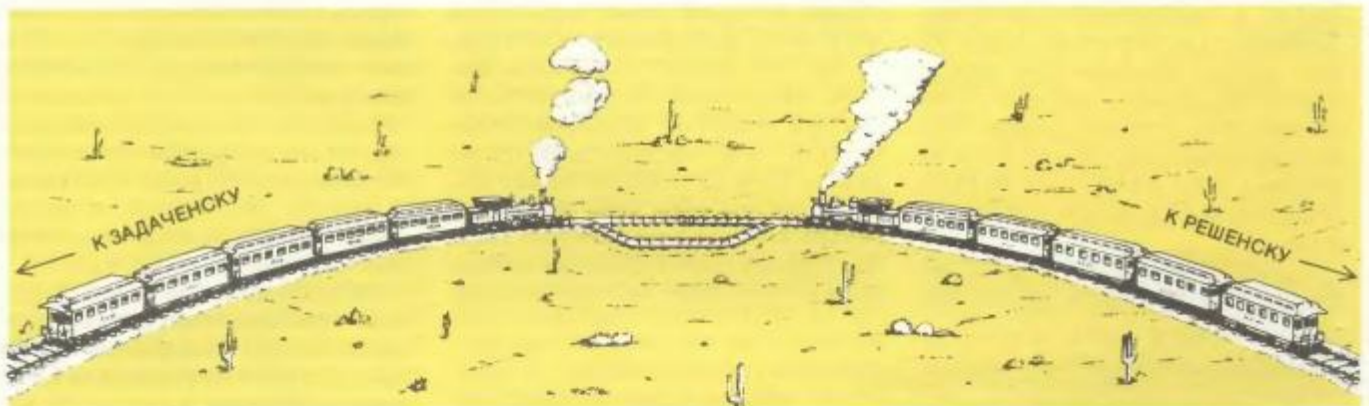
очень-то удобно. К счастью, машинист замечает справа небольшое боковое ответвление — тупик. Его длина достаточна лишь для одного вагона, у разветвления есть управляющие стрелки. Вдохновленный алгоритмическим достижением машиниста из Решенска, наш скромный герой тоже хочет попробовать свои силы.

Прежде всего машинист задаченского состава рисует на клочке бумаги схему пути (см. нижний рисунок). Затем он расписывает алгоритм и тщательно проверяет его, водя пальцем по бумаге то туда, то сюда и бормоча что-то себе под нос. После проверки алгоритма он начинает длительную серию отцеплений, буксировок и сцеплений, пока это все не заканчивается тем, что поезд оказывается полностью развернутым в обратном направлении. Причем не только порядок, в котором следовали локомотив и вагоны, сохранился, но и сами вагоны и локомотив оказались повернутыми в обратном направлении. Каким образом машинист проделал этот маневр? Лучшие решения читателей будут опубликованы в одном из следующих номеров журнала. Под словом «лучшее» подразумевает-

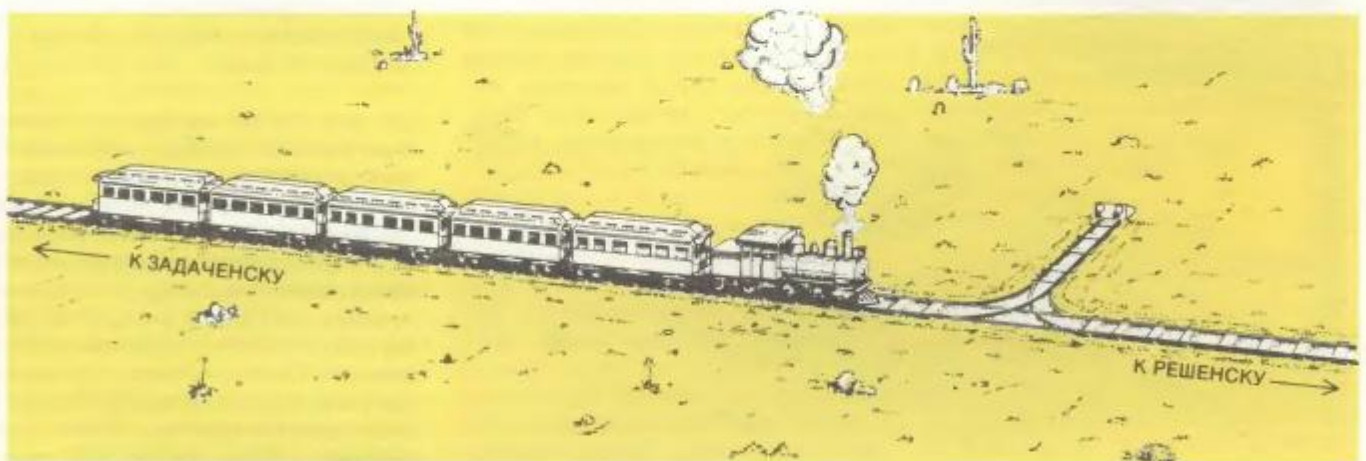
ся наиболее ясное и наиболее остроумное решение. Эта задача не так бесхитростна, как может показаться на первый взгляд.

Уже на пути в Задаченск машинист понял, что решение задачи потребовало очень больших энергетических затрат. Угольный тендер паровоза оказался почти пустым. Количество работы, затраченной во время маневров поезда, было пропорционально n^2 . В самом деле, если измерять массу в количестве вагонов, а расстояние в их длине, то работа будет пропорциональна числу вагонов n и расстоянию n . Только теперь, по пути домой, машинист задаченского поезда подумал о том, что, возможно, существует более эффективное решение. Давайте подумаем тоже, возможно ли развернуть состав за меньшее число шагов, скажем, порядка $n^{3/2}$ или даже $n \log n$?

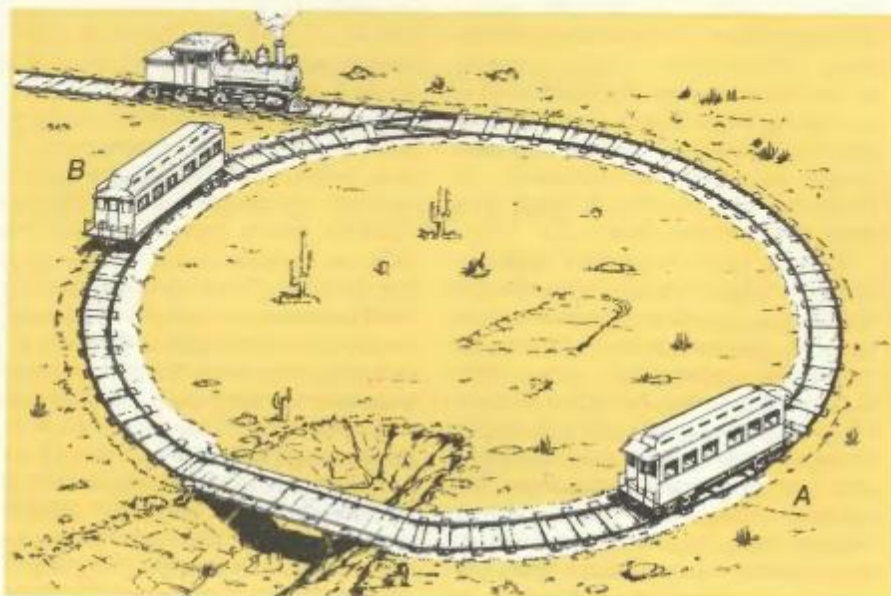
Чтобы еще лучше потренировать однорельсовые умы в искусстве алгоритмических головоломок, вот еще одна маленькая задачка. Локомотив без вагонов приближается к поворотному кругу, на котором стоят два пустых вагона. Между вагонами расположен небольшой железнодорожный мост, прочность которого позволяет



Каким образом могут разминуться поезда?



Как поезд может развернуться, чтобы машинист вернулся в город, откуда прибыл?



Локомотив должен поменять вагоны местами, не пересекая опасного моста

выдержать один вагон, но локомотива он уже не выдержит (см. верхний рисунок). Машинист локомотива должен развернуть вагоны так, чтобы они поменялись местами. Как и в предыдущих задачах, все сцепления и расцепления должны производиться только в неподвижном состоянии. Длина моста не превышает длины одного вагона. Завершив свою работу, локомотив должен покинуть поворотный круг. Решение задачи представляет собой простой алгоритм без циклов. С этим алгоритмом читатели ознакомятся в очередном номере журнала.

Со следующими двумя алгоритмическими головоломками я не был зна-

ком раньше. Они продолжают транспортную тему, начатую в задачах о поездах, однако переводят наши исследования на более высокую ступень — теперь мы будем заниматься грузовиками. Задачи этой серии я буду называть задачами разведчика пустыни. В первой задаче патрульный автомобиль разведчика пустыни имеет бак, вмещающий 10 галлонов бензина. Бак автомобиля заполняется из цистерн емкостью 50 галлонов. Несколько таких цистерн хранятся на складе. Если автомобиль может везти в качестве груза одну цистерну с бензином и если он затрачивает 1 галлон горючего на 10 миль пути независимо от того, везет он с собой цистер-

ну или нет, то каково максимальное расстояние, на которое он может удалиться от базы, прежде чем у него иссякнет горючее? Ответ, конечно, зависит от количества цистерн с бензином, хранящихся на базе. Как и во всех алгоритмических головоломках, предположим, что число цистерн на базе равно n .

Если $n = 1$, то ответ получить несложно. Автомобиль заправляет свой бак из единственной цистерны, грузит ее в кузов и отправляется в путь под жарким солнцем пустыни. Заправляясь при необходимости из цистерны, автомобиль, очевидно, пройдет 500 миль, прежде чем горючее будет полностью исчерпано. А как далеко он сможет уехать на двух цистернах? Поскольку автомобиль может везти с собой лишь одну цистерну, то, очевидно, он ответит первую цистерну на какое-то расстояние в пустыню, заправится из нее, если это необходимо, а затем вернется на базу за второй. Вторую цистерну разведчик повезет по той же дороге. Он может остановиться для заправки, а может и не останавливаться у первой, оставленной им в пустыне цистерны, прежде чем продолжить свое путешествие. Как далеко он сможет уехать, совершая такие челночные перемещения между пунктами, в которых он оставляет запасы горючего? Внезапно задача перестает казаться тривиальной.

Приведем короткий алгоритм, позволяющий патрульному автомобилю проехать путь длиной 600 миль:

заправить бак и погрузить первую цистерну
вперед 100 миль
снять цистерну и заправиться
назад на базу за второй цистерной
заправиться и погрузить цистерну
вперед 100 миль
заправиться из первой цистерны
вперед 100 миль
снять цистерну и заправиться
назад к первой цистерне
заправиться и погрузить цистерну
вперед 100 миль

На этой стадии алгоритма автомобиль удалится от базы на 200 миль. У него две цистерны: в одной осталось 10 галлонов, а в другой — 30 галлонов бензина. Поездка продолжается после того, как водитель заправляет машину из первой цистерны (оставляя ее пустой), погружает в кузов вторую цистерну и уезжает, скрываясь за барханами. Таким образом, он сможет проехать еще 400 миль, прежде чем у него кончится горючее. Полное расстояние от базы составит 600 миль. Поскольку увеличение расстояния по сравнению с первым случаем, когда



На какое максимальное расстояние сможет уехать грузовик, располагая n цистернами с горючим?



Откуда должна начать путешествие машина, чтобы успешно объехать весь маршрут?

на базе была лишь одна цистерна, составляет всего 100 миль, у читателя, наверное, возникнет справедливое подозрение, что существует лучший алгоритм решения этой задачи. Действительно, можно добиться лучшего результата.

Ну а как далеко сможет уехать разведчик пустыни, если на базе имеется n цистерн с бензином? Как и во всех алгоритмических головоломках, простой численный ответ или даже формула не годятся. Требуется составить алгоритм, дающий тот или иной ответ.

В другой части громадной песчаной территории проходит патрульный маршрут противника, объезжаемый им другим способом. В произвольных пунктах замкнутого маршрута самолет сбрасывает n цистерн с горючим. В каждой цистерне содержится определенное количество бензина, однако это количество может варьировать в значительных пределах от одной цистерны к другой (см. рисунок вверх). Поскольку этот маршрут пролегает через неприязельскую территорию, машина и водитель сбрасываются на парашютах. Они приземляются у одной из цистерн, заправляются и начинают объезд. Бензобак машины растягивающийся: он может вместить любое количество горючего независимо от того, какой емкости цистерна ему встретится на пути.

Как ни странно, по мере того как машина продвигается по маршруту, горючее никогда не оказывается исчерпанным, прежде чем она достигнет следующего пункта заправки. Другими словами, полное количество горючего в цистернах таково, что его

как раз достаточно, чтобы машина могла полностью объехать маршрут, не больше и не меньше. Это странно, потому что, как я уже говорил, выбор пунктов для расположения цистерн с горючим и его количество в каждой цистерне совершенно произвольны. Например, вполне может случиться так, что машина начнет путешествие от цистерны, не содержащей достаточного количества горючего для того, чтобы можно было добраться до другой ближайшей цистерны, и разведчик застрянет посреди пустыни. В чем тут секрет?

Наш разведчик пустыни знает об этих патрульных поездках противника и откровенно озадачен ими. О противнике известно, что он сумасшедший и необыкновенно удачливый. Младший по чину помощник нашего разведчика, который проводит бессонные ночи в своей палатке, решая различные головоломки, находит ответ. «По-видимому, сэр, дело в том, что независимо от того, куда сбрасываются цистерны и сколько горючего они содержат, всегда можно найти такой пункт, начав с которого противник сумеет пройти весь маршрут».

Предлагаю читателям самим поразмыслить и открыть секрет. Разумеется, речь идет об алгоритме. Требуется шаг за шагом описать процедуру, в результате выполнения которой можно найти по крайней мере один заправочный пункт, где машина может начать (и завершить) свою патрульную поездку. Алгоритм должен также указывать направление, в котором следует двигаться машине. Ошибка в направлении может привести к катастрофе. Лучшие ответы к

этой задаче так же, как и к железнодорожным задачам, будут опубликованы в одном из ближайших номеров журнала.

В начале статьи я обещал дать ответ на задачу о двух поездах и пчеле. Интересные головоломки часто отличаются тем, что вводят в заблуждение решающего, в особенности когда задача имеет простое решение. Описывая бесконечный процесс, в котором пчела мечется между двумя поездами, я намеренно пытался запутать читателей. Чтобы решить задачу, необходимо лишь понять, что пчела находится в полете ровно столько времени, сколько требуется поездам для того, чтобы встретиться. Половину расстояния между Задаченском и Решенском они преодолевают ровно за час. Следовательно, пчела, скорость полета которой всегда равна 90 км/ч, пролетит 90 км.

С этой задачей связана одна легенда, за правдивость которой я, впрочем, не могу поручиться. Говорят, что в свое время кто-то задал эту задачку Джону фон Нейману, одному из величайших математиков нынешнего столетия. Он тотчас ответил: «Конечно, 90 километров».

«Я так и знал, — сказал спрашивающий его, — что вы найдете легкий способ».

«Какой легкий способ?» — сказал фон Нейман. Оказывается, он просуммировал в уме бесконечный ряд.

ОТКЛИКИ на статью в майском номере о машинках Брайтенберга были полны энтузиазма. В них было все — от практических предложений до философских обобщений. На-

помним, что машинки Брайтенберга — это чисто символические творения. Они представляют собой платформу с печатной платой, двумя передними и двумя задними колесами, набор сенсоров (обычно два глаза) впереди и два моторчика, вращающие задние колеса. Построенные даже на простейших электронных схемах, машинки демонстрируют удивительно разнообразное поведение. Есть и светлюбивые машинки, замирающие в молчаливом восторге перед светящимися шарами, есть и агрессивные, которые набрасываются на источники света, стремительно выезжая из окружающей тьмы.

Дж. Коппола из Шеррилла (шт. Нью-Йорк) утверждает, что приблизительно за 30 долл. можно построить настоящую машинку с фанерным корпусом, стандартными моторчиками и электронными компонентами. Машинку конструкции Копполы удобно модифицировать для исследования различных типов поведения. Любители конструировать могут сами сделать такие машинки с различным характером поведения и устроить соревнование своих детищ в каком-нибудь городском парке при свете ярких уличных фонарей.

Т. Наппе из Дрешера (шт. Пенсильвания) напомнил мне о замысловатой машинке, сконструированной в 50-х годах У. Уолтером из Бристольского университета. Устройство это называлось черепахой. По словам Наппе, «у него было одно ведущее колесо и два свободно вращающихся на неподвижной оси поддерживающих колесика. Управляющий моторчик поворачивал ведущее колесо и его движущий мотор вокруг вертикальной оси. И управляющий, и движущий моторы работали постоянно, но их можно было переключать на вдвое меньшее число оборотов при помощи двух реле. Эти реле управлялись схемой на двух электронных лампах, на входе которой был фотоэлемент, поворачивающийся вместе с ведущим колесом рулевым механизмом. Поскольку движущий и рулевой моторы имели лишь два состояния и никогда не выключались, черепаха двигалась к источнику света по циклоидной траектории».

Чтобы получить изменяющееся поведение у машинки Брайтенберга, я предложил схему, состоящую из четырех нейронов, простейших вычислительных элементов, являющихся абстрактными эквивалентами нейронов мозга. Ф. Палмер из Чикаго указал на то, что достаточно будет и двух нейронов. В его схеме проводник, несущий входной сигнал, разветвляется на две линии, каждая из кото-

рых подсоединяется к нейроду с порогом 1. При этом один из нейронов действует тормозящим образом на другой. Последний передает то, что остается от сигнала, в качестве выхода системы.

Р. Барух из Бэй-Сайда (шт. Нью-Йорк) сделал одно любопытное наблюдение. Он согласен с Брайтенбергом, что посторонние наблюдатели могут подумать, что даже такие простые машинки обладают способностью проявлять эмоции. Барух замеча-

ет, что, возможно, отношение к нашим собственным эмоциям можно объяснить аналогичным образом. Он пишет: «Может быть, человеческий мозг с его мириадами сложных обратных связей лишь иллюзорно рассматривает себя как нечто обладающее эмоциями и разумом в обычном понимании этого слова, хотя на самом деле за этими понятиями не скрывается ничего, кроме переключаемых схем».

Наука и общество

Успешная трансплантация

ПО СООБЩЕНИЯМ мексиканских нейрохирургов, им впервые удалось вылечить болезнь Паркинсона путем пересадки ткани в мозг. В свое время эксперименты на молодых пациентах дали впечатляющие результаты, и сейчас этот подход испытывается в медицинских центрах США. Однако предстоит еще большая работа, так как необходимо доказать безопасность подобных операций, выяснить, сколь продолжительны их последствия и эффективны ли они для пожилых больных.

Болезнь Паркинсона развивается вследствие дегенерации нервных волокон, отходящих от участка мозга, называемого substantia nigra, к структуре, обеспечивающей двигательную активность — неостриатуму; эти волокна функционируют при участии нейромедиатора дофамина. Восемь лет назад в экспериментах на животных было показано, что пересадка ткани из substantia nigra эмбриона в неостриатум взрослой особи, больной паркинсонизмом, приводит к восстановлению соответствующих функций. Однако подобная трансплантация у человека связана с серьезными этическими проблемами. Существует альтернативный подход — пересадка в неостриатум ткани мозгового слоя надпочечников; он также разработан в опытах на животных. В 1985 г. группа шведских исследователей предприняла попытку лечить взрослых пациентов, страдающих болезнью Паркинсона, путем аутоотрансплантации ткани надпочечника, но добиться су-

щественного улучшения не удалось.

И. Мадрасо из Медицинского Центра «Ла Паса» и Р. Дрюкер-Колина из Национального независимого университета в Мехико с сотрудниками ввели в процедуру трансплантации небольшую, но, по-видимому, важную модификацию: они пересаживали ткань надпочечника в определенный участок поверхности неостриатума в полости желудочка мозга, где она омывается спинномозговой жидкостью, содержащей питательные вещества. Первые две такие операции были сделаны мужчинам 35 и 39 лет с тяжелой формой паркинсонизма. Состояние больных значительно улучшилось. Так, один из них до операции передвигался только в инвалидном кресле, а через 10 месяцев уже работал на ферме и играл в футбол.

К настоящему времени эти исследователи оперировали более 10 нетрудоспособных больных обоего пола в возрасте от 35 до 55 лет. По словам Дрюкер-Колина, во всех случаях эффект был столь же ярким, как и у первых пациентов (две из них с тех пор умерли, однако, как он утверждает, причина смерти не имела отношения к операции).

Чем обусловлен эффект трансплантата? Хромаффинные клетки мозгового слоя надпочечников обычно секретируют адреналин, а не дофамин. Более того, маловероятно, что у пересаженных клеток могут отрастать волокна, образующие синаптические контакты с нейронами неостриатума. Но дофамин — это промежуточный продукт синтеза адреналина. Есть указания на то, что хромаффинные клетки надпочечников, пересаженные в мозг, могут выделять некоторое ко-

личество дофамина в спинномозговую жидкость. Оттуда дофамин может путем диффузии проникать в неостриатум, где его не хватает и, во-первых, обеспечивать передачу нервных импульсов, во-вторых, усиливать реакцию нейронов неостриатума на тот дофамин, который в незначительном количестве поступает из волокон, отходящих от substantia nigra. В редакционной статье, сопровождающей публикацию результатов мексиканских ученых в журнале New England Journal of Medicine, Р. Мур из Медицинской школы Нью-Йоркского университета в Стони-Бруке высказывает иное предположение: клетки трансплантата секретируют некий фактор, способствующий росту нервных волокон, обеспечивающих связь substantia nigra и неостриатума.

Но как бы то ни было, эта работа, по мнению Мура, «является важным событием в истории лечения болезни Паркинсона», и он настаивает на том, чтобы Национальные институты здоровья начали независимые клинические испытания в нескольких медицинских учреждениях. В апреле группа под руководством Дж. Аллена в Медицинском центре Университета Вандербилта впервые в США осуществила такую операцию двум пациентам в возрасте около 40 лет со средней тяжестью заболевания. А. Либберман из Медицинского центра Нью-Йоркского университета сообщил о своем намерении в сотрудничестве с мексиканскими хирургами испытать их метод на тяжелобольных, возраст которых не ставит препятствий хирургическому вмешательству в мозг.

Как выбрать супруга

У СЕРЫХ древесных лягушек, обитающих в лесах восточной части США, право выбора партнера для спаривания принадлежит самкам. Сидя где-нибудь на берегу пруда в темноте летней ночи, самка прислушивается к хору самцов, издающих настойчивое вибрирующее кваканье. Свой выбор она выражает самым непосредственным образом — прыгает к своему партнеру и для пушей верности может слегка толкнуть его носом.

На чем самка основывает свой выбор? Прыгает ли она автоматически к источнику самого громкого звука (а им обычно бывает тот самец, который просто сидит ближе, чем другие), как полагали некоторые биологи, или она более разборчива? Г. Кламп и Г. Герхардт из Университета шт. Миссури пишут в журнале «Nature»,

что самки по меньшей мере одного вида серых древесных лягушек, *Hyla versicolor*, прислушиваясь к кваканью самцов, руководствуются вполне определенными критериями их вокальных способностей.

Исследователи проверяли, какое относительное значение имеют для самок *H. versicolor* три характеристики кваканья самцов: продолжительность одной трели, скорость следования отдельных звуков в трели и скорость повторения трелей. Самку помещали в камеру с двумя громкоговорителями, по которым подавались искусственно генерированные трели самцов, имеющие различные характеристики. Выбор самки проявлялся в том, что она прыгала в направлении громкоговорителя или на него.

Наиболее важным критерием оказалась скорость следования отдельных звуков в трели. В первых экспериментах выяснилось, что этот показатель — единственный отличительный признак, по которому лягушка (и даже человек) может отличить самца *H. versicolor* от самца другого вида серой древесной лягушки, *H. chrysoscelis*. По данным Клампа и Герхардта, самка *H. versicolor* будет двигаться на призывы самца *H. chrysoscelis* лишь в том случае, если не слышит ни одного призыва *H. versicolor* (который имеет более медленный темп), хотя бы слабого и далекого. Тем самым она избегает того, что, по словам Герхардта,

является в эволюционном смысле «величайшей ошибкой, какую может совершить самка лягушки»: гибридное потомство этих видов является стерильным.

Второй по важности фактор — продолжительность трели. Самки *H. versicolor* предпочитают более длинные трели, даже если короткие повторяются чаще. Кламп и Герхардт цитируют результаты, полученные исследователями из Коннектикутского университета, которые свидетельствуют, что серые древесные лягушки расходуют энергию быстрее в том случае, если испускают сравнительно редкие, но длинные трели. В этой работе было установлено также, что с увеличением числа конкурирующих самцов на данной территории продолжительность их трелей также возрастает. Как отмечает Герхардт, по-видимому, разборчивость самок «заставляет самцов приближаться к пределу своих физических возможностей». Герхардт и Кламп пришли к выводу, что способность самца к соревнованию в брачной песне отражает его «энергетические затраты на ... ухаживание» и косвенно его физические данные.

Герхардт отмечает, что некоторые самцы завоевывают самку без единой трели. Такой «молчун» попросту усаживается рядом с голосистым конкурентом и, когда самка приближается, быстро овладевает ею.



САМКА СЕРОЙ ДРЕВЕСНОЙ ЛЯГУШКИ лезет на громкоговоритель, из которого звучит определенная брачная трель самца.

Жизнь с Айлой и ее друзьями: Джин Оэль и новый феномен «романы ледникового периода»

БРАЙЕН М. ФАГАН

ДО НЕДАВНЕГО времени, кроме археологов, мало кто знал, какой была Европа 20 тыс. лет назад. Трудно поверить, что тогда это была суровая арктическая равнина — мир столь далекий от привычных представлений о «европейском» ландшафте. Если мы, современные люди, когда-либо и задумываемся о его обитателях — кромаignonцах или неандертальцах, большинство из нас представляет себе разве что окаменелые кости или звероподобных существ, вооруженных орудиями каменного века и изредка рисовавших свою добычу на стенах темных пещер.

Как же случилось так, что эта малопривлекательная часть человеческой истории, открытая прежде только археологам, вдруг стала объектом массовой ностальгии? Мамонты и человек каменного века вдруг стали главными персонажами популярных литературных сочинений, а ледники и суровые арктические степи — местом действия эпических повествований времен ледникового периода. Кажется, люди открыли новый «золотой век» — время, когда *Homo sapiens* осваивал нашу планету.

В центре этого интереса, несомненно, находятся книги Джин М. Оэль. Три ее романа «верхнепалеолитического» цикла «Дети Земли» («Клан пещерного медведя», «Долина лошадей» и «Охотники на мамонтов») уже разошлись общим тиражом 14 млн. экземпляров. Эти книги переведены на 18 языков и изданы в 22 странах. Не беда, что фильм, поставленный по роману «Клан пещерного медведя», довольно быстро сошел с экранов, — уже написан новый, четвертый роман, и задумано еще два из той же серии.

Около 400 тыс. человек (большинство из них, разумеется, поклонники Дж. Оэль) посетили прошлой зимой выставку «Темные пещеры, яркие видения» — одну из самых успешных экспозиций, организованных Амери-

канским музеем естественной истории за все 118 лет его существования. Теперь же к Дж. Оэль на этом своеобразном литературном поприще присоединились два известных ученых — палеонтолог Бьерн Куртен и антрополог Элизабет Маршалл Томас. Похоже, «романам ледникового периода» обеспечено прочное будущее. Поэтому закономерно спросить: откуда возник этот феномен и каким образом он захватил так много людей, не причастных к профессиональной археологии?

Одним из его составляющих была сама археология, точнее — ее современное развитие. Последние 15 лет интенсивных раскопок принесли ученым гораздо более широкое понимание этой эпохи в истории человечества. Многолетние, тщательные исследования тысяч стоянок на всех континентах начали складываться в сложную картину различных экономических систем, технологий и даже форм социальной организации, с помощью которых *Homo sapiens* смог успешно адаптироваться к постоянно меняющимся условиям среды обитания в ледниковый период.

Упрощенные схемы эволюции каменных и костяных орудий постепенно уступали место представлениям о более сложных технологиях человека каменного века, использовавшего также дерево и растительные волокна. Последние достижения генетики и палеодонтологии (науки об изменениях зубной системы древних людей) позволили проникнуть далеко в глубь истории человечества и впервые четко определить направления древних миграций наших предков. Пещерная живопись, первобытная скульптура — миниатюрные статуэтки людей и животных, слабо заметные насечки на оленьих рогах вместе с богато украшенными древними захоронениями дали ученым возможность судить о верованиях и представлениях палеолитического человека. Складывающаяся в совокупности картина образа жизни наших предков привлекает к себе огромное внимание. Б. Куртен и Э. Томас пытаются удовлетворить этот искренний и естественный инте-

рес современных людей к культуре каменного века как части нашего общечеловеческого наследия.

У КАЖДОГО археолога бывают моменты видения, когда рассматриваемые им безмолвные каменные орудия или остатки пищи древнего человека неожиданно раскрывают перед ним панораму, наполненную жизнью и энергией. К сожалению, мало кто из археологов пытался когда-либо перенести эти свои впечатления на бумагу и написать о каменном веке как о живом, трепещущем времени, когда у древних людей были свои чувства и ценности, тонкие отношения с окружающей Природой. Популярные сочинения Б. Куртена прежде всего отражают его страстную веру в то, что ученые должны делиться с широкой публикой своими знаниями об истории ледникового периода. Это важно, на его взгляд, не только потому, что человеку всегда интересно оглянуться назад. Всем людям, считает Куртен, необходимо осознать, что прошлое когда-то было живым и формировало наш собственный мир.

Куртен, профессор Хельсинкского университета, — известный финский палеонтолог, посвятивший свою жизнь исследованиям в Арктике и изучению млекопитающих ледникового периода. Он искренне верит, что наука дает реальную возможность взглянуть на жизнь древнего человека. Сборник его очерков «Как заморозить мамонта» открывает нам мир ледникового периода. Это был мир, населенный людьми с их мыслями, чувствами и ценностями, а вовсе не ужасающая арена первобытной жизни с грубыми монстрами или свирепыми дикарями.

Верхнепалеолитические обитатели Европы и Азии — какими их видит Куртен — обладали богатой духовной культурой, которая проявлялась в изощренном украшении их орудий труда, предметов быта, стен населяемых ими пещер. Он верит, что это было время без войн, где героями были самые обычные люди. Процветанию их культуры способствовала огромная продуктивность ледниковой тундростепи, населенной «мамонтной фауной» — мамонтами, зубрами и другими крупными травоядными животными. Напротив, жизнь в послеледниковое время представляется Куртену в гораздо более мрачном свете. Климат теплел, все шире распространялись леса, исчезали арктические тундростепи. В этих условиях быстро вымирала мамонтная фауна и сокращались ареалы других промысловых животных. Древний человек тем не менее выжил, но выжил,

Брайен М. Фаган является профессором антропологии в Калифорнийском университете в Санта-Барбаре (США).

как пишет Куртен, «...чтобы отныне работать до седьмого пота; продолжительность его жизни сократилась, а рабство, каннибализм и войны стали неотъемлемой ее частью.»

Куртен считает, что наука ушла намного дальше обыденных стереотипов и расхожих утверждений, заставлявших нас верить, что жизнь людей ледникового периода была короткой, жестокой и дикой. Один из способов, которым он борется с этими стереотипами, — написание популярных романов из истории каменного века. Так появился «Однозубый» — продолжение более раннего повествования о жизни европейских неандертальцев, которых Куртен представляет людьми нашей плоти и крови.

В «Однозубом» описывается критическое время, когда люди современного типа и неандертальцы жили бок о бок друг с другом. Главный герой романа — Тайгер (Тигр), один из первых представителей *Homo sapiens*, который присоединяется к общине неандертальцев, где он и его семья живут мирно и счастливо. Когда же в результате несчастного случая жизнь его брата оказывается в опасности, Тайгер посылает своего любимого сына Белое Копье в незнакомые земли, чтобы привести оттуда могущественного исцелителя.

Описание путешествий Белого Копья временами приобретает мифологический характер. Оно открывает доисторический мир, управляемый Стражами — облакоподобными гигантами, которые внушают храбрость, или, наоборот, угрожают и пугают людей. Тем не менее события в книге выглядят вполне реальными и отражают социальные отношения, ситуации и опасности, с которыми мог столкнуться любой охотник каменного века. Все описываемые события, например промысловая экспедиция на рыбное озеро, соотносены с определенными временами года. Мы ощущаем, как налетают свирепые штормы или дует мягкий летний ветерок. Вот созревают ягоды, и по мере того, как герои романа собирают их, читатель все более захватывают краски короткого арктического лета, когда весь мир вокруг оживает на несколько месяцев. Куртен пишет об умелых изготовителях каменных орудий и наделяет их изделия почти осязаемыми для читателя качествами. Становится ясно, почему древние владельцы так ценят свои орудия, порой рассматривают их как нечто мистическое: мир символического, мир неизвестного лежит для них совсем рядом.

Проза Куртена, временами лирическая, живо воссоздает чередование

времен года. Он делает реалистичной, почти видимой первобытную охоту. «Они (охотники) предпочитали вступать в схватку спаянными четверками, действуя парами: один охотник был вооружен массивным ударным копьем с широким лезвием, другой — тяжелым ручным топором». Его описания, которые могут основываться только на долгих часах, проведенных за изучением каменных и костяных изделий древнего человека, передают ощущения динамики и мастерства в применении охотничьих орудий. Белое Копье выслеживает Однозубого — огромного самца мамонта с одним бивнем — в течение двух месяцев. Но мамонт погибает в жестокой схватке с другим подобным гигантом. Как утверждает Куртен, это было вполне реальное событие, подтверждением которому служит палеонтологическая находка в Новом Свете.

Конечно, «Однозубого» можно считать мистическим повествованием из жизни людей ледникового периода 35 тыс. лет назад. Но за легендами или описаниями давно исчезнувших ландшафтов, орудий труда или охоты лежит глубокая осведомленность автора во всех деталях плейстоценовой палеонтологии и археологии. Что особенно отличает книгу Куртена, так это ее научная достоверность. Кроме того, ее автор, ученый-археолог, демонстрирует литературное мастерство и незаурядную фантазию. Бьерн Куртен напоминает в этом Сибелиуса: он наполняет звуками северную природу как древнюю, так и современную.

«Меня зовут Янан, и моя история началась там же, где она и закончилась — в жилище Дикого Гуся, стоявшем на самой верхней террасе северного берега Реки Форелей». Если «Однозубый» переводит жизнь ледникового периода в легенду, то роман Элизабет Маршалл Томас «Месяц северного оленя» является повседневным, временами жестоким, но всегда исключительно реалистичным повествованием от лица 13-летней девочки, жившей в Сибири около 20 тыс. лет назад. Как и Куртен, Э. Томас обладает огромным опытом в изучении жизни охотников-собирателей. Однако он обретен ею не в археологических раскопках, а среди живых людей — бушменов Калахари. Поэтому Э. Томас хорошо чувствует сложную систему взаимоотношений охотников-собирателей с окружающим миром как в Арктике, так и в тропиках. Вместо того чтобы написать приключенческий роман, она повествует о короткой жизни в ус-

ловиях, о которых большинство из нас не имеет ни малейшего представления.

Янан живет в суровой реальности постоянного голода и холода. Когда ее отец погиб во время охоты, а мать умерла при родах очередного ребенка, девочке и ее младшему брату пришлось самим заботиться о себе. Много недель они скитаются в поисках своих родственников. И когда, наконец, обретают кров и безопасность, их появление вызывает социальный конфликт (подобное нередко случается и в группах современных бушменов). Он был вызван как неожиданностью их появления, так и неопределенностью их реальных родственных связей с членами новой группы и сложностью ее взаимоотношений с соседними коллективами. Все те же проблемы существуют и в наши дни в обществах охотников-собирателей.

Мне никогда не приходилось читать роман, в котором были бы так прекрасно изображены все трудности «племенной» жизни — постоянные разговоры о родственных связях и обязанностях, вспыхивающие ссоры, непрерывные изменения в системе социальных взаимоотношений, которые возникают каждый раз, когда люди спешат разойтись, чтобы избежать потенциальных обострений и конфликтных ситуаций. Это не роман о «золотом веке», а повествование о замкнутом, исчезнувшем мире, где символические силы оказываются столь же могущественными, как и суровые условия существования человека в Арктике.

Возможно, что «Месяц северного оленя» был начат не как литературное сочинение, но постепенно превратился в чисто художественное произведение. Это превращение, однако, принесло великолепные результаты. Как художественная реконструкция жизни охотников-собирателей «Месяц северного оленя» обладает неотразимой достоверностью, которая делает это произведение уникальным.

КАК «Однозубый», так и «Месяц северного оленя» написаны учеными. Но подлинным символом «ностальгии ледникового периода» по праву следует считать произведения Джин Озль. Ее романы «Клан пещерного медведя», «Долина лошадей» и «Охотники на мамонтов» рассчитаны на самого широкого читателя. И в этом смысле они имели огромный успех. Джин Озль завоевала внимание миллионов читателей, которые никогда не задумывались о доисторическом прошлом человечества, пока сила авторского воображения не возвра-

тила их назад в каменный век, во времена, когда европейские неандертальцы и представители *Homo sapiens sapiens* впервые встретились друг с другом.

Энтузиазм, с которым Дж. Озль относится к ледниковой эпохе, совершенно неподделен; она пишет искренне, глубоко захваченная своей темой. Да и трудно ожидать иного: халтурщику от пера попросту не хватило бы мужества овладеть всеми тонкостями науки о древнем человеке или противостоять бесконечным придиркам профессионалов-археологов, которые неизбежны при таком популярном жанре. Но Дж. Озль такой же профессионал, хотя и в своей области. Ее цель — достичь массового эффекта, и ее деятельность наилучшим образом соответствует достижению этой задачи.

Главную героиню повествования Дж. Озль — Айлу никак нельзя назвать рядовой личностью. Ее образ нарисован эпическими красками. В романе «Охотники на мамонтов» Айла приручает и одомаживает дикую лошадь, хотя для того времени нет никаких свидетельств об одомашнивании человеком этого животного (соплеменников Айлы, во всяком случае, охватывает благоговейный ужас). Айла оказывается прекрасным лекарем и диагностом, а в ее сумке всегда хранится богатый набор различных лекарственных растений. Наконец, она изобрела приспособление, позволяющее ей с большей силой метать свое копье.

Таким образом, Айла предстает перед нами в образе чудо-женщины верхнего палеолита. Конечно, все романы серии «Дети Земли» являются популярной развлекательной продукцией (сейчас их уже можно назвать налаженным литературным производством), где Айле принадлежит роль коммерческой эпической героини. Чтобы исполнить ее с необходимым блеском, Айла должна быть ярче, чем обычная женщина, и должна пережить запоминающиеся приключения. Своими достижениями и способностями она не уступает ни одному мужчине, и в этом «женском равноправии» есть тоже своеобразная для нас привлекательность. И конечно, Айла сексуально активна, чувственна и эмоционально динамична. Такой образ мы можем найти в большинстве современных популярных романов. В принципе Айла — стандартная героиня нынешних бестселлеров, перенесенная в обстановку ледникового периода. И именно эта ее очевидная современность помогает читателю чувствовать себя увереннее в этой непривычной обстановке.

НО ВСЕ ЛИ благополучно у Дж. Озль с наукой? Большинство сделанных ею описаний жилищ охотников на мамонтов с научной точки зрения безупречны. Они явно базируются на длительном штудировании научной литературы и многочасовых беседах с Ольгой Соффер (одна из авторов статьи «Жилища из костей мамонтов на Русской равнине». См. «В мире науки», 1985, № 1. — Ред.) из Иллинойского университета в Эрбана-Шампейне и другими археологами, обладающими первоклассным личным опытом, знанием стоянок, жилищ и каменных орудий. Чтобы придать больше живых деталей описанию песнопений древнего шамана, Дж. Озль обратилась к замечательной монографии советского автора о доисторических музыкальных инструментах из костей мамонтов*. В романе «Долина лошадей» она дает весьма обстоятельное описание различных культур охотников-собирателей верхнего палеолита отдельных районов Европы. Не менее захватывающие и другие ее сочинения, которые ярко и правдоподобно рисуют жизнь и способы охоты людей верхнего палеолита.

И все же явно для комфорта читателей Дж. Озль слегка «подчистила» условия жизни ледникового периода. Независимо от того, как искусно были построены тогда человеческие жилища, для их обитателей они были средоточием самых разнообразных запахов. Интерес к этой «обонятельной» стороне доисторического бытия большинство из нас сочтет малопривлекательным. Наши предки, вероятно, думали иначе. Запахи их домашнего окружения быстрее всего сигнализировали им, кто находится внутри жилища, а кто отсутствует; каково состояние здоровья всей группы и какая сейчас готовится пища. Увы, в романах Дж. Озль доисторические жилища временами выглядят столь тоскливо чистыми, как домики современных американских пригородов.

Никто не живет вечно; реальность этого триумфа для общин охотников верхнего палеолита была особенно суровой. Средняя продолжительность жизни в этих группах была не более 25 лет, а у женщин еще короче из-за высокой смертности при родах. Но для Айлы эти стороны жизни не существуют или почти не имеют никакого значения.

* Речь идет о книге: Бибииков С.Н. Древнейший музыкальный комплекс из костей мамонта. Очерк материальной и духовной культуры палеолитического человека. — Киев: Наукова думка, 1981. — Прим. ред.

Айла красива с точки зрения всех современных идеалов красоты. Конечно, поэтическое воображение позволяет писателю уклоняться от некоторых реальностей. Но очевидно, что соплеменники и поклонники Айлы (в романе «Охотники на мамонтов» их у нее двое) должны были весьма благосклонно реагировать на некоторые особенности ее внешности, например волосы под мышками или другие детали палеолитического туалета. Однако ее любовные приключения могут быть без труда перенесены в любую историческую обстановку без каких-либо изменений. Отметим еще одну деталь: в своей кожаной сумке с лекарственными растениями Айла всегда носит травы с контрацептивными свойствами. Это достаточно произвольное обращение с реальными медицинскими и ботаническими познаниями человека каменного века позволяет Дж. Озль проводить свою героиню через серию таких головокружительных приключений, которые вызвали бы чувство зависти у любой современной женщины («свободной от предрассудков»).

Это и есть Романтика, Приключения, Избавление в традициях Эдгара Барроуза, Сесиль де Миль или Маргарет Митчелл. Ледниковый период становится таким образом новейшей, еще не исследованной областью литературной фантазии, куда современный *Homo sapiens* может обратиться в любой момент, как только его нынешний мир покажется ему невыносимым. Дж. Озль освоила новое литературное пространство для всех, кто уже достаточно пресытился приключениями на диком Западе, в средневековье и в открытом космосе или даже Национальной футбольной лигой.

НЕМНОГИЕ ученые смогут придраться к манере, с какой Дж. Озль виртуозно выстраивает вполне точные данные об образе жизни людей верхнего палеолита. Гораздо меньше восторга вызывают ее попытки реконструировать социальные отношения и верования доисторического человека. Казалось бы, учтены все основные, известные науке факты — кооперация при охоте, обмен между соседними общинами, высокая роль родственных связей, браки за пределами кочевой группы и т. п. Но мне все равно кажется фальшивым то, как герои романов демонстрируют свои чувства, взаимодействуют друг с другом или связаны с символическим миром. Все время сохраняется ощущение, что речь Айлы, ее эмоции и отношения с окружающими нам очень знакомы; в действительности они почти не отличимы от наших сов-

ременных норм. Это — героиня, которой случайно довелось носить палеолитические украшения и управляться с каменными орудиями ледникового периода. Можно не сомневаться, что обычные люди верхнего палеолита вели себя совершенно иначе.

И именно здесь антропологи вроде Э. Томас, которые действительно долго жили среди охотников-собирателей, имеют неоспоримые литературные преимущества перед Дж. Озль. Поэтому «Месяц северного оленя» выглядит куда более убедительным отображением того, какой же все-таки могла быть реальная жизнь женщины палеолитической эпохи. Роман Э. Томас посвящен обычным людям, жившим в глубоко символическом мире, где трудности и стрессы родоплеменного быта постоянно то накалялись, то ослабевали. Здесь люди могли часами заниматься спорами и сплетнями, обсуждать свои сложные социальные отношения. Неудивительно, что их общество было весьма отличным от хорошо организованного «тематического парка» ледникового периода, где прогуливаются Айла и ее ручная лошадка. В «Месяце северного оленя» нет героев, которые были бы сильнее окружающей их среды — кроме, пожалуй, скрытых сил, управляющих миром. Зато в «Детях Земли» все персонажи приобретают эпические пропорции.

Но не следует винить за это Дж. Озль: она работает совсем в другом жанре. Ее романы — это популярные повествования, своего рода прогулки в жизнь верхнего палеолита. Напротив, для ученых типа Куртена и Томас их романы скорее являются средством для умственных построений, основанных на науке. Их можно назвать «погружениями» в определенные периоды ледниковой эпохи — книгами о сменяющейся реальности времен года, о том, какими были тогда обычные люди. Именно этот отпечаток достоверности (смешанный с пониманием того, как любое явление природы — например, облака — могло порождать символические формы) делает сочинения Куртена и Томас наиболее примечательными. Эти книги никогда не вызовут массового культа, но они рисуют нам неотразимую по своей убедительности картину эпохи выдающихся человеческих достижений.

БОЛЬШИНСТВО современных дебатов о *Homo sapiens* спрятано глубоко в недрах специальной научной литературы и практически никогда не достигает широкой публики. Если бы было больше таких писателей,

как Куртен и Томас, способных сочетать науку и художественную фантазию, мы бы имели совершенно новый литературный жанр — археологическую фантастику, способную донести современные исследования доисторического прошлого до массовой аудитории. Воссоздавая убедительную картину на основе строго достоверных научных данных и воображаемых реконструкций, писатель-археолог может вернуть прошлое к жизни, свободной от иссушающих ограничений академического собрания. С другой стороны, новейшие исследования и связанные с ними научные дискуссии будут доступны для более широкого круга читателей. Пока такой литературный жанр отсутствует, массовая аудитория вынуждена довольствоваться весьма далекими от достоверности картинами того, какой была в действительности жизнь наших предков в ледниковый период.

Притягательность «романов ледникового периода», вероятно, отражает реальные трудности, встающие перед людьми, которые пытаются понять суть времени верхнего палеолита, посещая музеи или даже пещеры Дордони с их наскальными рисунками. Увы, древняя наскальная живопись пропадает при ярком свете электрических ламп, а каменные орудия рассеяны по десяткам музеев всех стран мира. И только время от времени специальные выставки воссоздают уникальные образы далекого прошлого. «Темные пещеры, яркие видения: жизнь в Европе в ледниковый период» — один из самых удачных тому примеров. Это каталог выставки в Американском музее естественной истории, которая собрала рассеянные сокровища различных палеолитических «мастеров» под одной крышей. Подготовленный Рэнделлом Уайтом прекрасно иллюстрированный каталог-путеводитель выделяется своей четкой организацией и глубоко современным подходом. Он подчеркивает, что основные черты эпохи уже достаточно хорошо известны. Будущее не дает особых надежд на сногсшибательные открытия в поле. Скорее, археологов-специалистов по верхнему палеолиту ждут месяцы утомительных анализов в лабораториях. Центр поисков все более смещается от вопросов «где» и «когда» к проблемам «как» и «почему».

Данное Р. Уайтом весьма осторожное описание жизни верхнего палеолита резко контрастирует с повествованиями писателей-романистов. Этнографические аналогии, например, сейчас кажутся куда менее полезными и информативными, чем нас в этом стремились убедить ученые предыду-

щего поколения. Как предупреждал покойный французский археолог А. Леруа-Гуран, мы не должны допускать, чтобы человек верхнего палеолита разговаривал перед нами «с акцентом огнеловца XIX в. или современного жителя Судана».

Как считает Уайт, размеры охотничьих групп верхнего палеолита широко колебались по временам года, частично из-за скудности пищевых ресурсов, но также и как способ разрешения внутренних социальных конфликтов. По его мнению, пик творческой активности людей верхнего палеолита был связан с периодами, когда отдельные кочевые группы собирались вместе для обмена или общеплеменных церемоний, например инициаций в темных пещерах.

Р. Уайт весьма осторожен в вопросах социальной организации и ритуалов. Он как бы вскользь признает, что разница между отдельными захоронениями на одних стоянках может отражать различия в социальном статусе погребенных и что некоторые находки в ритуальных пещерах типа Тюк д'Одубер в Пиренеях позволяют говорить о связи между возрастом и социальным статусом. Как и все его научные предшественники Уайт пытается понять смысл и цель первобытного искусства. Действительно ли люди мадленской эпохи вели счет времени по лунному календарю? Была ли пещерная живопись средством для «оживления» убитых охотничьих животных или хранилищем экологических знаний, передававшихся от поколения к поколению? Пока мы просто не знаем этого.

Тысячи людей посетили выставку «Темные пещеры, яркие видения». Они вглядывались в изящные силуэты бизонов, статуэтки «палеолитических Венер» и даже в прекрасную реконструкцию жилища из костей мамонта со стоянки в Межириче на Украине*. Большинство из них читали романы Дж. Озль; в действительности я даже слышал, как многие вспоминали об Айле. Это выглядело так, как будто они чувствовали определенную близость к древним охотникам и художниками. Преобладающим было ощущение того, что умственные процессы и эмоции людей, живших 15 тыс. лет назад, были во

* Подробное описание этого жилища приведено в книгах: Пидопличко И.Г. Позднепалеолитические жилища из костей мамонта на Украине. — Киев, 1969, и Межиричские жилища из костей мамонта. — Киев, 1976. Макет жилища в натуральную величину (восстановленный по его каркасу) выставлен в Палеонтологическом музее АН УССР в Киеве. — *Прим. ред.*

многом такими же, как у нас с вами. Эта реакция заставила меня оценить, насколько Дж. Озль удалось разжечь в них тягу к более простой и соответственно более счастливой жизни.

По мнению многих, эта волна ностальгии была весьма своевременной. В 1984 г. Американский музей естественной истории организовал тематическую экспозицию «Предки», где были выставлены окаменелые останки обезьяноподобных людей, весьма далеких от талантливых художников и охотников «Темных пещер». Выставка пришлась как раз на то время, когда большинство палеоантропологов стало все более критически относиться к концепции «человека-охотника» — образу первобытных гоминид как изощренных собирателей и умелых охотников на крупного зверя. Теперь же на месте организованной охоты пристальный взгляд вооруженного микроскопом археолога открывал все более очевидные следы трупоедения. Складывающаяся в результате картина реальных достижений ранних людей была куда менее привлекательной, чем это рисовалось в эйфорической обстановке начала 70-х годов. Наши самые древние предки, увы, были намного более обезьяноподобными. А ведь даже для современного образованного человека конца XX в. осознание своего родства с обезьяноподобными гоминидами не доставляет особого удовольствия.

«Темные пещеры, яркие видения» были явлением совсем другого рода. Эта выставка отмечала блестящий творческий взрыв, мощный стимулирующий взлет в человеческой истории, участниками которого оказались люди, столь похожие на нас самих. По-видимому, есть особая прелесть в том, чтобы рассматривать этот момент как зарождение всей человеческой культуры: становление традиции обучения, социальных отношений и всех важнейших связей между обществом и окружающей природой. Осознание этого факта с очевидностью служит основной причиной внезапной популярности и массового интереса к ледниковому периоду.

Как отмечает Р. Уайт, археологи стоят сейчас на границе того, что могут рассказать людям раскопки и микроскоп о далеком прошлом человечества. Материальные свидетельства эпохи верхнего палеолита служат основой, на которой могут вестись как строго научные, так и популярные литературные реконструкции. Но любые реконструкции зыбки и условны, и поэтому весьма уважаемые ученые вроде Куртена и Томаса обращаются к литературе как к способу воссоздать более масштабное полотно, вторг-

нуться в области, строго запретные для солидных академических публикаций.

Дж. Озль использует в большинстве те же самые материалы, чтобы изобразить совершенно иную, воображаемую картину доисторической жизни. И вот благодаря ее усилиям огромная читательская аудитория

впервые осознала тот факт, что, когда с равнин Европы отступили последние ледники, на ее степях и моренах осталась процветающая человеческая культура. Благодаря книгам Дж. Озль каждый теперь может узнать намного больше о том, чем же все-таки был для человечества его далекий «золотой век».

Издательство МИР предлагает:

Ф. Чен ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ ПЛАЗМЫ

Перевод с английского

Книга представляет собой достаточно полное изложение основ физики плазмы. В первой вводной главе дается определение плазмы и подробно обсуждается дебаевское экранирование зарядов и условий, при которых ионизированный газ является плазмой. Во второй главе рассматривается движение отдельной заряженной частицы в электрическом и магнитном полях и приводится таблица всех возможных дрейфов ведущих центров. Третья глава посвящена гидродинамическому описанию плазмы. Вопросы распространения электромагнитных волн рассматриваются в гл. 4. В пятой главе обсуждаются вопросы распада слабоионизированной плазмы вследствие диффузии, в частности, амбиполярная диффузия плазмы поперек магнитного поля. Здесь же обсуждаются механизмы аномального переноса. Вопросы устойчивости плазмы рассмотрены в гл. 6, они разбиты автором на 4 категории: потоковые, неустойчивости Рэлея — Тейлора, универсальные и кинетические неустойчивости. В гл. 7 изложены

вопросы бесстолкновительного затухания волн в плазме, подробно рассматриваются физические механизмы затухания. Здесь же приводятся наиболее интересные экспериментальные результаты по исследованию бесстолкновительного поглощения волн. Последняя, восьмая глава посвящена нелинейным явлениям. На примере ионно-звуковых колебаний исследуются различные нелинейные решения (солитоны, ударные волны). Значительное место уделено рассмотрению параметрических неустойчивостей плазмы. Здесь же подробно изучаются основные уравнения нелинейной физики плазмы, физические механизмы нелинейного затухания Ландау-волн конечной амплитуды, явления эха в плазме. В книге содержится большое число рисунков и схем, поясняющих физические принципы, обсуждаемые в тексте. Она может использоваться как учебное пособие.

Для студентов, аспирантов, а также в качестве справочного пособия для специалистов по физике плазмы и смежным областям физики.

1987, 22 л. Цена 3 р. 20 к.



Нейтрино от сверхновой

САМАЯ ЯРКАЯ из наблюдавшихся в современную эпоху вспышка сверхновой 1987а обострила дискуссию по одному из важнейших вопросов современной физики: какова масса покоя, если она не равна нулю, у самой распространенной во Вселенной частицы — нейтрино? По предположению космологов, если нейтрино достаточно массивны, они могли бы остановить расширение Вселенной или даже заставить ее сжиматься. Из-за очень слабого взаимодействия с веществом нейтрино беспрепятственно проходят сквозь звезды и планеты. Поэтому в земных условиях чрезвычайно трудно проводить эксперименты по определению массы нейтрино.

В настоящее время известны три типа нейтрино — электронное, мюонное и тау-нейтрино. Согласно теории, при взрыве сверхновой все они могут образовываться в двух различных процессах. Первый всплеск нейтринного излучения появляется, когда электроны и протоны в коллапсирующем ядре звезды сливаются и образуют нейтроны и электронные нейтрино. Электронные нейтрино ускользают, а ядро продолжает коллапсировать и испускает поток всех трех типов нейтрино и соответствующих им античастиц.

Как считает большинство исследователей, именно второй более мощный всплеск нейтринного излучения от сверхновой 1987а был зарегистрирован двумя обсерваториями примерно за три часа до регистрации вспышки в оптическом диапазоне. На одной из них — нейтринной обсерватории IMB, расположенной в соляной шахте вблизи Кливленда (шт. Огайо), где работает группа ученых из Калифорнийского университета в Ирвине, Университета шт. Мичиган и Брукхейвенской национальной лаборатории, было зарегистрировано восемь «событий» за шестисекундный период. Еще 11 событий за 13 с были зарегистрированы на Обсерватории Камиоканде II, находящейся в шахте вблизи японского города Камнока, где работают ученые из Токийского университета, Японской национальной лаборатории физики высоких энергий, Университета Ниигаты и Университета шт. Пенсильвания.

По-видимому, все эти события были вызваны электронными антинейтрино различных энергий — античастицами, соответствующими электронным нейтрино. В предположении о равенстве масс покоя частиц и антича-

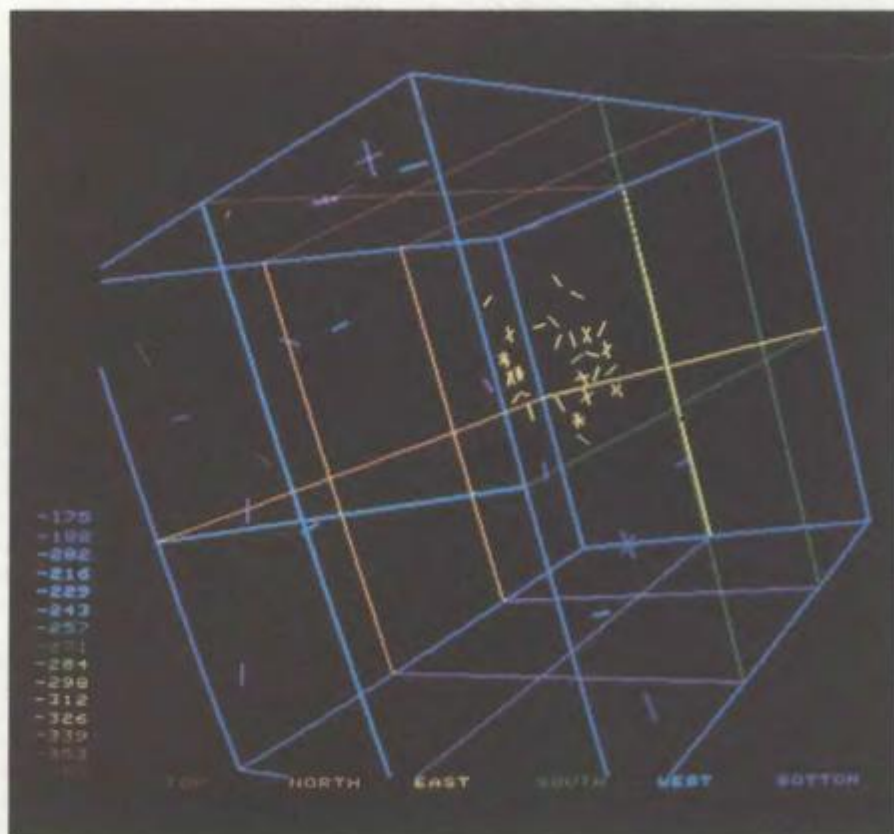
стиц с помощью несложного расчета можно получить ограничение сверху на массу покоя электронного нейтрино. В вычисление входит время, на которое высокоэнергичные электронные антинейтрино опережают низкоэнергичные. Если частицы имеют одинаковую массу покоя, то частицы с большей энергией должны двигаться быстрее. Чем больше масса покоя, тем больше должна быть разность между временами прихода высокоэнергичных и низкоэнергичных нейтрино.

Первыми опубликовали такие данные Дж. Бакол из Института высших исследований в Принстоне и Ш. Глэшоу из Гарвардского университета. Они сообщают в журнале «Nature», что масса покоя электронного нейтрино должна быть менее 11 эВ. Бакол и Глэшоу настаивают на том, что их результаты «подтверждают точку зрения, согласно которой электронные нейтрино не дают большого вклада в плотность вещества во Вселенной». Недавно несколько групп

физиков-экспериментаторов, тщательно измеряющих массу покоя нейтрино, образующихся в результате радиоактивного распада, получили верхний предел их массы около 20 эВ. При такой массе покоя нейтрино еще остается возможность увеличения средней плотности вещества во Вселенной, чтобы она начала сжиматься.

А. Манн из Университета шт. Пенсильвания и Обсерватории Камиоканде II замечает, что другие исследователи, используя те же данные, что Бакол и Глэшоу, получили оценки массы покоя нейтрино от менее 4 эВ до более 20 эВ. Он считает, что эти расхождения отражают фундаментальную неопределенность в основе самих таких оценок. Манн объясняет, что «главной причиной разногласия является то, что мы знаем время прихода нейтрино, а не время, когда они покинули звезду». Он настаивает на том, что «строгий» учет этой неопределенности дает верхний предел около 20 эВ.

Дж. ван дер Вельде из Мичиганского университета и группы IMB полагает, что если на нейтринных детекторах будет получено больше данных



АНТИНЕЙТРИНО от сверхновой 1987а вызывают вспышки света (желтые символы) в нейтринном детекторе IMB. Изображение смоделировано компьютером. Другие символы — посторонние сигналы. Детектор IMB представляет собой резервуар с водой, окруженный фотоумножителями. Число косых черточек в каждом символе пропорционально интенсивности сигнала, а цвет указывает время прихода, которое можно определить по наносекундной шкале слева.

от других сверхновых, «то, может быть, мы добьемся успеха». Однако он указывает, что даже если электронные нейтрино окажутся недостаточно массивными, чтобы «закрыть» Вселенную, вопрос о том, смогут ли это «сделать» мюонные или тау-нейтрино, остается нерешенным.

Удар по СОИ

ПОЧТИ с момента рождения самой идеи стратегической оборонной инициативы (СОИ) ее сторонники постоянно критикуют, высказывая сомнения относительно возможности технической реализации «космического щита». Не будучи в состоянии опровергнуть выдвигаемых против их проекта аргументов, сторонники СОИ отбиваются от критиков контрбываниями в том, что те не способны к практическому мышлению и ослеплены эмоциями, рассматривая программу с чисто моральных позиций. Однако эта контратака прекратилась, когда Американское физическое общество (АФО) обнародовало наконец столь долгожданный доклад, исследующий осуществимость идеи оружия направленной энергии. Эта идея с самого начала была в центре программы СОИ, предложенной президентом Рейганом в 1983 г.

Комиссия АФО, изучавшая проект СОИ, имеет весьма представительный состав, так что критиковать сделанное ею заключение, ссылаясь на недостаточную компетентность ее членов, трудно. Сопредседателями комиссии являются С. Пэйтел, руководитель отдела исследований фирмы AT&T Bell Laboratories, и Н. Бломберген, профессор физики Гарвардского университета, удостоенный в 1981 г. Нобелевской премии за работы по лазерной физике. Среди 15 других членов комиссии можно назвать П. Авизониса, представляющего Лабораторию вооружений ВВС США, Э. Сесслера из Лаборатории им. Лоуренса в Беркли, Р. Клема из Национальных лабораторий Сандия, генерал-лейтенанта Т. Джонсона из Военной академии США, У. Морроу, представляющего Лабораторию им. Линкольна (Массачусетский технологический институт), и Э. Ярива из Калифорнийского технологического института. Авторитетность членов комиссии придает ее выводам исключительно большой вес, хотя в большинстве своем аналогичные мнения уже высказывались раньше.

Согласно докладу комиссии АФО, потребуется по крайней мере целое десятилетие интенсивных исследова-

ний, прежде чем можно будет с уверенностью судить о возможности практической реализации и уязвимости оружия, использующего пучок ускоренных частиц или излучение химических, эксимерных, рентгеновских лазеров и лазеров на свободных электронах и фигурирующего в качестве конечной цели разработок СОИ. Комиссия пришла к заключению, что большинство наиважнейших элементов проекта потребует улучшения их показателей на несколько порядков величины, прежде чем будет достигнута требуемая мощность и точность. В заключение отмечается также, что в настоящее время никто не знает, можно ли вообще достичь такого улучшения. Из выводов комиссии следует, что руководству проекта СОИ будет трудно выполнить взятое на себя обязательство завершить в начале 90-х годов исследования, необходимые для решения вопроса о возможности крупномасштабного развертывания противоракетной обороны.

Технические средства, изученные комиссией АФО, должны использоваться для уничтожения ракет противника как на активном участке полета, так и на последующих стадиях. Пока все имеющиеся источники излучения, по мнению комиссии, слишком слабы. Мощность химического и эксимерного лазеров следует увеличить на несколько порядков величины, а широко обсуждаемый рентгеновский лазер, который должен питаться энергией ядерного взрыва в космосе, обладает, по мнению комиссии, «неопределенным» потенциалом. Энергия ускорителя предназначенного для создания пучка нейтральных частиц, должна быть повышена на два порядка величины, а конструкция лазера на свободных электронах, на которые авторы СОИ возлагают особенно большие надежды и которые должны развертываться в космическом пространстве, еще нуждается в принципиальных доработках, с тем чтобы повысить пиковую мощность в коротковолновом диапазоне (на длинах волн около 1 мкм) на пять порядков величины.

Оружие направленной энергии, по мнению комиссии, потребует мощностей порядка нескольких сот киловатт в обычном режиме и порядка 1 МВт во время боевых действий, из чего следует необходимость вывода в космос ядерных реакторов — в противовес с заверениями президента Рейгана о том, что система СОИ будет безъядерной. Такое оружие должно снабжаться также чрезвычайно точным механизмом обнаружения, слежения и наведения, позволяющим по-

разить цель, удаленную на тысячи километров. Некоторые системы должны будут перенаводиться 10 раз в секунду. Лазер на свободных электронах потребует вывода на орбиту зеркал, вдвое превышающих по размерам самые крупные современные наземные телескопы, что приведет к проблемам, связанным с уязвимостью системы в ядерной среде. Для компенсации атмосферных искажений потребуются также оптические системы фазового сопряжения или совершенная адаптивная оптика с быстро движущимися зеркальными сегментами.

Пока разработка технических средств еще далека от намеченных целей. Комиссия подчеркивает, что улучшение технических показателей хотя бы на порядок величины потребует преодоления многих препятствий. Хотя авторы доклада комиссии АФО тщательно обходят принципиальный вопрос о том, станет ли когда-нибудь возможным создание национальной системы противоракетной обороны, или о том, хорошо ли работает организация СОИ, они заключают, что развертывание оружия направленной энергии не удастся осуществить по крайней мере до начала следующего столетия.

Предложение о том, чтобы комиссия АФО изучила проект СОИ с целью решения вопроса о его технической осуществимости, первоначально было выдвинуто бывшим президентом АФО Р. Маршаком из Виргинского политехнического института. Комиссия была допущена к секретным материалам, и ее доклад на 420 страницах был одобрен другой комиссией, возглавляемой Дж. Пэйком из корпорации Хехо. Работа комиссии АФО была завершена в сентябре прошлого года, но обнародование ее заключения затянулось на 7 месяцев («слишком надолго», по словам Пэйтела). Все это время оно изучалось цензурой — сначала руководителями проекта СОИ в Пентагоне, а затем в аппарате министра обороны США. Из доклада пришлось выбросить «небольшие, но существенные» фрагменты, однако на основные выводы это не повлияло.

В то время как доклад комиссии АФО в течение 7 месяцев дождался того, чтобы увидеть свет, министр обороны США К. Уайнбергер выступил с предложением приступить к «первой фазе» развертывания системы противоракетной обороны в начале 90-х годов. На первом этапе в этой системе не предполагается использовать оружие направленной энергии: она будет основана на «кинетическом» оружии — таком, как управля-

емые снаряды, — уничтожающем боеголовки путем механического удара. Некоторые снаряды должны запуститься со спутников. Однако Пэйтел обращает внимание на то, что любая система, использующая компоненты космического базирования, сама является уязвимой по отношению к антиспутниковой атаке или другим контрмерам. Более того, он отмечает, что даже кинетическое оружие зависит от устройств направленной энергии, поскольку требуется отличать настоящие боеголовки от ложных, а для выполнения даже этой более простой функции уже требуется существенный технический прогресс. По словам члена комиссии Дж. Салливана из Иллинойского университета в Эрбана-Шампейн, «не следует делать ставку» на то, что оружие направленной энергии станет реальностью в обозримом будущем.

По всей видимости, этот полученный прогноз лишь приумножит трудности, испытываемые сторонниками СОИ в конгрессе. Администрация запросила для программы СОИ на 1988 г. 5,8 млрд. долл., однако маловероятно, чтобы конгресс не сократил эту сумму. Считают, что СОИ повезет, если ее бюджет хоть сколько-нибудь возрастет по сравнению с уровнем этого года, составляющим 3,53 млрд. долл.

И все же первая реакция руководства проекта СОИ на доклад комиссии АФО была сдержанной. Отдельные технические оценки доклада были охарактеризованы как «объективные», а анализ как «проницательный», однако по поводу некоторых предположений были высказаны сомнения, а общие заключения были названы «субъективными и слишком пессимистичными».

Смысл есть!

СОГЛАСНО общепринятым представлениям о ДНК, только одна цепь двухцепочечного сегмента ДНК — гена — является кодирующей. Эта цепь содержит осмысленный «текст» для «считывающих» клеточных механизмов, синтезирующих по ней комплементарную РНК-копию, служащую посредником между генетической информацией и аппаратом синтеза белка. Вторая, «антисмысловая», цепь служит только для поддержания целостности кодирующей последовательности. Однако в последние годы накопились данные, не укладывающиеся в эту схему. Более того, недавно исследователи из Орегонского университета здравоохранения убедительно показали, что

два гена могут занимать один и тот же отрезок двухцепочечной ДНК, располагаясь на разных цепях молекулы.

Группа исследователей, возглавляемая Дж. Эделманом из Института передовых медико-биологических исследований, искала в мозге крыс копии гена гормона, называемого гонадотропин-рилизинг-фактором (ГРФ). Это делалось с помощью ДНК-зондов, которые получали, исходя из транскриптов ДНК, кодирующей ГРФ, и поэтому они должны были узнавать смысловую цепь гена ГРФ.

Однако зонды связывались с обеими цепями, а это означает, что последовательность, комплементарная последовательности гена ГРФ, также транскрибируется. Затем Эделман и его сотрудники проверили, в каких еще тканях происходит такая «антисмысловая» транскрипция. Наиболее интенсивной она оказалась в тканях сердца, и авторы назвали «антисмысловый» ген SH (от англ. sweetheart — возлюбленный).

Антисмысловая транскрипция довольно обычна в клетках бактерий, однако у высших организмов она была обнаружена лишь в прошлом году. Эксперименты на культурах клеток насекомых и млекопитающих показали, что гены, расположенные на разных цепях ДНК, могут перекрываться. Подобные данные прежде рассматривались как исключительные случаи, встречающиеся в необычных клетках. Однако в опытах Эделмана с сотрудниками, во-первых, использовались обычные ткани лабораторных крыс и, во-вторых, гены ГРФ и SH перекрывались полностью, а не частично.

Эделман не берется оценивать, насколько широко распространены такие гены-«визави», но высказывает предположение, что этим явлением объясняются некоторые экспериментальные данные, принимавшиеся за артефакты. Возможно, придется повторить многие эксперименты по картированию хромосом, чтобы убедиться, что не были упущены гены-«визави».

Этот новый поворот в истории изучения ДНК может оказаться важным для понимания эволюции генов. Гормон ГРФ необходим для полового созревания. Естественно, что кодирующий его ген эволюционно весьма стабилен: мутации или деления в нем приводили бы к стерильности особи и, следовательно, дефектный ген не передавался бы потомству. Любопытной другой ген, располагающийся в том же участке ДНК, что и ген ГРФ, обладал бы высокой стабильностью независимо от того, выполняет ли он столь же важную функцию, как ген

ГРФ, или нет. Образно говоря, ген SH, функция которого пока остается неизвестной, по-видимому, ловко воспользовался эволюционным успехом гена ГРФ. Если и другие антисмысловые цепи ДНК в действительности окажутся осмысленными, то можно думать, что в ходе эволюции они тоже разделяли судьбу своих «визави» или влияли на нее.

Какие больницы лучше?

СЧИТАЕТСЯ, что некоммерческие больницы (существующие не на собственные доходы, а на дотацию со стороны государства — *Red.*) оказывают услуги за невысокие цены всем, особенно не имеющим средств на лечение. Так ли это? Или они, освобожденные от налога, тратят сэкономленные на этом миллиарды долларов на то, чтобы предоставлять оплачиваемую из субсидий работу будущим врачам в период их практики? Официальные представители некоммерческих больниц весьма обеспокоены по поводу выводов, сделанных в результате недавно проведенного исследования, которые подтверждают вторую точку зрения. Споры приобретают все более острый характер по мере того, как федеральные и местные (в штатах) законодательные органы формируют новые бюджеты и новые правила взимания налогов. «Сейчас мы вынуждены бороться за собственное существование», — заявил один из тех, кто защищает интересы некоммерческих больниц.

Статья Р. Херзлингер и У. Краскера, опубликованная в номере за январь-февраль журнала «Harvard Business Review» так и называлась «Кто получает прибыль от неприбыльных предприятий?» Херзлингер — профессор в области административного управления из Гарвардской школы бизнеса; Краскер, прежде работавший в этой же школе, в настоящее время является сотрудником фирмы Salomon Brothers. В процессе проведенного исследования они проанализировали финансовую деятельность в 1977 и 1981 гг. 14 крупнейших коммерческих (существующих на средства их владельцев) и некоммерческих больничных объединений.

Херзлингер и Краскер пытались сравнить деятельность тех и других по одним и тем же показателям с учетом различий в системах налогообложения. Исследователи пришли к выводу, что некоммерческие объединения «не оправдали ожидаемых надежд в смысле решения социальных задач». Несмотря на то что некоммерческие объединения получают суб-

сидии из общественных фондов, в основном за счет освобождения от налогов, как утверждают Херзлингер и Краскер, они не являются ни более доступными для тех, кто не защищен никакими видами страхования, ни более дешевыми. Существующее положение, указывают авторы исследования, убеждает в том, что коммерческие больницы «дают обществу больше и фактически не требуют никаких средств из общественных фондов».

Критики этих выводов утверждают, что исследование не лишено серьезных методологических недостатков (в первую очередь связанных с отбором подлежащих изучению объектов), которые привели к ошибочным результатам. Такую точку зрения выражает, в частности, Б. Грей, руководитель другого, ранее проведенного исследования, результаты которого были опубликованы в июне прошлого года Институтом медицины. Институт признал сделанные тогда выводы, которые показывают, что плата за лечение в коммерческих больницах больше, чем в некоммерческих и бесплатную медицинскую помощь тем, кому нечем платить, они оказывают в меньших размерах.

Ю. Рейнхардт из Принстонского университета, общепризнанный защитник системы коммерческих больниц, высказывая свое суждение о работе Херзлингер, заявил, что это «эмпирическое исследование, не лишенное предвзятости автора». Л. Льюин, известный специалист в рассматриваемой области, сказал, что ему «досадно» было сознавать, что Гарвардская школа представила эту «недоброкачественную работу» от своего имени (когда она обнародовала результаты исследования на пресс-конференции). Редактор журнала «New England Journal of Medicine» А. Релман писал, что используемая в исследовании выборка некоммерческих больниц «не включала сотни других, более крупных независимых не доходных больниц, в которых ведется подготовка медицинского персонала, проводятся научные медицинские исследования и предоставляется бесплатное лечение».

В ответ на эти замечания Херзлингер заявила, что все, кто обвиняет ее, не понимают используемых ею «нестандартных» методов расчета. В условиях, когда все больше и больше некоммерческих лечебных учреждений организуются в объединения, нападки критиков в отношении того, что ее выборка не является представительной для массы самостоятельных некоммерческих больниц, свидетельствуют об их «наивности в вопросах бизнеса». Она отрицает какую бы то

ни было финансовую заинтересованность в коммерческом секторе и критически относится ко всем ранее проводившимся исследованиям, которые были организованы консорциумом некоммерческих больниц: «Они вынуждены поддерживать чувство полной удовлетворенности у своих клиентов», — заявила Херзлингер. Она также отказывается признать правильность проведенного Институтом медицины исследования, называя его «сырым», поскольку, как она считает, оно проводилось людьми, далекими от науки. Похоже, что дискуссия относительно коммерческих и некоммерческих лечебных учреждений будет продолжена.

Рак: иллюзия прогресса?

НА СЕГОДНЯШНИЙ день у трех из десяти американцев обнаруживается раковое заболевание. Эта мрачная статистика порождает потребность в хороших новостях, ради удовлетворения которой не жалеют сил Национальный институт рака (НИР), обязанный ежегодно представлять конгрессу свою программу, а также благотворительные организации, субсидирующие обеспечение больных и научные исследования. Как правило, в роли хороших новостей выступают сведения об улучшении статистической картины, а именно заявления, что при той или иной форме рака возросла доля больных, проживших 5 или более лет.

Исследование, проведенное Центральным финансовым управлением (ЦФУ), вызвало поток критики по поводу таких парадных заявлений. Группы экспертов, созданные комиссией этого учреждения, обсудили 12 наиболее типичных форм рака, для которых, по данным НИР, за 1950—1982 гг. доля больных, проживших 5 или более лет, существенно возросла. Из результатов анализа следует неутешительный вывод: впечатление улучшения за данный период во многом объясняется тем, что изменялись способы подсчета доли выживших. Более ранняя и точная, чем прежде, диагностика, а также распространение массовых программ обследования ведут к завышению кажущейся доли выживающих больных даже в отсутствие действительного прогресса в лечении рака. Не ясно лишь, насколько сильно эти факторы сказались на статистических данных. Министерство здравоохранения и социального обеспечения, которому подчиняется НИР, считает эти факто-

ры имеющими «чисто академический интерес», но согласно с тем, что впредь НИР будет постоянно учитывать их.

По данным ЦФУ, совершенствованием методов лечения обусловлено реальное, хотя и незначительное увеличение доли выживающих больных для большинства исследованных видов рака. В лечении отдельных видов рака — острых лейкозов и некоторых лимфом, встречающихся относительно редко, — достигнуты осязаемые успехи. Но самые грозные виды рака, уносящие наибольшее число жизней, не поддаются усилиям медиков. Например, доля выживающих при раке молочной железы как будто возросла за рассматриваемый период — с 60 до 74,6%, однако эта разница вызвана в основном изменениями в способах учета больных. Нет реального улучшения в статистике рака желудка. Рак легки — наиболее распространенное раковое заболевание — по-прежнему быстро приводит к фатальному исходу почти во всех случаях; химиотерапия иногда бывает эффективна, но лишь при одном, не вполне обычном виде этого рака.

А вот Д. Корн из Медицинской школы Станфордского университета, являющийся председателем Национального онкологического консультативного комитета, не считает, что НИР преувеличивает свои успехи. По его мнению, ранний диагноз сам по себе — большое достижение, которое ведет к увеличению доли выживших. Директор НИР В. Де Вита-младший настаивает на том, что исследование ЦФУ «не отражает действительного положения дел», а отправной точкой проделанного анализа было вполне определенное мнение, что заставляет усомниться в надежности его результатов. Как утверждает Э. Сондик, главный статистик НИР, подход ЦФУ субъективен и отягощен методическими трудностями, так что едва ли есть конкретные данные о мере влияния указанных факторов на конечные результаты статистики раковых заболеваний.

Перед НИР поставлена задача снизить смертность от рака в США к 2000 г. вдвое по сравнению с 1980 г. Сондик считает, что эта цель «по-прежнему вполне реалистична» при условии, если будут широко применяться наиболее эффективные методы лечения и сохранится наметившаяся недавно тенденция к уменьшению курения — основной причины смерти от рака. Но в этом-то главная проблема. Ведь никто не желает провала деятельности НИР, но, как отмечают некоторые видные клиницисты, даже миллиарды долларов, затраченные

на исследования и здравоохранение, не смогут обеспечить необходимых изменений в привычках людей.

Берегите голову ребенка

КО МНОГИМ бедам, которые подстерегают на жизненном пути растущих в бедности детей в городах, добавляется еще одна — исключительно высокий риск повреждения головы и угроза стать инвалидом. Об этом заявили Дж. Локе и его коллеги из Медицинской школы по повышению квалификации медицинского персонала им. Ч. Дрю и Медицинского центра Кинга—Дрю в Лос-Анджелесе, где большинство пациентов — жители кишашего беднотой Уоттса.

На прошедшем недавно заседании Американской академии неврологии Локе представил результаты обследования 638 детей в возрасте до 18 лет с повреждениями головы, находившихся в 1983 г. на излечении в Медицинском центре Кинга—Дрю. Это число (которое составляет лишь около 75% всех больных детей центра в указанном году с травмами головы) само по себе говорит уже о многом; оно непропорционально велико в общем числе больных, находившихся на лечении в этом заведении. Ученые попытались выяснить, почему так много детей имеют повреждения головы и к каким последствиям может привести такая статистика.

После того как в отделении скорой помощи, больнице или больничной палате у ребенка идентифицировали повреждение головы, у родителя или опекуна спрашивались относительно обстоятельств, при которых это повреждение было получено. Причина считалась «несчастливым случаем» или «не связанной с несчастным случаем». Последняя категория включала травмы, полученные в результате известного или подозреваемого жестокого обращения с ребенком, нанесенные другими детьми или взрослыми вне семьи, а также возникшие в результате небрежного присмотра за ребенком. Около 30% случаев травмирования головы у детей квалифицировались как не связанные с несчастным случаем и они в основном были более тяжелыми, чем повреждения от несчастных случаев.

Собранные данные позволяют установить, насколько часто жестокое обращение с детьми и невнимательность к ним приводят к травмам головы. Большое число случаев приходится на конец лета. Частично это объясняется обычным увеличением в

летнее время числа детей, попадающих под автомобили во время игр на проезжей части улиц; часто после наступления темноты. Самое большое количество травм (более 40%) вызвано падениями, во многих случаях из-за невнимательности тех, кто присматривал за детьми дома или на игровых площадках. Меньшая, но все же значительная часть случаев (около 10%) были результатом драк, в том числе с использованием различных предметов.

Локе полагает, что если провести исследования в других районах, для которых характерны такие социальные явления, как нищета, безработица и населенность иммигрантами, то обнаружилась бы примерно та же картина. Факты, говорит Локе, указывают на то, что существует «важная проблема в общественном здравоохранении» и ее нельзя игнорировать, поскольку даже незначительные травмы головы могут вызвать нарушения умственной деятельности. Исследования, проведенные в Университете штата Виргиния, показали, что даже такие травмы головы, которые, например, вызывают не более чем кратковременную потерю сознания, могут привести к длительному ухудшению умственных способностей. Локе и его коллеги пришли к аналогичным выводам на основании результатов обследования 12 детей, проведенного спустя несколько недель после того, как они получили легкие травмы головы. При тестировании они обнаруживали слабую зрительную восприимчивость, плохую память и не преуспевали в других заданиях. Данные об успеваемости в школе указывали на ее снижение у нескольких учеников из этой группы. Локе утверждает, что сейчас в городах имеется большое число детей с травмами головы, а те, кто уже стал инвалидом, «спускаются на все более низкие ступени социальной лестницы».

Ловушка для бактерий

В ПРОШЛОМ году сотрудники фирмы AT&T Bell Laboratories сообщили о первом удачном эксперименте с оптической атомной ловушкой — приборе, действие которого основано на использовании сил, возникающих в фокусе лазерного пучка, для удержания в течение нескольких секунд атомов в объеме примерно 1000 мкм^3 ($1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$).

Не успокоившись на достигнутом, два ученых упомянутой фирмы А. Эшкин и Дж. Джиеджик решили

пойти еще дальше. Они применили используемый в ловушке принцип для захвата лазерным пучком отдельных вирусов, бактерий и даже некоторых небольших многоклеточных микроорганизмов и, как представляется, без каких-либо повреждений последних. Более того, как только бактерии и более сложные микроорганизмы оказываются в ловушке, их движением можно управлять, как будто передвигая их пинцетом, и при этом наблюдать в микроскоп с высоким разрешением.

Принцип работы ловушки, сконструированной Эшкином и Джиеджиком, основан на действии едва заметной так называемой градиентной силы, возникающей в лазерном пучке неравномерной интенсивности. Если интенсивность в центре пучка больше, чем по его краям, то частица с высоким значением коэффициента преломления (т. е. частица, сильно отклоняющая проходящие через нее световые лучи) стремится двигаться к центру пучка. Причина в том, что каждый луч пучка при преломлении в частице порождает силу, действующую в направлении, противоположном направлению преломления. Лучи света в центре пучка, преломляясь, отклоняются от центра, а возникающая при этом результирующая сила направлена к центру пучка. Лучи света на периферии пучка преломляются к центру и стремятся заставить частицы выйти за пределы пучка. Поскольку лучи в центре имеют большую интенсивность, чем лучи по краям пучка, центральные лучи оказывают доминирующее влияние и силы, действующие к центру, преобладают.

Радиально неоднородный пучок заставляет частицы двигаться в направлении его центральной оси; летящие в пучке фотоны смешивают частицы вдоль оси. Чтобы избавиться от такого давления излучения в направлении оси, интенсивность пучка вдоль оси должна быть неодинаковой. Это достигается с помощью фокусировки пучка. Если пучок достаточно узкий, частицы увлекаются в направлении наибольшей интенсивности и остаются в этой зоне, т. е. в фокусе. Чтобы переместить оказавшиеся в ловушке частицы, нужно сместить сам пучок.

В статье, опубликованной в журнале «Science», Эшкин и Джиеджик сообщают, что первыми биологическими частицами, с которыми проводился эксперимент по захвату, были вирусы. Хотя исследователи успешно провели опыты с вирусами, взвешенными в воде объемом несколько кубических микрометров, для них оказалось загадочным то, что в предназначенных для исследования пробах

«раствора», выдержанных в течение нескольких дней, «некоторые неизвестные новые частицы» часто попадали в оптическую ловушку. Казалось, что эти частицы, примерно в 100 раз большего размера по сравнению с размерами одного вируса, движутся сами по себе; они, кроме того, размножались. Наблюдая за одной такой странной частицей в оптический микроскоп, ученые обнаружили, что она захватила похожую на стерженек бактерию. Вдохновленные успехом «по поимке» подвижной бактерии, Эшкин и Джиеджик с тех пор охотятся за микроскопическими червячками и улавливают их в оптическую ловушку.

Новые сверхпроводники

Керамические оксиды становятся сверхпроводниками при температурах выше 90 К; механизм этого явления для ученых пока остается загадкой

КАКАЯ ТЕОРИЯ лучше всего может объяснить, почему некоторые материалы, известные как керамические оксиды, становятся сверхпроводниками при температурах, казавшихся невероятными еще год назад, когда все известные сверхпроводящие материалы начинали терять сопротивление лишь при температуре, близкой к абсолютному нулю? На этот вопрос ученые-экспериментаторы фирмы AT&T Bell Laboratories, уже давно занимающиеся исследованиями новых материалов с необыч-

ными свойствами, только пожимали плечами. «Последнее из слышанных мною объяснений, — сказал Р. Кава, — сводится к тому, что эти материалы являются остатками сверхновой, упавшей на Землю». Другой ученый, говоря более серьезно, под одобрительные кивки остальных заявил: «Пока я не знаю такой теории, которая помогла бы мне найти лучшие сверхпроводники».

В то время как теоретики продолжают строить догадки относительно того, почему новые сверхпроводниковые материалы ведут себя столь хорошо, ученые-практики с помощью экспериментов, основанных на методе проб и ошибок, стремятся получить материалы с лучшими характеристиками. Не далее как осенью прошлого года ученые научно-исследовательской лаборатории фирмы IBM в Цюрихе положили начало революционному перевороту в физике твердого тела, сообщив, что керамическое соединение лантана, бария и оксида меди становится сверхпроводником при температуре 28 К. Предыдущая рекордная температура была равна 23 К и удерживалась в течение 10 лет. К февралю несколько исследовательских групп обнаружили, что соединение иттрия, бария и оксида меди имеет T_c (критическую температуру, при которой еще проявляется сверхпроводимость) выше 90 К.

Впоследствии это открытие подтвердилось при замене иттрия другими элементами. Было получено более десятка новых соединений, которые становятся сверхпроводниками при-

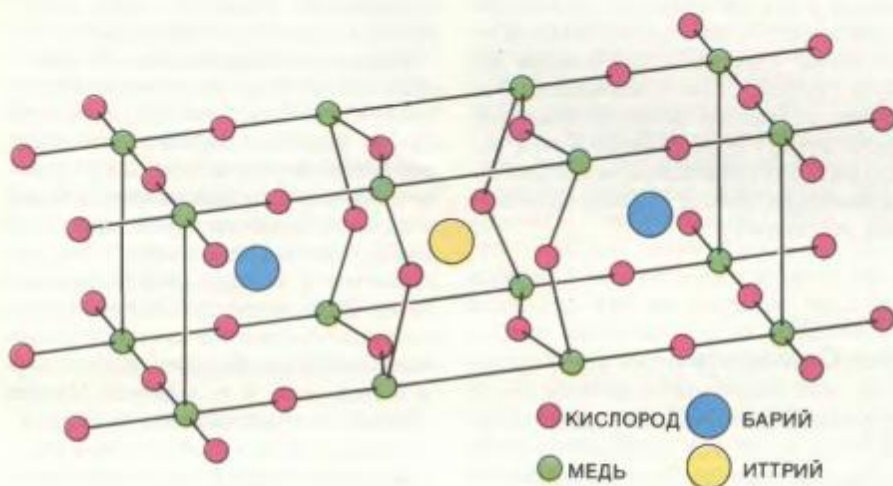
мерно при той же температуре. В отличие от обычных сверхпроводников, которые необходимо охлаждать жидким гелием (точка кипения 4,2 К), новые соединения можно охлаждать жидким азотом (точка кипения 77 К), который гораздо дешевле. Следовательно, стоимость сверхпроводящих систем на основе этих материалов также должна быть значительно ниже.

Хотя новые материалы, как и все керамики, являются хрупкими, ученым удалось разработать технологию запрессовывания их в тонкие гибкие волокна — это первый шаг на пути создания линий электропередачи, двигателей, генераторов, электромагнитов и электрических устройств памяти. С помощью технологии химического напыления, подобной той, что используется в производстве электронных микросхем, некоторые исследователи получили тонкие пленки из этих материалов. Среди прочих приложений такие пленки можно использовать для изготовления контактов микросхем, что позволит уменьшить размеры и повысить быстродействие средств вычислительной техники. Нет сомнения, что эти достижения могут привести к значительным переменам в технике и коснутся многих отраслей промышленности.

Несколько медленнее, вслед за этими практическими достижениями, развиваются исследования микроструктуры новых материалов. В ряде лабораторий получены однофазные образцы соединения иттрия. Облучая образцы рентгеновскими лучами, электронами и другими видами излучений, удалось установить молекулярную структуру этого соединения. Элементарная ячейка имеет структуру перовскита (кристалл кубической формы; характерен для многих минералов и синтетических соединений), представляющего собой чередующиеся слои оксида меди, бария и иттрия.

Атомы кислорода в этой структуре имеют необычное расположение, которое, как полагают исследователи, играет ключевую роль в сверхпроводимости. Иногда, но не всегда, в некоторых местах элементарной ячейки атомы кислорода отсутствуют. Следовательно, число атомов кислорода в элементарной ячейке не целое: оно несколько меньше 7. Другая существенная особенность данной структуры — это ее анизотропия: по-видимому, проводимость имеет место лишь в двух измерениях, а именно в плоскости слоев оксида меди, а в промежуточных слоях иттрия и оксида бария она отсутствует.

Теоретики пытаются увязать эти представления с традиционно сло-



ПЕРОВСКИТ с недостаточным числом атомов кислорода образует элементарную кристаллическую ячейку керамического соединения на основе иттрия, бария и оксида меди, проявляющего сверхпроводимость при температуре 90 К; это показали эксперименты, проведенные с помощью нейтронного рассеяния в Аргоннской национальной лаборатории. Атомы кислорода в двух слоях оксида меди в центре ячейки смещены в сторону атома иттрия. Поскольку кислород отсутствует с двух сторон «квадратов», образующих ячейку, медь и кислород в этих положениях образуют одномерные цепи. Кислород может отсутствовать и в других положениях.

жившимся пониманием механизма сверхпроводимости. Стандартная модель этого механизма описывается разработанной 30 лет назад теорией БКШ, названной так по фамилиям трех ее авторов, лауреатов Нобелевской премии Дж. Бардина, Л. Купера и Дж. Шриффера*. Согласно этой теории, сверхпроводимость наступает, когда электроны образуют связанное состояние (куперовскую пару); связывание электронов в пары значительно снижает их способность к тепловому рассеянию. Широкое распространение получила точка зрения, согласно которой образование куперовской пары возможно только при очень низкой температуре. Механизм образования электронных пар в низкотемпературных сверхпроводниках, которые тогда были известны, отождествлялся с квантами колебательно-го движения атомов (фононами) в кристаллической решетке. Фононы часто, но ошибочно, рассматривались как неотъемлемая часть теории БКШ; в действительности эта теория не объясняет механизм образования электронных пар.

До сих пор не было каких-либо серьезных возражений против основного допущения, сделанного в этой теории. Теоретики, скорее, направили свои усилия на то, чтобы либо объяснить, как фононы влияют на образование электронных пар при температуре 90 К, либо предложить какой-нибудь иной приемлемый механизм. Проблема, связанная с фононами, заключается в том, что в низкотемпературных сверхпроводниках пары, образуемые в результате взаимодействия электронов проводимости с фононами, имеют относительно низкую энергию связи и они легко разрушаются при тепловых колебаниях.

Действительно, проведенные недавно в AT&T Bell Laboratories испытания поставили под сомнение роль фононов в сверхпроводимости при высоких температурах. Исследователи заменили обычные атомы кислорода в соединении иттрия на тяжелые изотопы кислорода. При том значении температуры, при котором фононы вызывают сверхпроводимость в этом материале, критическая температура T_c должна была бы упасть, поскольку фононы не могли бы вызвать столь энергичные колебания тяжелых изотопов кислорода. Результаты более ранних исследований, как указы-

вает Б. Бэтлог из AT&T Bell Laboratories, свидетельствуют о том, что введение изотопа не изменяет T_c соединения иттрия.

Шриффер, который в настоящее время работает в Калифорнийском университете в Санта-Барбаре, ранее утверждал, что фононы, по-видимому, все же играют некоторую роль в сверхпроводимости при высоких T_c , «если им [с помощью какого-либо механизма] придать достаточно высокую энергию». Он выразил удовлетворение по поводу того, что результаты, полученные группой ученых AT&T, указывают на действие совершенно нового механизма в возникновении сверхпроводимости при высоких T_c . «Матушка-природа позаботилась и на этот раз», — заявил Шриффер.

Бывший коллега Шриффера Бардин, который в настоящее время работает в Иллинойском университете в Эрбана-Шампейн, склонен считать, что при высоких температурах образование куперовских пар может быть обусловлено электронным возбужденным состоянием, или экситоном. Эта квазичастица, как полагают, состоит из электрона, находящегося в связанном состоянии с положительно заряженной дыркой, которая образуется при миграции электрона. Экситонная теория, сформулированная в начале 60-х годов, была усовершенствована Бардином и другими учеными в 1973 г. По мнению Бардина, эта теория вполне убедительно объясняет, как может возникнуть состояние сверхпроводимости при высоких T_c ; слабость ее в том, что экситон непосредственно никогда не наблюдался.

Наиболее оригинальной и в то же время самой спорной, по-видимому, является теория, предложенная Ф. Андерсоном из Принстонского университета. Об экситонной теории Андерсон сказал: «Она как была, так и остается малоэффективной». Его собственная теория, которую он выдвинул вскоре после того, как были получены сверхпроводниковые материалы нового класса, сводится к тому, что образование электронных пар происходит не за счет взаимного притяжения электронов, а за счет магнитного взаимодействия между электронами с противоположными спинами. «Отталкивание электронов — вот ключ к разгадке. Электроны не любят друг друга», — заявил он.

Препятствием на пути к признанию теории Андерсона, возможно, является ее сложность. «У Андерсона неплохие идеи, — сказал Т. Джебол из Станфордского университета, — но они трудно поддаются пониманию». Другой исследователь о предположе-

нии Андерсона высказался так: «Я отношусь к его идее, как к поэзии».

Имеется, однако, предположение, которое согласны разделить все, хотя бы только потому, что в прошлом тоже выдвигалось немало столь же маловероятных, но впоследствии подтвердившихся, гипотез, — это то, что сверхпроводимость возможна при комнатной температуре. Особенно интригующее сообщение поступило из Университета Уэйна, где ученые пропустили ток радиочастотного диапазона через керамическое соединение на основе оксидов при температуре 240 К (всего лишь -33°C) и обнаружили, что на образце создавалось постоянное напряжение. Но это явление могло произойти только в сверхпроводнике. Однако во всех других испытаниях этого образца наличие сверхпроводимости не подтвердилось.

П. Ли из Массачусетского технологического института — один из нескольких теоретиков, которые предлагают свое объяснение причин повышения T_c , указывает, что в обычных сверхпроводниках отношение энергии связи электронов в паре к T_c всегда считалось величиной постоянной и равной 3,53; по мере увеличения энергии связи растет и T_c . Но испытания, проведенные на новых материалах, проявляющих сверхпроводимость при 90 К, указывают на то, что энергия связи слишком велика для этого значения T_c и превышает стандартную величину по меньшей мере в два раза. Ли утверждает, что необычное двумерное поведение новых сверхпроводников фактически сдерживает проявление их полных потенциальных возможностей. Если, как утверждает Ли, ученым удастся частично изменить структуру этих материалов таким образом, чтобы сверхпроводимость в них стала трехмерной, то их T_c может стать намного выше.

Подводная жизнь тюленей*

ИЗУЧЕНИЕ охотничьего поведения одного из видов тюленей дальневосточной ларги (*Phoca largha*) в природных условиях дало интересные сведения о внутривидовых взаимодействиях у этих животных.

С весны до поздней осени ларга концентрируется в устьях рек, активно питаясь различными видами лососевых рыб, поднимающихся в верховья на нерест. В.М. Белькович и

* © «Мир», 1987.

* В 1958 г. независимо от американских ученых советский математик и физик-теоретик академик Н.Н. Боголюбов разработал последовательную микроскопическую теорию сверхпроводимости. — Прим. перев.

Н.М. Щекотов из лаборатории морской биоакустики Института океанологии им. П.П. Ширшова АН СССР на протяжении нескольких сезонов вели наблюдения за субпопуляцией ларги в реке Озерная на юго-западном побережье Камчатки. Цель этих исследований — выяснить организацию поисково-охотничьей деятельности тюленей. Новизна методики заключалась в необычном ракурсе наблюдений, которые велись с высоты примерно 15 м над уровнем воды, что в сочетании с благоприятными условиями (солнечная погода, высокая прозрачность воды, отсутствие ветра и т. д.) дало возможность впервые зарегистрировать особенности подводных взаимодействий животных. Одновременно проводилось прослушивание акватории при помощи гидроакустической системы. Большое число животных (20—40 особей) и высокий уровень охотничьей активности (каждая особь совершала 1,0—1,4 броска в час) наблюдались лишь во время прилива, когда лосось массой заходит в реку.

Поисковое выжидающее поведение у ларги заключается в том, что животное медленно «патрулирует» некоторый участок акватории либо затаивается в засаде в удобном месте. Время пребывания тюленей под водой варьировало в пределах 0,7—7 мин (в среднем 3,8 мин), а продолжительность периода «вентиляции» на поверхности составляла 12—59 с (в среднем 23,8 с). Обнаружив рыбу, ларга начинала стремительный бросок, при этом 2—3 ближайших особи немедленно присоединялись к преследованию. Впервые удалось установить, что в броске за рыбой в 60—80% случаев участвует 2—4 животных одновременно. По-видимому, «соседи» подключаются к погоне, если находится не далее определенного расстояния — около 15 м. Так, несколько раз было отмечено, что более удаленные звери реагировали на начало охоты лишь тем, что поворачивались в сторону происходящего, но оставались при этом на своем месте.

Обычно в таких групповых бросках тюлени находились в конкурентных отношениях. В финале охоты нередко возникали схватки, и тогда рыба доставалась наиболее крупному и сильному животному, даже если первоначально добыча была схвачена другой особью. Схватки сопровождалась преследованиями, энергичными движениями передними лапами, иногда укусами, а также специфическими акустическими сигналами. Поскольку в ситуации коллективного броска возможности маневра для жертвы резко

ограничены, успешность охоты очень высока: неудача наблюдалась лишь в 5—10% случаев. Аналогичное поведение, как было установлено Бельковичем с коллегами, характерно и для дельфинов; все многообразие их движений при охоте сводится к главному правилу — ограничить передвижения жертвы.

Оказалось, что разные участки реки весьма неравноценны для тюленей охоты. Животные использовали стенку речного пирса в качестве препятствия, к которому удобно прижимать преследуемую рыбу (здесь успешность бросков была выше 85%, тогда как на других участках — 30—60%). Соответственно особи разного размера и возраста распределялись по территории акватории неодинаково. У стенки пирса, т. е. на наилучшем для охоты участке держались преимущественно крупные особи, по-видимому занимающие высокое положение в социальной иерархии группы. Такое животное, «патрулируя» свой участок, отгоняло других ударами передних лап и акустическими сигналами.

Как показали наблюдения, у небольших молодых зверей успешность охоты в 1,7—1,9 раза меньше, чем у крупных взрослых. Возможно, с этим связано то, что таким особям свойствен особый тип поисково-охотничьего поведения. Небольшие ларги, располагаясь на мелководье, на примерно одинаковом расстоянии друг от друга (5—10 м), образовывали своего рода ловчую сеть. Число участников в зависимости от внешних факторов варьировало от 4 до 35. Менялась от этого ширина и, очевидно, эффективность «сети». При большом числе животные выстраивались почти в шахматном порядке в два, иногда даже в три ряда. Попадающую в «сеть» рыбу начинали преследовать сразу 3—4 ближайших тюленя, что резко ограничивало возможности маневра жертвы. Крупные звери, находящиеся у стенки пирса и на фарватере реки, могли выполнять при этом роль пассивных и активных «загонщиков» рыбы, поднимающейся по реке. Подобные скопления животных, состоящие, вероятно, из особей различного возраста, неоднократно отмечались в море и предустьевых пространствах рек.

Анализ сделанных акустических записей выявил свыше 27 тыс. сигналов, которые можно разделить на 13 классов. В статье, опубликованной в 1982 г. в журнале «Nature», Д. Рэнф и М. Дэвис из Ньюфаундлендского университета в Канаде сообщали о том, что близкородственный ларге обыкновенный тюлень использует в

целях эхолокации одиночные и двойные импульсные сигналы. Сходные сигналы удалось обнаружить и у ларги. В целом социальные взаимодействия тюленей под водой в большинстве случаев сопровождались последовательностями акустических сигналов, причем определенным поведенческим элементам соответствовали определенные классы сигналов. В будущем, по-видимому, станет возможным по акустическим записям расшифровывать поведение животных.

Издательство МИР предлагает:

**Г. Моррил
БЕЙСИК ДЛЯ ПК ИБМ**

Перевод с английского
Излагаются основные понятия программирования и начальные сведения об алгоритмическом языке Бейсик, рассматривается работа с массивами данных, программами, различными формами печати, использование графики и т. д. Большое количество программ и удачное методическое построение книги позволяют начинающему пользователю включиться в работу за пультом персонального компьютера (ПК).
Для широкого круга пользователей ПК и студентов вузов.
1987, 15 л. Цена 1 р. 30 к.

**А. Тревеннор
ОПЕРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ МАЛЫХ ЭВМ**

Перевод с английского
Книга ориентирована на массового пользователя вычислительной техники и в доступной форме объясняет функциональную структуру операционных систем (ОС) и отдельные аспекты их работы. Изложение основывается на трех ОС фирмы DEC-PSTS/E, PSX, VMS. Многочисленные примеры облегчают понимание особенностей ОС малых ЭВМ.
Для всех категорий пользователей малых ЭВМ и студентов вузов.
1987, 11 л. Цена 65 к.



лис автор многих других статей по робототехнике, искусственному интеллекту и архитектуре ЭВМ.

Barton J. Bernstein (БАРТОН ДЖ. БЕРНСТЕЙН «Рождение программы разработки бактериологического оружия в США») — профессор истории и междисциплинарных программ в Станфордском университете. Получил степень доктора философии в Гарвардском университете и два года преподавал в колледже Беннингтона, перед тем как в 1965 г. перешел работать в Станфордский университет. Бернштейн — автор многих книг, включая «Политики и политика администрации Трумэна» (1971 г.) и «Атомная бомба» (1976 г.). Как он сам отмечает, его цель — «выяснить, почему так получилось, что США отказались от применения бактериологического, химического и радиологического оружия, но все же, переступив моральный порог, подвергли бомбардировкам и убивали мирное население и применили атомную бомбу».

Издательство МИР предлагает:

КОСМИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Под редакцией Л. Кейви
Перевод с английского

Книга, написанная ведущими зарубежными специалистами, представляет собой сборник статей, в которых рассматриваются перспективные двигатели космических аппаратов (лазерные, солнечные, ядерные и химические) для выполнения орбитальных маневров и межорбитальных полетов. Представлены различные научно-технические данные об этих двигателях, проблемах их разработки и областях рационального применения.

Для специалистов, аспирантов и студентов в области ракетно-космической техники.

1988, 29 л. Цена 4 р. 20 к.



ЗАСУХА В АФРИКЕ

POLITICAL AND ECONOMIC ORIGINS OF AFRICAN HUNGER. Michael F. Lofchie in *The Journal of Modern African Studies*, Vol. 13, No. 4, pages 551-567; December, 1975.

POVERTY AND FAMINES: AN ESSAY ON ENTITLEMENT AND DEPRIVATION. Amartya Sen. Oxford University Press, 1981.

DROUGHT AND HUNGER IN AFRICA: DENYING FAMINE A FUTURE. Edited by Michael H. Glantz. Cambridge University Press, 1987.

АГРАРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В СТРАНАХ АФРИКИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ. Под ред. Л.В. Гончарова. — М.: Наука, 1982.

ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ И АФРИКА. Под ред. Г.С. Хозина. — М.: Наука, 1983.

Радченко Г.Ф. СТРАНЫ САХЕЛЯ. — М.: Наука, 1983.

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ФОТОСИНТЕЗА

THE PHOTOSYNTHETIC BACTERIA. Edited by Roderick K. Clayton and William R. Sistrom. Plenum Press, 1978.

PHOTOSYNTHESIS, VOL. 1: ENERGY CONVERSION BY PLANTS AND BACTERIA. Edited by Govindjee. Academic Press, 1982.

MOLECULAR GENETICS AND THE LIGHT REACTIONS OF PHOTOSYNTHESIS. Douglas C. Youvan and Barry L. Marrs in *Cell*, Vol. 39, No. 1, pages 1-3; November, 1984.

THE STRUCTURAL BASIS OF PHOTOSYNTHETIC LIGHT REACTIONS IN BACTERIA. Johann Deisenhofer, Hartmut Michel and Robert Huber in *Trends in Biochemical Sciences*, Vol. 10, No. 6, pages 243-248; June, 1985.

ГРАВИТАЦИОННО-ВОЛНОВЫЕ ОБСЕРВАТОРИИ

GRAVITATION. Charles W. Misner, Kip S. Thorne and John Archibald Wheeler. W. H. Freeman and Company, 1973.

SOURCES OF GRAVITATIONAL RADIATION. Edited by Larry L. Smarr. Cambridge University Press, 1979.

THE SEARCH FOR GRAVITY WAVES. P. C. W. Davies. Cambridge University Press, 1980.

Брагинский В.Б. ЗАГАДКА ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН. — Наука в СССР, 1982, № 4, с. 8.

Брагинский В.Б. РАЗРЕШЕНИЕ В МАКРОСКОПИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ:

ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ. — Успехи физических наук, 1987, в печати.

В ПОИСКАХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН. Интервью с К.С. Торном. — Природа, 1987, № 4, с. 34.

Гришук Л.П. ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ В КОСМОСЕ И В ЛАБОРАТОРИИ. — Успехи физических наук, 1977, т. 121, с. 629.

АНАТОМИЯ ПАМЯТИ

A MEMORY SYSTEM IN THE MONKEY. M. Mishkin in *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Series B, Vol. 298, No. 1089, pages 85-95; June 25, 1982.

MEMORIES AND HABITS: TWO NEURAL SYSTEMS. Mortimer Mishkin, Barbara Malamut and Jocelyne Bachevalier in *Neurobiology of Learning and Memory*, edited by Gary Lynch, James L. McGaugh and Norman M. Weinberger. The Guilford Press, 1984.

THE AMYGDALA: SENSORY GATEWAY TO THE EMOTIONS. John P. Aggleton and Mortimer Mishkin in *Emotion: Theory, Research and Experience*, Vol. 3, edited by Robert Plutchik and Henry Kellerman. Academic Press, 1985.

AMYGALECTOMY IMPAIRS CROSSMODAL ASSOCIATION IN MONKEYS. Elisabeth A. Murray and Mortimer Mishkin in *Science*, Vol. 228, No. 4699, pages 604-606; May 3, 1985.

ОБРУШЕНИЕ ВУЛКАНОВ

CATASTROPHIC DEBRIS STREAMS (STURZSTROMS) GENERATED BY ROCKFALLS. Kenneth J. Hsu in *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 86, No. 1, pages 129-140; January, 1975.

VOLCANIC DRY AVALANCHE DEPOSITS — IDENTIFICATION AND COMPARISON WITH NONVOLCANIC DEBRIS STREAM DEPOSITS. Tadahide Ui in *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 18, No. 1/4, pages 135-150; October, 1983.

LARGE VOLCANIC DEBRIS AVALANCHES: CHARACTERISTICS OF SOURCE AREAS, DEPOSITS, AND ASSOCIATED ERUPTIONS. Lee Siebert in *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 22, No. 3/4, pages 163-197; October, 1984.

CATASTROPHIC DEBRIS AVALANCHE DEPOSIT OF SOCOMPA VOLCANO, NORTHERN CHILE. P. W. Francis, M. Gardeweg, F. Ramirez and

Издательство МИР предлагает:

АФФИННАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ. Методы

Под редакцией
П. Дина, У. Джонсона,
Ф. Мидла
Перевод с английского

Книга посвящена одному из наиболее эффективных биохимических методов исследования — аффинной хроматографии. Книга содержит не только краткое теоретическое обсуждение рассматриваемой проблемы, но главным образом конкретные и подробные методики проведения того или иного эксперимента, что делает ее незаменимым практическим пособием в области аффинной хроматографии.

Для химиков и биохимиков, интересующихся проблемами выделения и очистки биополимеров, иммобилизации биологически активных соединений, биотехнологии.

1988, 18 л. Цена 3 р.

Х. Крафт ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ТЕОРИИ ИНВАРИАНТОВ

Перевод с немецкого
Систематическое изложение основ современной геометрической теории инвариантов, написанное швейцарским математиком, который знаком читателям по сборнику «Живые числа» (М.: Мир, 1985). В книге нашли отражение новые идеи и методы (метод U-инвариантов, теория вложений однородных пространств). Изложение отличается простотой и доступно читателям с минимальной специальной подготовкой.

Для математиков различных специальностей, преподавателей, аспирантов и студентов университетов.

1987, 17 л. Цена 1 р. 80 к.



D.A. Rothery in *Geology*, Vol. 13, No. 9, pages 600-603; September, 1985.

Раст. X. Вулканы и вулканизм. Перев. с нем. — М.: Мир, 1982.

КАК ТЮЛЕНЬ УЭДДЕЛЛА ПРИСПОСОБЛЕН К НЫРЯНИЮ

WEDDELL SEAL: CONSUMMATE DIVER. Gerald L. Kooyman. Cambridge University Press, 1981.

SEAL LUNGS COLLAPSE DURING FREE DIVING: EVIDENCE FROM ARTERIAL NITROGEN TENSIONS. Konrad J. Falke, Roger D. Hill, Jesper Qvist, Robert C. Schneider, Michael Guppy, Graham C. Liggins, Peter W. Hochachka, Richard E. Elliott and Warren M. Zapol in *Science*, Vol. 229, No. 4713, pages 556-558; August 9, 1985.

HEMOGLOBIN CONCENTRATIONS AND BLOOD GAS TENSIONS OF FREE-DIVING WEDDELL SEALS. Jesper Qvist, Roger D. Hill, Robert C. Schneider, Konrad J. Falke, Graham C. Liggins, Michael Guppy, Richard E. Elliott, Peter W. Hochachka and Warren M. Zapol in *Journal of Applied Physiology*, Vol. 61, No. 4, pages 1560-1569; October, 1986.

MICROCOMPUTER MONITOR AND BLOOD SAMPLER FOR FREE-DIVING WEDDELL SEALS. Roger D. Hill in *Journal of Applied Physiology*, Vol. 61, No. 4, pages 1570-1576; October, 1986.

КОММУТАЦИОННАЯ МАШИНА

THE CONNECTION MACHINE. W. Daniel Hillis. The MIT Press, 1985.

MASSIVELY PARALLEL COMPUTERS: THE CONNECTION MACHINE AND NON-VON. Richard P. Gabriel in *Science*, Vol. 231, No. 4741, pages 975-978; February 28, 1986.

SPECIAL ISSUE ON PARALLELISM. *Communications of the ACM*, Vol. 29, No. 12; December, 1986.

РОЖДЕНИЕ ПРОГРАММЫ РАЗРАБОТКИ БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ В США

THE CHEMICAL WARFARE SERVICE: FROM LABORATORY TO FIELD. Leo P. Brophy, Wyndham D. Miles and Rexmond C. Cochrane. U.S. Government Printing Office, 1959.

CHURCHILL'S SECRET BIOLOGICAL WEAPONS. Barton J. Bernstein in *Bulletin of the Atomic Scientists*, Vol. 43, No. 1, pages 46-50; January/February, 1987.

NEW DESIGNS FOR BIOLOGICAL WEAPONS. Susan Wright in *Bulletin of*

the Atomic Scientists, Vol. 43, No. 1, pages 43-46; January/February, 1987.

SVERDLOVSK AND YELLOW RAIN: TWO CASES OF SOVIET NONCOMPLIANCE. Elisa D. Harris in *International Security*, Vol. 11, No. 4, pages 41-95; Spring, 1987.

НАУКА ВОКРУГ НАС

THE SHAPE OF SPACE: HOW TO VISUALIZE SURFACES AND THREE-DIMENSIONAL MANIFOLDS. Jeffrey R. Weeks. Marcel Dekker, Inc., 1985.

KNOTTED DOUGHNUTS AND OTHER MATHEMATICAL AMUSEMENTS. Martin Gardner. W. H. Freeman and Company, 1986.

Голомб С. В. Полимино. — М.: Мир, 1975.

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

AMUSEMENTS IN MATHEMATICS. Henry Ernest Dudeney. Dover Publications, Inc., 1958.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 20.07.87.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/4.

Гарнитуры таймс, гелнос.

Офсетная печать.

Объем 6,50 бум. л.

Усл.-печ. л. 13,00.

Уч.-изд. л. 16,04.

Усл. кр.-отт. 54,36.

Изд. № 25/5517. Заказ 480.

Тираж 23900 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



Вниманию читателей!

АЭРОКОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Ежемесячный журнал в переводе с английского,
издательство «Мир»

Если раньше журнал «Аэрокосмическая техника» ориентировался на специалистов узкого профиля, то с 1987 года его тематическая направленность изменилась: многие публикуемые в нем информационные статьи, сообщения и фотоснимки представляют интерес и для широкого круга читателей. В каждый выпуск теперь включаются оперативные материалы из нового для советского читателя научно-популярного журнала «Аэрокосмическая Америка» (Aerospace America) в соответствии с контрактом, заключенным издательством «Мир» и Американским институтом аэронавтики и астронавтики (AIAA). Кро-

ме того, достигнута договоренность на перевод и публикацию материалов из еще одного издаваемого этим же институтом журнала «Теплопередача и теплозащита» (Thermophysics and Heat Transfer).

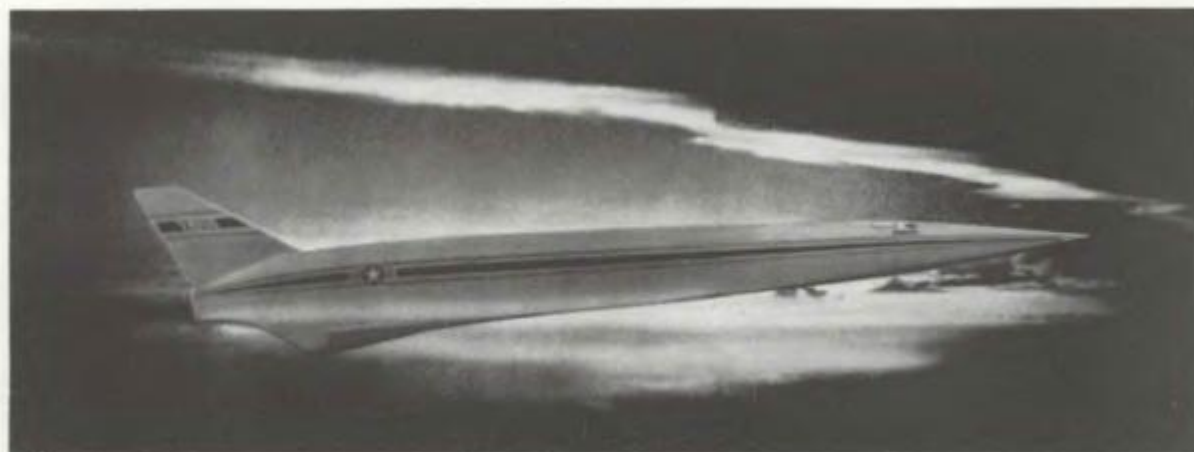
Вместе с тем редакция «Аэрокосмической техники» по традиции и по-прежнему в большом объеме продолжает публикацию наиболее актуальных и значимых статей из других уже известных читателям пяти научных вестников: AIAA Journal; Journal of Aircraft; Journal of Spacecraft and Rockets; Journal of Propulsion and Power; Journal of Guidance, Control, and Dynamics. Эти жур-

налы также издаются Американским институтом аэронавтики и астронавтики — ведущим научным обществом, объединяющим свыше 35 тысяч ученых, инженеров, специалистов, работающих в области авиации, ракетно-космической техники.

С помощью общественного научного совета редакция «Аэрокосмической техники» постоянно работает над улучшением планирования каждого номера, привлекает к отбору материалов из американских источников и оперативному их переводу компетентных ученых и инженеров, в совершенстве владеющих английским языком и своей специальностью.

ТЕМАТИКА ПУБЛИКАЦИЙ

Содержание каждого номера журнала можно условно разделить на два больших раздела. В первый из них постоянно включаются научно-популярные материалы, посвященные новым зарубежным самолетам, ракетам, космическим аппаратам, кораблям, станциям, исследованиям ближнего и дальнего космоса, новым проектам, гипотезам, перспективам развития в США и других странах Запада ведущих отраслей индустрии, в том числе и военного профиля. Второй раздел журнала (рассчитан на подготовленного читателя) отражает следующие тематические направления: аэродинамика летательных аппаратов, включая численные методы; авиационные и ракетные двигатели; топливо и процессы горения; теплопередача и теплозащита летательных аппаратов; управление и навигация; прочность и устойчивость; композиционные материалы; лазеры и их применение; спутниковая связь; бортовая и наземная электроника; энергетика, МГД-устройства; охрана окружающей среды.



Космоплан — техника будущего. Этот снимок из Aerospace America опубликован в журнале «Аэрокосмическая техника» (№ 6, 1987 г.). Иллюстрация наглядно показывает, как будет развиваться авиация в ближайшие десять лет... Уже сегодня начато проектирование воздушно-космических самолетов, скорость которых в 25 раз будет превышать скорость звука.

УСЛОВИЯ ПОДПИСКИ

Подписка на журнал «Аэрокосмическая техника» (годовая, полугодовая, квартальная) принимается без ограничений во всех агентствах «Союзпечати», почтовых отделениях связи, а также общественными распространителями. Стоимость годовой подписки (12 номеров) — 37 руб. 20 коп., полугодовой — 18 руб. 60 коп., квартальной — 9 руб. 30 коп. Журнал включен в «Каталог газет и журналов зарубежных стран», раздел «Переводные научные и научно-технические журналы». Индекс 91345.



В следующем номере:



АРКИ И СВОДЫ В ДРЕВНЕЙ АРХИТЕКТУРЕ
БЛИЖНЕГО ВОСТОКА

РОЛЬ ПЕРЕДОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОНОМИКЕ
АМЕРИКАНСКОЙ СТАЛЕЛИТЕЙНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

МОЛЕКУЛЫ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

КОЛЬЦА УРАНА

ПЛЯЖИ И БАРЬЕРНЫЕ ОСТРОВА

БОЛЕЗНЬ ЛАЙМА

ХОЛОДНЫЙ ЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ

АЭРОДИНАМИКА ВЕТРООПЫЛЕНИЯ

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ПРОГРАММЫ,
МОДЕЛИРУЮЩИЕ ХАОТИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ

ЗАГАДКИ ТЕЧЕНИЯ ВОДЫ В ТРУБАХ