

В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



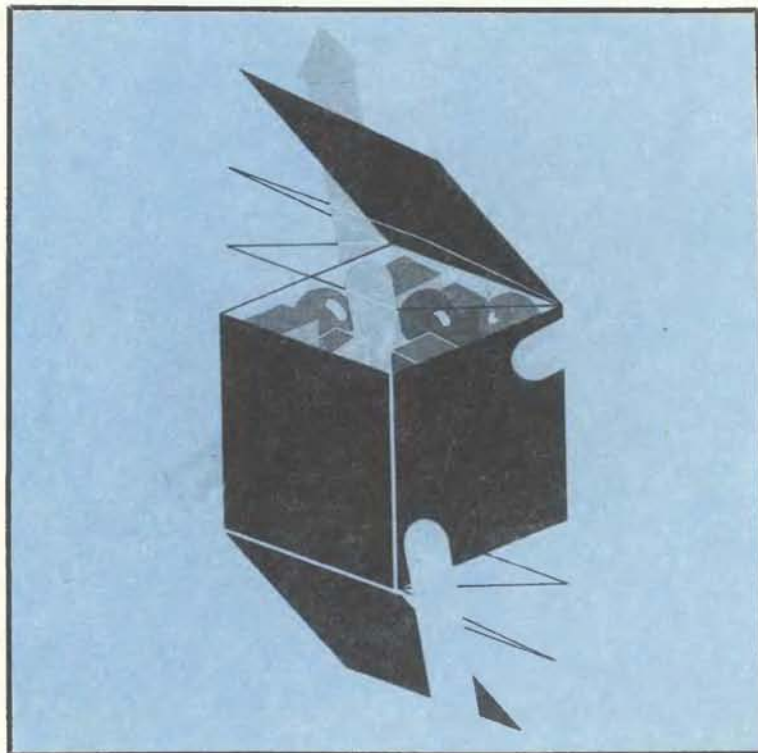
Октябрь **10** 1990

ФРЕСКИ МАЙЯ

Внимание читателей!

К. Уэстерхоф, К. ван Дам

ТЕРМОДИНАМИКА И РЕГУЛЯЦИЯ ПРЕВРАЩЕНИЙ ЭНЕРГИИ В БИОСИСТЕМАХ



Книга Уэстерхофа (США) и ван Дама (Нидерланды) представляет собой законченное изложение современных представлений в области термодинамики, кинетики и регуляции биохимических процессов, связанных с образованием и утилизацией энергии в клетке. Рассмотрение проводится на основе обобщенного термодинамического подхода к исследованию сложных процессов преобразования свободной энергии и превращений веществ в биосистемах, объединяющего классическую химическую термодинамику с неравновесной статистической механикой, кинетикой и теорией управления.

В монографии освещены как общие теоретические вопросы, так и конкретные приложения — исследования окислительного фосфорилирования и фотосинтеза.

Для специалистов — биохимиков, биофизиков, биоэнергетиков, а также для студентов, специализирующихся по указанным специальностям, аспирантов, преподавателей вузов.

1991 г. 39 л. Цена 5 р. 10 к.

Эту книгу вы сможете заказать в магазинах научно-технической литературы



В МИРЕ НАУКИ

Scientific American · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО · ВЫХОДИТ 12 РАЗ В ГОД · ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1983 ГОДА
МОСКВА «МИР»

№ 10 ОКТЯБРЬ 1990

В номере:

СТАТЬИ

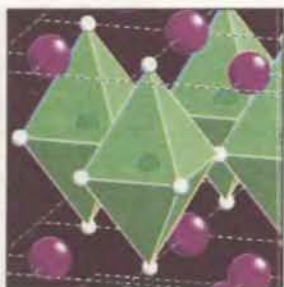


(Scientific American, August 1990, Vol. 263, No. 2)

6 Баллистические ракеты в «третьем мире»

Джейн Е. Нолан, Альберт Д. Вилон

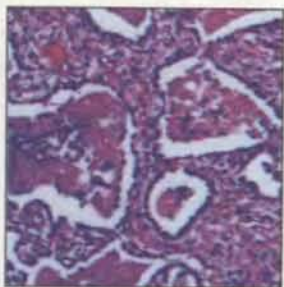
Наличие стратегических вооружений в странах, расположенных в регионах с нестабильной обстановкой, увеличивает вероятность их использования. Поскольку обратить процесс распространения баллистических ракет вспять невозможно, мы должны уметь предотвратить его опасные последствия



16 Новые сверхпроводящие керамики

Роберт Дж. Кава

Соединения на основе иттрия, бария и меди в соотношении 1:2:3 представляют собой только один из многих видов высокотемпературных сверхпроводящих материалов. Все они имеют в кристаллической структуре плоскости из атомов меди и кислорода, обеспечивающие беспрепятственное движение электронов



26 Инфекции, связанные со СПИДом

Джон Миллз, Генри Мазур

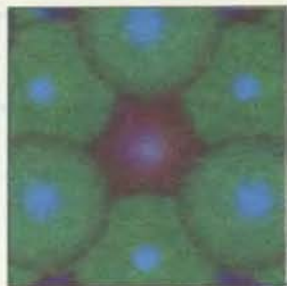
До тех пор, пока вирус СПИДа не будет побежден, надежда на продление жизни больных и улучшение ее качества во многом зависит от совершенствования методов лечения оппортунистических инфекционных заболеваний, возникающих при СПИДе



36 Язык фракталов

Хартмут Юргенс, Хайнц-Отто Пайтген, Дитмар Заупе

Эти невообразимо тонкие структуры — не просто математический курьез. Фрактальная геометрия четко описывает сложные природные объекты и процессы



46 Когда температура плавления не равна температуре замерзания

Р. Стивен Берри

Атомные кластеры могут дать ключ к пониманию процессов замерзания и плавления. Такие агрегаты из атомов и молекул, включающие от 4—5 до нескольких сотен частиц, могут существовать одновременно и как твердое тело, и как жидкость



54 Распространение семян муравьями

Стивен Н. Хендл, Эндрю Дж. Битти

Тысячи видов растений для распространения семян нуждаются в помощи муравьев. Чтобы эти насекомые переносили семена, не повреждая их, растения имеют специальные пищевые приманки и другие приспособления



62 Тенденции глобального потепления

Филип Д. Джоунс, Том М. Л. Уигли

Анализ данных наблюдений на суше и на море подтверждает, что за последние сто лет климат на нашей планете потеплел на 0,5°C. Вопрос о дальнейшем потеплении остается открытым



НАУКА В КАРТИНКАХ

72 Искусство майя в копиях

Джун Киношита

Копии фресок майя становятся важным «археологическим документом» в связи с тем, что местные климатические условия и выбросы промышленных предприятий, загрязняющих атмосферу, ускоряют разрушение самих фресок

РУБРИКИ

4 Об авторах

5 50 и 100 лет назад

14, 24, 34, 44,

52, 61, 70, 78,

84, 90 Наука и общество

80 Наука вокруг нас

86 Книги

98 Эссе

99 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan Piel
EDITOR

John J. Moeling, Jr.
PUBLISHER

BOARD OF EDITORS

Alan Hall, Michelle Press,
Laurie Burnham,
Timothy M. Beardsley,
Elizabeth Corcoran,
Deborah Erickson,
Marguerite Holloway,
John Horgan, June Kinoshita,
Philip Morrison (BOOK EDITOR),
Corey S. Powell,
John Rennie, Philip E. Ross,
Ricki L. Rusting, Russel Ruthen,
Paul Wallich

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR

Richard Sasso
VICE-PRESIDENT
PRODUCTION AND DISTRIBUTION

SCIENTIFIC AMERICAN, INC.

Claus-Gerhard Firchow
PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER

Georg-Dieter von Holtzbrinck
CHAIRMAN OF THE BOARD

Gerard Piel
CHAIRMAN EMERITUS

© 1990 by Scientific American, Inc.

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

В МИРЕ НАУКИ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
С. П. Капица

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
Л. В. Шепелева

НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ
З. Е. Кожанова, О. К. Кудрявов,
Т. А. Румянцева, А. М. Смотров,
А. Ю. Краснопевцев, А. В. Белых

ЛИТЕРАТУРНЫЙ РЕДАКТОР
О. В. Мошкова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. К. Аносов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
Л. И. Желоховцева

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОАБОРА
В. С. Галкин

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
А. В. Лыткина

КОРРЕКТОР
Р. Л. Вибке

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», 1990

На обложке



ФРЕСКИ МАЙЯ

На обложке изображена фигура жреца майя на фреске в Бонампаке. Копия фрески была раскрашена в середине 70-х годов Фелипе Давалосом для Флоридского музея естествознания в Гейнсвилле. Работа Давалоса и других художников может вскоре оказаться единственным напоминанием о фресках и рельефах древних майя, которые в настоящее время очень быстро разрушаются. Например, фрески в Бонампаке весьма пострадали от воздействия микроорганизмов и постоянно меняющихся температур и влажности. Некоторые попытки спасти их причинили больше вреда, чем пользы. (См. статью Джун Киношита на с. 72).

Иллюстрации

ФОТО НА ОБЛОЖКЕ Merie Greene Robertson.

СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
7	Impact Photo via Jane's Information Group	(вверху и внизу слева), Hartmut Jürgens, Heinz-Otto Peitgen and Dietmar Saupe (внизу справа)	55	Patricia J. Wynne	
8, 9	Gabor Kiss		56	Steven N. Handel	
10	Johnny Johnson		57, 58	Patricia J. Wynne	
11	George Retseck	39 Edward Bell	59, 60	Steven N. Handel	
12	Johnny Johnson	(слева), Hartmut Jürgens, Heinz-Otto Peitgen and Dietmar Saupe (в середине и справа)	62, 63	George Retseck	
16—21	Michael Goodman		64—66	Patricia J. Wynne	
22	Lynn F. Schneemeyer		67—69	John Decken	
23	Johnny Johnson	40, 41 Hartmut Jürgens, Heinz-Otto Peitgen and Dietmar Saupe	72	City of Bristol Museum and Art Gallery	
27	William Travis		73, 76	Norman Hammond, Boston University	
28, 29	Ian Worpole		74	Merle Greene Robertson	
30	Erwin Feurstein (слева), Henry Masur (справа)	42 Hartmut Jürgens, Heinz-Otto Peitgen and Dietmar Saupe (слева), Richard F. Voss (справа)	75	Mary Miller, Yale University	
31, 32	Ian Worpole		77	Norman Hammond (вверху слева), Justin Kerr (вверху справа), Merle Greene Robertson (внизу)	
33	Johnny Johnson				
36, 37	H.O. Peitgen, H. Jürgens, D. Saupe and C. Zahlten, <i>Fractals: An Animated Discussion</i> , with Edward Lorenz and Benoit B. Mandelbrot (video)	43 H.O. Peitgen and P. Richter, <i>The Beauty of Fractals</i>			
38	Andrew Christie	47 Thomas L. Beck			
		48, 49 Ian Worpole			
		50 Hai-Ping Cheng (вверху), Ian Worpole (внизу)	81—83	Michael Goodman	
		51 Ian Worpole			

Об авторах

Janne E. Nolan, Albert D. Wheelon "Ballistic Missiles in the Third World" (ДЖЕЙН Е. НОЛАН, АЛЬБЕРТ Д. ВИЛОН «Баллистические ракеты в «третьем мире») вместе занимались изучением проблемы распространения ракетного оружия. Нолан работает старшим научным сотрудником в Институте Брукингса, степень доктора наук получила в Юридической и дипломатической школе Флетчера при Тафтском университете. Во время президентства Картера была назначена членом делегации на переговорах между США и СССР по ограничению торговли оружием. С 1983 по 1986 г. работала ответственным сотрудником секретариата сенатора Г. Харта в Комитете сената по делам вооруженных сил. Вилон в 1988 г. ушел в отставку с поста ответственного сотрудника авиационной компании Hughes Aircraft и в 1989 г. преподавал в Массачусетском технологическом институте. Он был членом Президентского совета по вопросам иностранной разведки и совета по науке в области обороны. Степень кандидата физических наук получил в 1952 г. в Массачусетском технологическом институте и после этого в течение 10 лет занимался конструированием систем наведения баллистических ракет. Затем перешел на работу в Центральное разведывательное управление, где, будучи заместителем директора по вопросам науки и техники, он создал широкомасштабную программу сбора и анализа технической информации.

Robert J. Cava "Superconductors beyond 1-2-3" (РОБЕРТ ДЖ. КАВА «Новые сверхпроводящие керамики») — специалист в области материаловедения из AT&T Bell Laboratories, был в числе первых, кто занялся поиском высокотемпературных сверхпроводников. В 1978 г. в Массачусетском технологическом институте получил степень доктора философии в области исследования керамических материалов. Увлекается астрономией и любит итальянскую оперу.

John Mills, Henry Masur "AIDS-Related Infections" (ДЖОН МИЛЛЗ, ГЕНРИ МАЗУР «Инфекции, связанные со СПИДом») разрабатывают и совершенствуют методы лечения инфекций, связанных со СПИДом. Миллз получил степень доктора медицины в 1966 г. в Медицинской школе Гарвардского университета. Сейчас он профессор медицины и микробиологии в Медицинской школе Ка-

лифорнийского университета в Сан-Франциско, возглавляет отделение инфекционных болезней в Сан-Францискской больнице. Мазур получил степень доктора медицины в 1972 г. в Корнеллском университете, где затем работал несколько лет. В настоящее время руководит отделом интенсивной терапии и реанимации в Национальных институтах здоровья.

Hartmut Jürgens, Heinz-Otto Peitgen, Dietmar Saupe "The Language of Fractals" (ХАРТМУТ ЮРГЕНС, ХАЙНЦ-ОТТО ПАЙТГЕН, ДИТМАР ЗАУПЕ «Язык фракталов») сотрудничают в математических исследованиях и в области графических методов построения изображений, работая в Институте динамических систем при Бременском университете. Пайтген получил степень доктора математических наук в Боннском университете в 1973 г. Он профессор математики в Бременском университете и приглашенный профессор в Калифорнийском университете в Санта-Круссе. Заупе и Юргенс получили степень доктора математических наук в Бременском университете соответственно в 1982 и 1983 гг. Заупе — доцент, работает в области вычислительной математики. Юргенс возглавляет университетскую лабораторию графических методов для изучения динамических систем.

R. Stephen Berry "When the melting and freezing points are not the same" (Р. СТИВЕН БЕРРИ «Когда температура плавления не равна температуре замерзания») — профессор Чикагского университета, где он работает на химическом факультете, в Институте Джеймса Франка и Школе общественно-политических наук. Берри изучает динамику атомных и молекулярных процессов и термодинамику, а также работает в области повышения эффективности использования энергии и сбережения ресурсов. Интерес Берри к атомным кластерам связан с продолжительным изучением нежестких молекул и взаимосвязи между их нежесткостью и жидкой фазой. Он был стипендиатом фонда Маккартура (1983—1988 гг.), степень доктора философии получил в 1956 г. в Гарвардском университете, затем преподавал в Мичиганском и Йельском университетах, а в 1964 г. стал сотрудником Чикагского университета.

Steven N. Handel, Andrew J. Beattie "Seed Dispersal by Ants" (СТИВЕН Н. ХЕНДЛ, ЭНДРЮ ДЖ. БИТТИ «Распространение семян муравья-

ми») занимаются проблемой взаимоотношений между насекомыми и растениями. Хендл получил докторскую степень в Корнеллском университете в 1976 г. Сейчас он ассистент в Университете Ратгерса и заместитель редактора журнала "Evolution". Преподавал в Университете Южной Каролины, Йельском университете, Биологической лаборатории Скалистых гор в Колорадо и Горно-озерной станции Университета шт. Виргиния. В 1983—1985 гг. он был председателем секции генетики Американского ботанического общества. Битти в 1987 г. стал профессором Университета Маккуори в Сиднее (Австралия). До этого заведовал кафедрой экологии и эволюционной биологии в Северо-Западном университете. Он руководил также Биологической лабораторией Скалистых гор и работал в качестве приглашенного научного сотрудника в Мельбурнском университете. Докторскую степень получил в Ливерпульском университете.

Philip D. Jones, Tom M.L. Wigley "Global Warming Trends" (ФИЛИП Д. ДЖОУНС, ТОМ М.Л. УИГЛИ «Тенденции глобального потепления») — климатологи из Университета Восточной Англии в Норвике, Великобритания. Интересы Джоунса как исследователя охватывают длиннопериодный мониторинг климата и сравнительный анализ климатических данных и компьютерных моделей. Он получил степень бакалавра в Ланкастерском университете и степень доктора философии в Университете в Ньюкасл-апон-Тайне. В настоящее время секретарь Международной комиссии по климатологии Международного союза геодезии и геофизики. Уигли — директор Отдела исследований климата Университета Восточной Англии, где он разрабатывает модели, прогнозирующие изменение климата в прошлом и будущем. Получил степень доктора философии в Университете Аделаиды, стажировался в качестве метеоролога в Австралийском метеорологическом бюро и преподавал инженерное дело в Университете Ватерлоо в Онтарио. В 1975 г. перешел работать в Отдел исследований климата. Юношеское увлечение спелеологией привело его к изучению геохимии карбонатов, а затем к более общей проблеме роли диоксида углерода и парникового эффекта.

Miriam Rothschild "Essay" (МИРИАМ РОТШИЛЬД «Эссе») — всему самостоительно обучившийся исследователь-любитель, широко известный специалист по изучению блох.

50 и 100 лет назад



АВГУСТ 1940 г. «Новый циклотрон Э. Лоуренса предназначен для фундаментальных исследований, для раскрытия неразгаданных секретов атома и превращений элементов. Он будет ускорять частицы до энергии 100 МэВ, а может быть, гораздо большей. Такой мощный ускоритель безусловно полезен, но и опасен. Даже существующий циклотрон — в 20 раз меньше того, который будет, — упоминается учеными с уважением. Если вы попытаетесь «поймать» рукой пучок дейтронов — яркий луч синевато-лилового света — вы обожжетесь, как если бы вы сунули руку в пламя паяльной лампы».

«Компания New York World's Fair предлагает новые осветительные средства. Возьмем, к примеру, люминесцентную лампу — эффективный и практичный источник дневного света. Невидимое ультрафиолетовое излучение дугового разряда превращается в видимый свет, проходя через фотолюминесцирующее покрытие, нанесенное на внутреннюю поверхность трубки. Световая отдача новой лампы около 40 лм/Вт, обычной лампы накаливания — только 15 лм/Вт».

«Президент прав, когда говорит о 50 тыс. самолетов для целей национальной безопасности и предусматривает постройку 20 тыс. военных и морских самолетов в течение одного года. Мы можем сделать это в том

случае, если: выбор опытных образцов и выполнение производственных заказов будут значительно упрощены и ускорены; приемка и аттестация ускорены; ремесленные школы выпустят огромное число механиков; профсоюзы снимут свои ограничения на прием на работу новых людей; университеты будут готовить тех инженеров, которые требуются; союзники немедленно предоставят всю имеющуюся у них военную информацию нашим ВВС; руководство ВВС и Бюро авиации будут применять незамедлительные меры в выборе опытных образцов и в конструировании новых самолетов; конструкторы будут следовать германской технологии создания самолетов и двигателей, которая предусматривает срок службы в 100 часов вместо 5 тыс. часов, поскольку «жизнь» самолета в военное время гораздо короче, чем в мирное. Мы должны улучшить эффективность, маневренность и огневую мощь в ущерб долговечности».

«Каждый честный и справедливый человек, будь то гражданин США или иностранец, приветствовал бы всеобщий закон об отпечатках пальцев. При его введении появились бы некоторые преимущества частного, а также общенационального характера. Снятие отпечатков пальцев сделало бы возможным установление личности людей, погибших или потерявших память. Это позволит непрерывно вести перепись населения и осуществлять контроль всех лиц, постоянно живущих, въезжающих или выезжающих из США. Это позволит избежать возвращения депортированных из страны и побега скрывающихся от

правосудия, а также быстро осуществлять призыв в армию и не допустить уклонения от призыва».

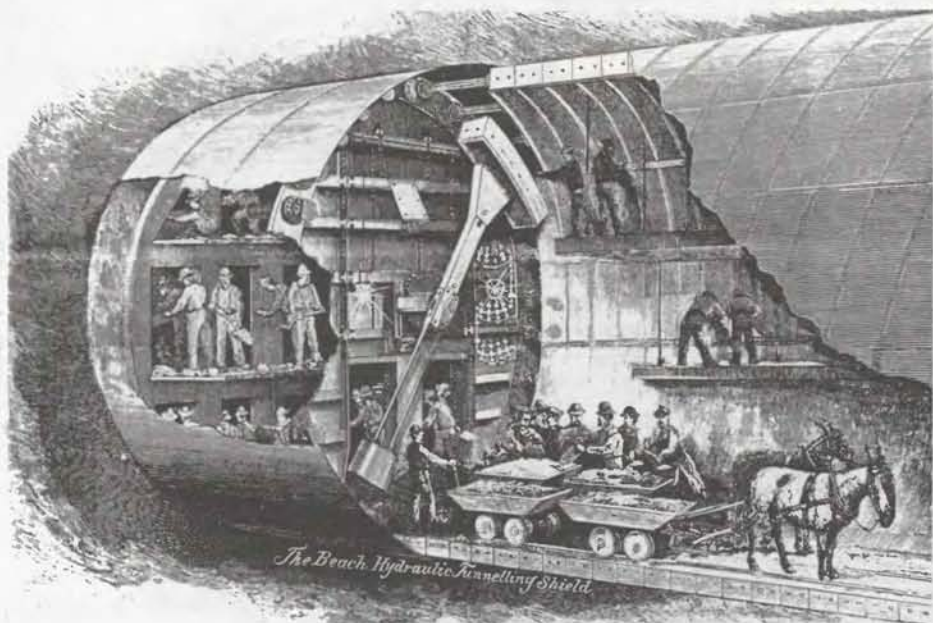


АВГУСТ 1890 г. «Г-н Т. Эдисон объявил, что эпидемия желтой лихорадки может быть предотвращена, если после обнаружения первого случая или случаев заболевания грунт около дома или улицы вокруг городского квартала будет буквально пропитан бактерицидными средствами. Если теория распространения желтой лихорадки по поверхности земли окажется верной, предложение г-на Эдисона стоит обсудить».

«В недавней лекции в клубе ученых проф. Э. Томсон заявил, что с помощью электричества будут получены скорости передвижения более высокие, чем скорость, развиваемая паровозом. Он утверждает, что если бы мы перенесли на 100 лет вперед, то увидели машины, движущиеся со скоростью не менее 150 миль/час.

«Некий негодяй по имени Кеммлер, чье преступление заключалось в зверском убийстве женщины, был первым, кого должны были казнить посредством электричества. Осужденный был привязан к прочному стулу, к нему были подсоединены электроды на верхушке головы и в основании позвоночника. При включении рубильника преступник был мгновенно убит переменным током мощного генератора фирмы Westinghouse. Смертная казнь — гильотина, гаротта, виселица, расстрел или электрический стул, — мрачное дело; и неудивительно, что падкие на сенсации газеты, подстрекаемые противниками электрической смерти, заполняют свои страницы отвратительными деталями».

«Туннель, который должен соединить Порт-Гурон (шт. Мичиган) с американской стороны и Сарнию с канадской, прокладывается с помощью гидравлического проходческого щита, изобретенного г-ном А. Бичем, сотрудником журнала "Scientific American". Назначение приспособления — защитить работающих на прокладке туннеля. Оно представляет собой прочный цилиндр, напоминающий громадную бочку со снятыми крышками. Посредством системы гидравлических домкратов, способных работать вместе или раздельно, можно управлять ориентацией туннельного щита с достаточной точностью.»



Баллистические ракеты в «третьем мире»

Наличие стратегических вооружений в странах, расположенных в регионах с нестабильной обстановкой, увеличивает вероятность их использования. Поскольку обратить процесс распространения баллистических ракет вспять невозможно, мы должны уметь заранее предотвратить его опасные последствия

ДЖЕЙН Е. НОЛАН, АЛЬБЕРТ Д. ВИЛОН

ВЕСНОЙ этого года средства массовой информации представили людям редкую возможность заглянуть в темный пугающий мир. Иракский лидер Саддам Хусейн заявил 2 апреля, что он обладает потенциалом для уничтожения половины населения Израиля. На следующий день Израиль с помощью мощной ракеты-носителя «Йерихо II» запустил на орбиту свой второй спутник. На одиннадцатый день британские таможенные службы конфис-

ковали груз с металлическими трубами, готовыми к отправке в Ирак, якобы для нефтехимического комплекса. Агенты утверждали, а один из британских поставщиков впоследствии подтвердил, что стальные цилиндры метрового диаметра в действительности предназначались для ствола гигантской пушки, способной стрелять реактивными снарядами на расстоянии до 5 000 км. Действительно, подобное орудие было сконструировано в 60-х годах Дж. Баллом, бывшим

консультантом министерства обороны США, впоследствии ставшим международным торговцем оружием. За 11 дней до выступления С. Хусейна, 22 марта, Балла нашли убитым у дверей его дома в Брюсселе.

Этот подозрительный эпизод может оказаться не таким уж невинным, если воспринять его как новую фазу в гонке вооружений. Баллистические ракеты и другие средства массового уничтожения, имеющие большую дальность и традиционно считавшие-

ОТ КОМИТЕТА СОВЕТСКИХ УЧЕНЫХ ЗА ГЛОБАЛЬНУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ

Статья Дж. Нолан и А. Вилоня посвящена достаточно новой для советского читателя, но уже ставшей весьма актуальной проблеме: распространению баллистических ракет в странах «третьего мира». Мы стали свидетелями нового, очень опасного витка гонки вооружений, когда ракетное оружие, появляясь во все большем числе государств, создает новый источник угрозы мировой и региональной стабильности. Одной из причин этого явления, как правильно отмечают авторы статьи, явился конфронтационный подход к взаимоотношениям стран Востока и Запада, выразившийся в данном случае в попытках поставить под угрозу позиции соперника на региональном уровне. Поставки развитыми странами ракетного вооружения в «третий мир» сыграли роковую роль; с сожалением приходится признать, что наша страна является одним из самых активных торговцев ракетами.

Однако нельзя сводить дело только к ракетной угрозе. Помимо баллистических ракет дестабилизирующую роль играют и самолеты-носители оружия массового поражения, чей потенциал ничуть не меньше

ракетного. Весьма опасны и другие средства доставки оружия массового поражения, например артиллерия, а также крылатые ракеты.

И распространение ракет, и проведение исследований в области химического и ядерного оружия представляют собой своего рода снежный ком гонки вооружений, поведение которого в дальнейшем может оказаться абсолютно непредсказуемым.

Опасность такого развития событий состоит еще и в том, что в условиях политической нестабильности во многих регионах «третьего мира», а порой и в отдельных странах, а также в силу диктаторского характера власти ряда лидеров, возрастает вероятность того, что основной фактор, обусловивший успех взаимного сдерживания СССР и США, — расчет на рациональность мышления противника и иерархию ценностей, может не сработать, и это только увеличивает опасность широкомасштабного конфликта. Возрастает также вероятность захвата ракетно-ядерного оружия террористическими и экстремистскими группировками с непредсказуемыми перспективами применения.

Авторы статьи ставят вопрос о том, где же выход, говоря, что поскольку мы не можем обратить распространение ракетного оружия вспять, мы должны научить-

ся справляться с наиболее опасными его последствиями, и предлагают комплекс мер, который, по их мнению, мог бы смягчить ситуацию. Несомненно, во многих регионах будет иметь место режим взаимного сдерживания, однако эта ситуация неустойчива и стимулирует гонку вооружений. Поэтому остается надеяться на контроль над вооружениями. Но не следует забывать, что меры контроля над вооружениями не могут полностью устранить существующую угрозу. К тому же войны и конфликты есть явления политические. Конечно, меры контроля могут значительно смягчить обстановку, но это лишь первый шаг. Думается, в дальнейшем основную задачу следует видеть в устранении стимулов к использованию стратегического и ракетного оружия, что может идти в основном в направлении урегулирования региональных конфликтов на справедливой основе. При этом возрастающее значение может иметь политическое давление со стороны других держав и в конечном итоге создание регионального режима стабильности под международным контролем.

Наконец, сложившаяся ситуация еще раз показывает, в какой мере рассогласованы технический прогресс и развитие национального и общественного сознания.

ся принадлежностью небольшого числа промышленно развитых стран, все шире начинают применяться при решении многих региональных конфликтов. Нарастивание военного потенциала в «третьем мире», должна вызывать большее беспокойство, чем военный арсенал, накопленный «пер-

вым миром», поскольку существует куда большая вероятность, что он найдет свое выражение в войне.

Этим опасениям есть несколько причин. В течение прошедшего десятилетия число стран-членов «ракетного клуба» удвоилось и достигло 18. Многие из его новых участников нахо-

дились в состоянии войны или находятся в состоянии конфликта. В отличие от великих держав эти страны не имели достаточно времени для совершенствования системы управления и контроля над своими новыми стратегическими силами. У них не было достаточно времени и для того, чтобы



ИРАНСКАЯ РАКЕТА «Скад-Б», поставляемая из Советского Союза, транспортируется по улицам Тегерана.

научиться справляться со сложностями политики балансирования на грани войны. Наконец, поскольку многие региональные конфликты по времени налагаются друг на друга, гонка вооружений имеет тенденцию перебрасываться из одного района напряженности в другой.

В течение многих лет крупные промышленно развитые страны игнорировали распространение баллистических ракет и стремились добиться политических преимуществ, вооружая своих клиентов. Они считали, что противостояние двух центров силы в мире ограничит региональные конфликты. Сосредоточение внимания на проблемах взаимоотношения стран Востока и Запада отодвинуло проблемы третьего мира на задний план. Малые индустриально развитые страны продавали ракеты, чтобы получать средства, необходимые для поддержания собственной военной промышленности. В то же время развивающиеся страны с готовностью при-

бретали ракеты, руководствуясь теми же соображениями, что и их предшественники: для сдерживания нападения, устрашения противника, создания технической базы, завоевания престижа.

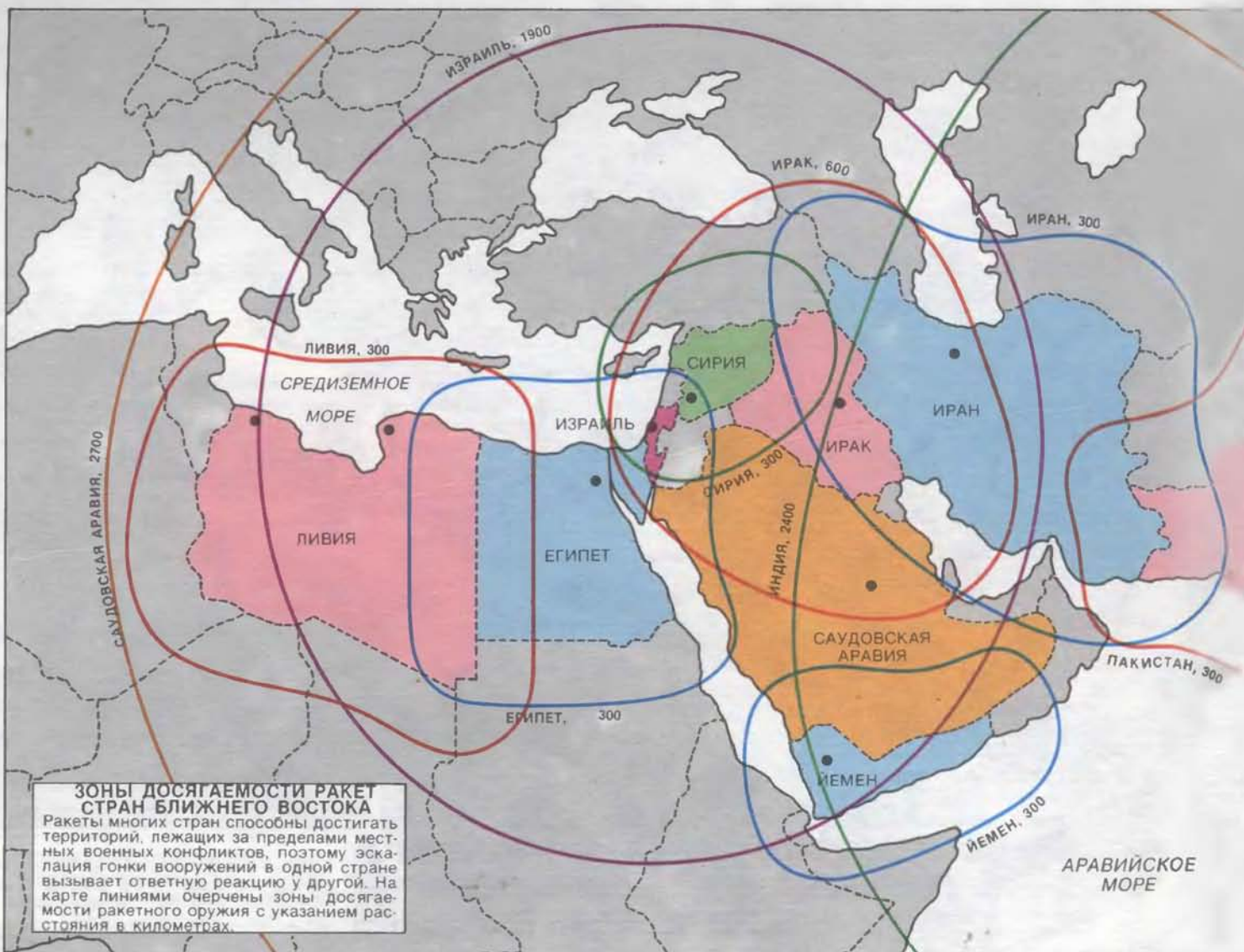
Во время Фолклендского кризиса в 1982 г., когда Аргентина использовала ракеты типа «Экзосет» французского производства для уничтожения новейшего английского крейсера, промышленно развитые страны начали понимать, что распространение ракетного оружия угрожает их интересам. Пятью годами позже иракцы в ирано-иракском конфликте, используя ту же систему, чуть было не потопили американский эсминец*.

*В действительности в ходе Фолклендской войны ракетами типа «Экзосет» были потоплены английский эскадренный миноносец «Шеффилд» и сухогруз «Атлантик Конвейр». В Персидском заливе иракский истребитель повредил американский фрегат «Старк». — *Прим. перев.*

Однако стратегия координации начала зарождаться только в 1987 г., когда США, Великобритания, Франция, ФРГ, Канада, Италия и Япония договорились не экспортировать баллистические ракеты, способные доставлять полезный груз массой более 500 кг на расстояние более 182 миль (около 300 км).

Если бы это соглашение было достигнуто раньше, оно оказалось бы более эффективным. Но теперь, когда развивающиеся страны сами экспортируют ракетную технологию, загнать выпущенного джина обратно в бутылку не так легко. Во всяком случае, контроль над вооружениями не может осуществляться несколькими странами над всеми остальными — с подобными прерогативами великих держав уже никто не желает считаться.

Корни этой проблемы уходят в прошлые десятилетия. США и СССР впервые стали разрабатывать межконтинентальные баллистические ракеты (МБР) в 1953 г., когда в военном



арсенале обеих стран появились термоядерные боеголовки. В 1957 г. в обеих странах были проведены испытания жидкостных МБР и некоторое их число поступило на вооружение. Крупномасштабное их развертывание началось в 60-е годы, когда появились надежные, быстро приводимые в действие твердотопливные двигатели и системы инерционного наведения.

Семейство американских ядерных ракет с дальностью полета 2 400 км в период с 1958 по 1963 гг. было размещено в Великобритании, Италии и Турции, но затем после Карибского кризиса ракеты были выведены с территории этих государств. Подобные ракеты были также размещены на ядерных подводных лодках; более поздние модели приобрели межконтинентальную дальность. Советский Союз разработал более широкий набор ядерных ракет промежуточной и большой дальности и только в 70-е годы сумел развернуть значительное их

количество. США также создали большой набор ракет малого радиуса действия, способных нести обычные, химические и ядерные боеголовки. Они были поставлены в различные страны мира. Кроме того, в США были созданы ракеты малого радиуса, но лишь незначительное число их было поставлено в другие страны.

ФРАНЦИЯ, восставшая против экспортной политики США, стала третьей страной, разработавшей собственные стратегические баллистические ракеты, способные доставлять ядерные боеголовки. Великобритания, используя свои особые отношения с США, купила у них ядерные подводные лодки и баллистические ракеты морского базирования. Позже англичане оснастили их ядерными боеголовками собственного производства.

Китай стал четвертой страной, производящей ракеты, быстро создав самостоятельную промышленность по производству ядерного оружия и баллистических ракет, после разрыва отношений с Советским Союзом в конце 50-х годов. Сейчас Китай начинает экспортировать различные баллистические ракеты среднего радиуса действия. Шесть европейских стран совместно разработали космический носитель типа «Ариан» для коммерческих и научных целей. Несмотря на то что «Ариан» не годится для использования в качестве стратегического оружия, в нем применяются такие технические решения, которые могут оказаться полезными в разработке ракет, например система наведения, которая нашла применение в ряде других стран.

США были самым сдержанным экспортером ракетного оружия среди «Большой четверки». В 50-е годы они передали ракеты типа «Онест Джон», имеющие радиус действия всего 32 км, Греции, Турции и Южной Корее. В 1972 г. в Израиль было поставлено 160 ракет типа «Лэнс», способных нести как обычную, так и ядерную головную часть, однако их радиус действия ограничен 110 км. Несмотря на многократные просьбы Израиля, США отказались поставлять ему ракеты «Першинг-1А», несущие большой полезный вес на расстоянии до 720 км.

Франция отказалась экспортировать ракеты большого радиуса действия. Но в середине 60-х годов, когда Франция еще поддерживала молчаливый альянс с Израилем, она позволила компании Dassault передать Израилю технологию, с помощью которой были созданы ракеты «Йерихо I». Эта мобильная система имеет радиус

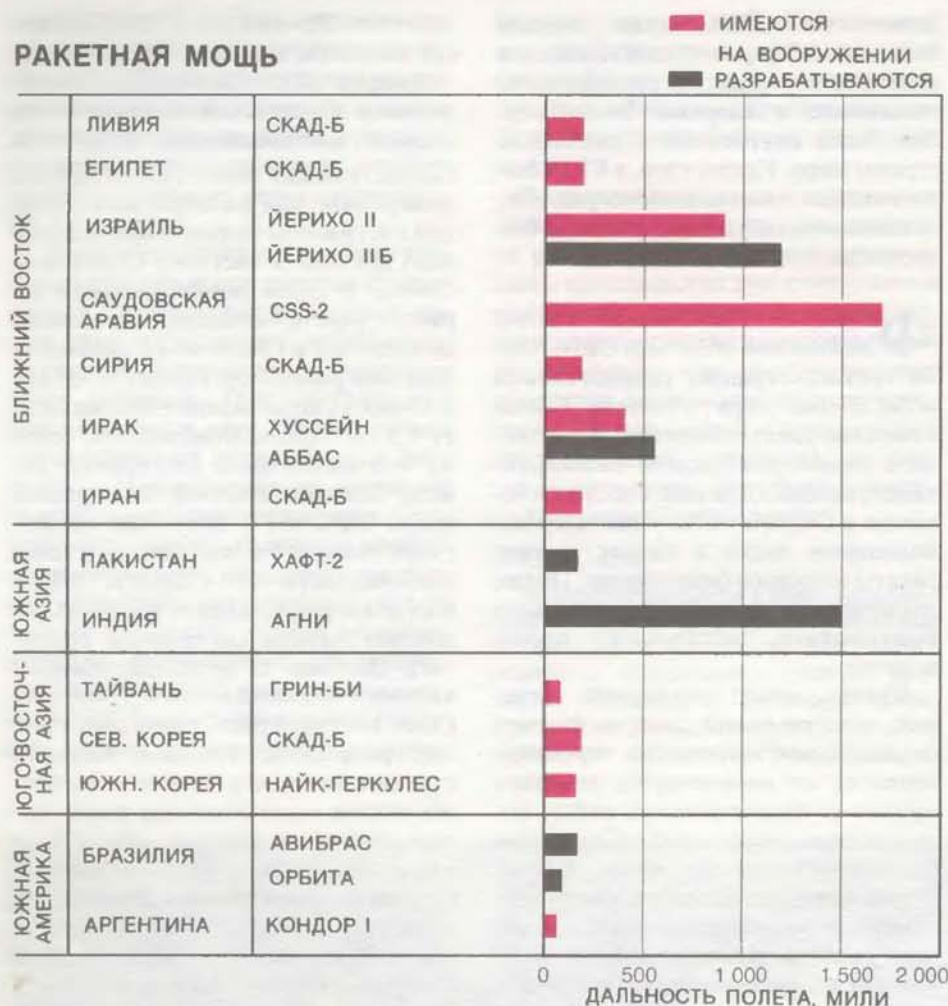
действия 480—640 км и способна нести полезную нагрузку более 500 кг.

В марте 1988 г. Китай достиг соглашения с Саудовской Аравией о поставках необъявленного количества баллистических ракет типа «CSS-2», радиус действия которых достаточен для достижения большей части Ближнего Востока и частично Советского Союза. В своем первоначальном варианте ракета оснащена боеголовкой мощностью в 1 мегатонну, дальность действия ракеты составляет 3 500 км, а точность ее попадания не превышает 1,5 км. Арабы утверждают, однако, что закупленный ими вариант ракеты оснащен обычной боеголовкой весом 2 000 кг, а дальность ее действия равна 2 700 км. Для смягчения озабоченности со стороны США, СССР и стран Ближнего Востока Саудовская Аравия согласилась подписать Договор о нераспространении ядерного оружия от 1970 г. Советский Союз поставил пять типов ракет малой дальности, главным образом странам Ближнего Востока. Наиболее ранние типы советских ракет, поставляемых на экспорт, «Фрог-4» и «Фрог-5» (от англ. Free Rocket Over Ground — неуправляемая ракета типа «воздух — земля»), имели дальность около 50 км; они были поставлены в Северную Корею, Алжир и Египет, начиная с 1957 г. Следующая волна экспорта советских ракет, начавшаяся в 1965 г., была самой масштабной. Именно тогда СССР осуществил поставки ракет типа «Скад-Б». Эта ракета имеет радиус действия 300 км и, судя по сообщениям, обладает точностью попадания примерно около 1 км. Ракета «Скад-Б» была продана в Северную Корею, Египет, Ливию, Сирию, Йемен, Ирак и Иран. Одновременно Советский Союз продал ракеты «Фрог-7» с радиусом 65 км многим из указанных стран, а также Кувейту, а ракеты «СС-21» с дальностью 110 км — в Сирию и Йемен.

Как только ракеты оказываются в руках суверенных стран, они могут быть модифицированы, как это было во время ирано-иракской войны. У каждой из воюющих сторон на вооружении имелись ракеты «Скад-Б», но Багдад (который расположен ближе к границе) находился в радиусе действия этой ракеты, а Тегеран — нет. С помощью специалистов стран Западной Европы, а возможно, и ГДР Ирак облегчил боеголовку и вдвое увеличил радиус действия ракеты, доведя ее до 600 км. Южная Корея смогла осуществить еще более существенную переделку, превратив двухступенчатую американскую ракету «земля — воздух» типа «Найк-Геркулес» в баллистическую ракету



РАКЕТНАЯ МОЩЬ



для применения против наземных целей. Они имеют радиус до 200 км, что достаточно для противодействия северо-корейским ракетам «Скад-Б».

Космические носители также могут быть переоборудованы для использования в военных целях, так как они имеют подходящие для этого двигательные установки и системы наведения. США, Франция и Советский Союз передали такую технологию Индии, Бразилии, Аргентине и Японии. Неудивительно, что из этих четырех стран только Япония не экспортирует баллистические ракеты.

Необходимо рассмотреть механизм, с помощью которого ракетная технология попадает в те руки, для которых она не была предназначена. Сначала покупатель модифицирует ракету и придает им такие характеристики, которые отсутствовали в оригинальной модели. Затем новый владелец производит копии усовершенствованного варианта, после чего создает новую ракету, рассчитывая на ее сбыт, который должен частично компенсировать первоначальные расходы. Появление в «третьем мире» таких экспортеров ракет способствовало созданию потребительского рынка, в котором значительная часть ракетных технологий доступна каж-

дому при условии оплаты наличными. Исследование, проведенное Масачусетским технологическим институтом в 1981 г., выявило 10 твердотопливных ракетных двигателей, имеющихся на открытом рынке. Такие двигатели способны доставить полезный груз в 500 кг на расстояние до 1 000 км. Два таких двигателя, задействованных в различных ступенях, могут значительно увеличить и полезную нагрузку, и дальность полета.

Несмотря на то что усовершенствованные системы управления баллистическими ракетами в настоящее время, очевидно, не экспортируются, они не требуются для вооружений малого радиуса. Это объясняется тем, что у баллистической ракеты точность попадания обратно пропорциональна ее радиусу действия. Относительно грубая система управления способна контролировать ошибку кажущейся скорости (достигнутой к моменту выключения двигателя) с точностью 0,3 м/с. Подобная ошибка привела бы к тому, что боеголовка при дальности полета 8 000 км отклонилась бы от цели более чем на 1,5 км и всего на 150 м при радиусе действия в 800 км.

Как правило, грубая система управ-

ления может быть смонтирована на базе широко доступных навигационных систем для самолетов. Точнее, функция навигационной системы самолета существенно отличается от задач системы управления баллистической ракетой: самолет стабилизируется в двух измерениях, ракета — в трех. При соответствующем техническом содействии эти проблемы можно преодолеть: техническое содействие само по себе в некотором смысле является товаром, и все большее число инженеров и организаций стремятся стать объектом продажи.

В ТЕЧЕНИЕ последних 30 лет эти политические, экономические и технологические факторы привели к появлению целого ряда стран, имеющих на вооружении ракеты, способные нести обычные, ядерные и химические боеголовки (последние называют ядерным вооружением для бедных). Мы предлагаем доклад о сегодняшнем положении, основанный на данных открытой литературы и других несекретных материалов.

Израиль, как известно, обладает наиболее передовой ракетной программой за пределами «Большой четверки», поставив на вооружение свою первую ракету «Йерихо I» в 1973 г. Первоначальный вариант имел достаточный радиус действия для поражения целей в Египте и Сирии, но не в Ираке, Иране, Ливии и Саудовской Аравии. Вероятно, к разработке своей собственной ракеты большой дальности израильтяне приступили в 1975 г. В результате была создана двухступенчатая твердотопливная ракета «Йерихо II», которая успешно прошла испытания в 1987 г. Такая же ракета, оснащенная третьей ступенью, по всей видимости, вывела на орбиту первый израильский спутник в 1988 г. Технический анализ старта позволяет предположить, что «Йерихо II» может доставить полезную нагрузку массой 1 000 кг на расстояние 2 400 км, либо 600 кг на 3 500 км.

Не исключено, что ракеты типа «Йерихо» оснащаются ядерными боеголовками, чего Израиль и не отрицает, и не подтверждает. Обладая радиусом действия 1 500 км, «Йерихо II» способна достичь любой точки на территории Египта, Сирии, Иордании, Ирака, Ирана, государств Персидского залива и даже отдельных районов СССР. По любым меркам «Йерихо II» представляет угрозу и является сдерживающим фактором для противников Израиля, которые еще не обладают ядерным и ракетным потенциалом. Эта страна, возможно, продолжает получать помощь из-за рубежа и есть основания

считать, что по вопросам развития ракетной техники Израиль сотрудничал с Ираном, Тайванем, Южно-Африканской Республикой и Китаем.

Египет, судя по всему, готов к тому, чтобы создать свой собственный арсенал ракет большой дальности; действительно, он был первой страной, не из «Большой четверки», принявшей попытку к созданию собственных ракет. Но программа, намеченная в начале 60-х годов президентом Гамалем Абдель Нассером и проводимая при содействии немецких специалистов по ракетной технике, не увенчалась успехом. Затем Египет в сотрудничестве с Аргентиной и Ираком приступил к производству твердотопливной ракеты с инерциальной системой наведения, имеющей радиус действия от 800 до 1 000 км, но как сообщается отказался от дальнейшего участия в проекте в сентябре 1989 г. Однако Египет начал производство ракет с радиусом 80 км и проводит работы по усовершенствованию ракеты «Скад-Б», возможно, при помощи Северной Кореи. Поставлявшаяся в Египет Советским Союзом ракета «Скад-Б» может достигать территории Ливии, а размещенная на Синайском п-ве — большей части территории Израиля и Иордании. В 1989 г. США предъявили обвинения пяти египтянам, включая двух полковников египетской армии, якобы за попытку приобрести для Египта американскую ракетную технологию.

Ливия ведет переговоры с Бразилией о значительных поставках вооружения, очевидно, включая поставку ракет с радиусом действия до 800 км. В прошлом году она, по-видимому, пыталась приобрести китайские ракеты «CSS-2», но безуспешно. Существуют неподтвержденные данные, что Ливия производит ракету «Фатих» с радиусом действия 500 км.

Ирак среди всех арабских стран проявляет наибольшую настойчивость в обладании стратегическими видами вооружений. Программа этой страны диктуется, вероятно, не только конфликтами с Ираном, Израилем и Сирией, но и явно выраженным стремлением к лидерству на Ближнем Востоке. Разнообразные усилия Ирака в области ракетных разработок в основном сводятся к попыткам модифицировать ракеты «Скад-Б». Ракета типа «Хуссейн» иракского производства более чем вдвое превосходит «Скад» по дальности, имея радиус действия до 600 км: ракета «Аббас», находящаяся пока в стадии разработки, как ожидается, будет иметь радиус действия до 900 км. Среди систем, стоящих на пороге производства, такие ракеты, как «Таммуз» с дальнос-

тью 2 000 км, трехступенчатая «Абид», успешно испытанная в декабре 1989 г., а также тактическая противоракетная система «Фао». Недавно Ирак подписал соглашение с Бразилией о профессиональной подготовке иракских инженеров по ракетной технике. Известно, что секретная служба Ирака пытается овладеть технологией производства ядерного оружия.

Иран в недавней войне с Ираком использовал значительное число ракет малой дальности, причем в большинстве случаев это были ракеты «Скад-Б», приобретенные у Северной Кореи и Китая. Есть данные, что Иран получает помощь от Китая, Израиля и Северной Кореи в создании ракет с радиусом действия 40, 130 и 320 км.

Индия в мае 1989 г. поразила мир, запустив двухступенчатую баллистическую ракету с радиусом действия 2 400 км. Ракета, названная «Агни», создана на основе технических решений, разработанных Францией и Советским Союзом для космической техники. Как ни странно, но еще накануне старта США готовились предоставить Индии дополнительно некоторые разработки в области космической техники, и, не исключено, что сейчас они продолжают делать это.

«Агни» — это результат программы исследований, начатой в 1967 г., в рамках которой последовательно создавались все более совершенные ракеты. Индия финансирует широкомасштабную программу создания двигательной системы и системы управления. Страна способна созда-

вать собственные твердотопливные ракетные двигатели, а сейчас строит несколько ракетных испытательных полигонов. Нет оснований сомневаться в том, что при желании Индия способна создать ракету и большего радиуса действия по сравнению с тем, который имеет «Агни».

Отвергнув международный контроль над проводимыми в стране ядерными программами, Индия продемонстрировала свои способности, проведя открытый ядерный взрыв в 1974 г. Правительство отрицает перевод программы на военные нужды, но испытания «Агни» лишают доверия подобные заявления.

Пакистан утверждает, что в стране испытаны два собственных типа баллистических ракет «Хавт-1» и «Хавт-2», и сообщает, что «Хавт-1» способен нести полезную нагрузку до 550 кг на расстояние 100 км. Судя по сообщениям в прессе, «Хавт-2» доставляет боеголовку массой 500 кг на расстояние 300 км. Если это так, то ракета, безусловно, разрабатывалась с зарубежной помощью, возможно из Китая. В октябре 1989 г. Пакистан объявил о планах создания ракеты с радиусом действия 600 км.

Пакистан отрицает, что он собирается создать запасы ядерного оружия, но в то же время возражает против международного контроля над проводимой им программой по обогащению урана. Кроме того, Пакистан стремится добыть технологию, связанную с производством ядерного оружия путем шпионажа и незаконных закупок. В свое время бывший глава Пакистана Зульфикар Али Бхутто, как сообщают, заявил, что, если потребуется, население будет

РАЗРУШИТЕЛЬНАЯ СИЛА БОЕГОЛОВОК



РЕГИОНЫ
ВОЕННОЙ
НАПРЯЖЕННОСТИ

	СТРАНА	ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ЦЕЛИ	ТИПЫ БОЕГОЛОВОК			
			ФУГАСНЫЕ	КАСЕТНЫЕ	ХИМИЧЕСКИЕ	ЯДЕРНЫЕ
БЛИЖНИЙ ВОСТОК	ЛИВИЯ	ТЕЛЬ-АВИВ, КАИР	☀		☁	
	ЕГИПЕТ	БЕНГАЗИ, ТЕЛЬ-АВИВ	☀		☁	
	ИЗРАИЛЬ	БЕНГАЗИ, КАИР, ДАМАСК, БАГДАД, РИАД, ТЕГЕРАН	☀	☀	☁	☛
	САУДОВСКАЯ АРАВИЯ	ТЕГЕРАН, ТЕЛЬ-АВИВ	☀			
	СИРИЯ	БАГДАД, ТЕЛЬ-АВИВ	☀		☁	
	ИРАК	ТЕГЕРАН, ТЕЛЬ-АВИВ	☀		☁	
	ИРАН	БАГДАД, ТЕЛЬ-АВИВ	☀			
ЮЖНАЯ АЗИЯ	ПАКИСТАН	ДЕЛИ	☀		☁	☛
	ИНДИЯ	КАРАЧИ	☀		☁	☛
ЮГО-ВОСТОЧНАЯ АЗИЯ	КНР	ТАЙБЭЙ	☀		☁	☛
	ТАЙВАНЬ	ПЕКИН	☀		☁	
	СЕВ. КОРЕЯ	СЕУЛ	☀		☁	
	ЮЖН. КОРЕЯ	ПХЕНЬЯН	☀		☁	

«есть траву» ради того, чтобы создать или приобрести противоядерному потенциалу Индии. По оценкам Фонда Карнеги за международный мир, Пакистан либо уже имеет действующие ядерные боеголовки, либо ему осталось сделать самое малое, чтобы заполучить их.

Южно-Африканская Республика объявила, что она испытала собственную систему баллистических ракет в июле 1989 г. Сообщают, что в стране созданы две ракетные базы, одна из которых на острове Марион, другая — в пустыне Калахари. Израиль оказал ЮАР техническое содействие, возможно в обмен на обогащенный уран. Если ЮАР захочет создать ядерное оружие, что, как она утверждает, можно сделать в любой момент, то будет весьма разумно строить ракеты, поскольку стареющий флот бомбардировщиков не способен эффективно доставлять такое оружие. ЮАР также противится международному контролю над своей ядерной программой, несмотря на то что открытых испытаний не проводилось.

Тайвань разработал собственную баллистическую ракету «Грин-Би» (радиус 100 км) в 70-х годах, используя, вероятно, технологию производства ракеты «Лэнс», предоставлен-

ную Израилем. Как сообщают, в стране ведутся разработки ракеты под названием «Скай-Хорз», имеющей радиус 1 000 км, а в сентябре прошлого года были обнародованы планы о запуске спутника на низкую орбиту в 1994 г. Тайвань подписал Договор о нераспространении ядерного оружия, что безусловно весьма приветствуется, учитывая его расширяющуюся ядерную программу.

Северная Корея разработала усовершенствованную модель ракеты «Скад-Б», вероятно, с использованием китайской технологии и производит в настоящее время ее на экспорт. Как следует из сообщений, страна оказывает содействие Египту и Ирану в создании промышленных мощностей по производству ракет типа «Скад-Б».

Аргентина и **Бразилия** разработали ракеты, предназначенные в основном для экспорта. Аргентинская промышленность «выросла» из космической программы, начатой 30 лет назад. В 1980 г. она создала одноступенчатую ракету с радиусом действия 100 км, а в 1982 г. начала разработку двухступенчатой ракеты под названием «Кондор I», предназначенной для доставки боеголовки весом 45 кг на расстояние от 800 до 1 000 км. Для создания ракеты «Кондор II» впер-

вые было оказано техническое содействие со стороны фирм из Западной Европы, а Египет и Ирак оказали финансовую поддержку. Заключение соглашения о режиме контроля за распространением ракетных технологий, однако, способствовало замедлению передачи относящихся к этой области технических решений; предположительная стоимость ракеты в связи с этим увеличилась примерно до 3,2 млрд. долл., и производство всего лишь 400 ракет, таким образом, «обходится в копейку». Оба арабских государства в конце 1989 г. отказались от участия в совместной разработке, а недавно и Аргентина приостановила работы над проектом.

Бразилия в рамках своей космической программы создала четыре поколения хорошо зарекомендовавших себя ракет при техническом содействии европейских стран, Канады и США. В настоящее время две компании Orbita и Avibras трансформируют технологию, заключенную в этих ракетах, для военных нужд.

Китай предоставил Бразилии ракетную технологию, включая, наверное, и системы наведения. Компания Orbita разрабатывает ракету с инерционной системой наведения, способную доставлять груз массой 500 кг на расстояние до 150 км. Ракета фирмы Avibras имеет в два раза большую нагрузку и радиус действия. Ливия и Ирак, как сообщается, проявили заинтересованность в ее закупке. Avibras также разрабатывает ракету с дальностью полета до 1 200 км.

Этот сравнительный перечень национальных стратегических сил можно рассматривать как информацию к размышлению. Приведенные сведения следует расценивать не более как примерный указатель, с помощью которого можно судить о военном и политическом потенциале каждой страны. При рассмотрении этих арсеналов тем не менее важно помнить, что мощь стратегического вооружения нельзя определить в абсолютных показателях. Важно, однако, иметь в виду способность этого оружия нанести удары за пределами линии фронта и угрожать складам, заводам и городам противника. Ракеты, которые сверхдержавы предназначают для поражения целей на поле боя, могут легко разрушать столицы малых государств, таких как Ливан, или государств Персидского залива, как это было продемонстрировано в ходе ирано-иракской войны.

Еще одним уроком этого кровавого конфликта стала обнаружившаяся мощь химического оружия. Против массированных атак иранских войск Ирак использовал смертельно дейст-

вующий иприт, а сейчас, вероятно, приобрел большой набор более современного химического оружия. Ливия увидела в этом пример для подражания, о чем можно судить по получившим широкую огласку попыткам заполучить технологию химического оружия.

Безусловно, сверхдержавы никогда не забывали о химическом оружии. СССР сконструировал «Скад-Б» так, что эта ракета способна нести химическую и ядерную боеголовку наряду с фугасной. Известно, что способностью производить химическое оружие обладают следующие страны: Иран, Ирак, Ливия, Сирия, Китай, Северная и Южная Корея, Тайвань и, возможно, Израиль. Египет, судя по всему, тоже стремится создать потенциал химического оружия. Первые четыре страны проявляют наиболее выраженный интерес к оснащению своих ракет типа «Скад-Б» химическими боеголовками, поскольку все они испытывают угрозу ядерного удара со стороны Израиля. Сирия, как сообщают, уже оснастила свои ракеты химическими зарядами.

НАСКОЛЬКО эффективны будут существующие в «третьем мире» баллистические ракеты в случае войны? Даже без ядерных боеголовок они могут быть весьма разрушительными. Ракета «Скад-Б», выпустив 550 кг газа VX на высоте 1 300 м над взлетным полем аэродрома, может уничтожить половину людей в зоне шириной 800 м и длиной 4 км, соренированной по направлению ветра. Этого достаточно для того, чтобы вывести аэродром из строя, и уж тем более уничтожить город. Такой же по весу заряд обычного взрывчатого вещества может уничтожить здания в радиусе 50 м и убить людей в радиусе более 140 м. Боеголовка массой 2 000 кг, планируемая для установки на саудовских ракетах, более чем удвоит этот радиус. Кассетные бомбы еще больше усиливают этот эффект, будучи способны подорвать большое число резервных боевых складов на большой площади; это будет уже массивный, а не точечный взрыв.

Точность попадания является важным фактором в оценке разрушительной силы. В общем виде она измеряется «круговой вероятной ошибкой» (КВО), геометрически описываемой эллипсом, большая и малая оси которого отражают максимальные отклонения вдоль и поперек траектории полета ракеты. Наиболее примитивные системы наведения, использующие инерциальную систему, заимствованную из навигационной системы самолета, будут иметь деривационную

ошибку в пределах от 0,6 до 1,2 м/с после выгорания топлива. КВО в этом случае составит примерно 330 м на расстоянии 320 км.

В принципе существуют такие технические решения, которые способны обеспечить более точное наведение ракет. 20 лет назад в несекретном докладе приводилось описание инерциальной системы наведения, способной сокращать ошибки деривации до 0,13 м/с; сейчас эта технология наверняка распространилась во многих странах «третьего мира». Если это так, то КВО в таком случае уменьшается до 70 м на расстоянии 800 км и до 40 м на расстоянии 300 км. Этого вполне достаточно для того, чтобы фугасные боеголовки смогли уничтожить большую часть точечных целей, а кассетные или химические смели концентрации войск и города.

Существует также и психологический фактор в оценке боевой эффективности баллистических ракет, поскольку они подрывают силу сопротивления. Тысяча ракет «Фау-2», которые Германия запустила на территорию Великобритании в конце второй мировой войны, в действительности не отличались точностью попадания. Но их 450-килограммовые боеголовки произвели на англичан не меньший ужас, чем более массивные бомбардировки, предпринятые германскими ВВС за несколько лет до этого. Тот же психологический эффект был достигнут и при запуске тысячи ракет в ходе ирано-иракской войны (единственный раз, когда было применено такое оружие). Массивными ракетными ударами по Тегерану Ирак уничтожил лишь часть того количества людей, какое было убито на фронте при отражении иранских наступлений по методу «живой волны», однако считается, что именно ракетные обстрелы сыграли решающую роль в том, чтобы заставить иранское руководство согласиться на переговоры о перемирии в 1988 г.

Учитывая все сказанное, можно сделать вывод, что ракеты действительно дают преимущество в ходе войны. Это не означает, однако, что гонка за ракетами является плодом холодного расчета в соперничестве между государствами. В ней есть и элемент дестабилизирующей иррациональности. Сама попытка приобрести оружие массового поражения может спровоцировать превентивный удар со стороны противника, которого собирались сдерживать. Более того, страна, концентрирующая свои скудные ресурсы на ракетных программах, может лишиться своих войска других видов вооружений, боеприпасов, инженерных сооружений,

боевой подготовки и тем самым снизит боевую готовность.

Вступление новых государств в ракетную эпоху будет иметь политический отзвук еще до того, как их ракетные войска приобретут соответствующее военное значение. Как минимум 18 стран, по-видимому, решили, что неосязаемая ценность обладания ракетами перевешивает их стоимость и опасность. Они являются символами технического прогресса и политического престижа, т. е. выполняют ту же функцию, что и линейные корабли 80 лет назад — неперемное условие статуса великой державы.

Каковы же перспективы контроля сложившейся ситуации, чреватой различными осложнениями. Оптимистом здесь быть трудно. Думается, что, пока ракеты в «третьем мире» будут критерием национального суверенитета, повернуть вспять процесс их распространения окажется делом нелегким.

Великие державы еще какое-то время смогут удерживать часть своего традиционного технического превосходства, если незамедлительно согласятся ограничить утечку современных передовых технологий. Но главное, к чему они должны стремиться, — это научиться воспринимать ситуацию в том виде, как она сложилась.

Политика США в большей степени была сфокусирована на сдерживании распространения рассматриваемого явления, а не на изучении того, как предотвратить наиболее опасные его последствия. Очевидно, что исходные мотивы, лежащие в основе этой политики, в течение последнего десятилетия изменились. В качестве первого шага США должны признать тот факт, что вмешательство в региональные конфликты теперь уже не может быть столь легким. Поэтому впредь США придется прилагать немалые усилия к тому, чтобы достичь консенсуса при улаживании того или иного регионального конфликта и стремиться разрешить его мирным путем. Такой консенсус может привести к созданию механизмов доверия и безопасности, включающих взаимную осведомленность и обмен визитами на оборонные предприятия и космодромы, заблаговременное уведомление об испытаниях ракет. Эти так называемые меры укрепления доверия и безопасности будут служить уменьшению взаимной подозрительности.

Конечно, такие инструменты мирных устремлений являются не более чем признаками политической воли и могут быть нарушены в любое время. Тем не менее они могут способствовать созданию фундамента для более

длительного мира. Примерами могут служить недавнее соглашение между Индией и Пакистаном о ненападении на ядерные объекты друг друга, договор между Аргентиной и Бразилией об обмене визитами на военные объекты и обмене информацией о наличных ядерных потенциалах (которые не находятся под международным контролем), а также неофициальные переговоры о распространении ракетного оружия, которые США провели с различными странами Ближнего Востока.

Более действенный механизм, включающий международную систему гарантий и наблюдений, нельзя навязать насильно, однако к такому механизму может быть проявлен истинный интерес, если он предоставит «членство в престижном клубе». Такой клуб мог бы открыть доступ к

подъемному средству, или «коллективному носителю», для проведения легальных работ в космосе. Он, кроме того, мог бы обеспечить стабильный доступ всех сторон к информации, получаемой с помощью разведывательных спутников.

Реальная оценка ситуации не должна приводить к фатализму. Распространение баллистических ракет нельзя повернуть вспять, но некоторые самые опасные последствия этого явления можно предупредить. Помимо всего прочего США должны согласиться с тем, что их влияние на гонку вооружений, охватившую весь мир, утратило прежнюю силу, и потому они должны проявить мудрость, чтобы сохранить то влияние, которое они еще способны оказывать. Никогда еще ставки в этой игре не были столь высокими.

Наука и общество

Генный доктор

У. Френч Андерсон — пионер генотерапии

ИДЕЯ понять природу наследственных заболеваний на генетическом уровне пришла У. Френчу Андерсону очень рано. Он писал об этом уже в одной из своих студенческих работ в 1953 г. — как раз в тот год Дж. Уотсон и Ф. Крик открыли структуру ДНК. Андерсону было тогда 16 лет. Не прошло и четырех лет, как он стал подумывать о генотерапии, т. е. лечении врожденных генетически обусловленных заболеваний путем дополнения дефектных генов нормальными.

Сейчас Андерсон в своей тесноватой «конторе» Национальных институтов здоровья (НИЗ) в Бетезде (шт. Мадисон), где он возглавляет отдел молекулярной гематологии Национального института сердца, легких и крови, готовится к первой попытке практического применения генотерапевтического подхода. Если сбросить со счета неожиданные помехи, то осенью этого года родители одного или нескольких тяжело больных детей дадут подписку о согласии на новое экспериментальное лечение. Речь идет о детях, страдающих редким смертельным заболеванием — тяжелым комбинированным иммунодефицитом (ТКИД); широкую известность получил случай этого заболевания в Хьюстоне, где больной мальчик

по имени Дейвид провел большую часть своей жизни в пластиковой камере.

Даже во время интервью Андерсон, по сути, не перестает работать. Спокойно и продуманно он рассказывает, какие «исходные данные» и обстоятельства привели к тому, что он стал пионером генотерапии. Андерсон вырос в шт. Оклахома в интеллигентной семье; его мать — журналист, отец — инженер. Родители напрасно старались убедить сына заниматься спортом и быть, как все: почти всю свою юность Андерсон провел за книгами по астрономии, математике, химии и в том числе изучил, что немаловажно, труд под названием «Наследственность и ты».

Будучи студентом Гарвардского университета, он однажды решил, что нет смысла заниматься астрономией, потому что сквозь земную атмосферу много не увидишь. Оставались математика либо медицина. Хотя Андерсон от природы обладал незаурядными математическими способностями, он исключил эту область знаний из планов на будущее, заметив, что истинные математики намного одареннее. И жребий был брошен: Андерсон стал изучать структуру и функции биологических молекул.

Но он не забыл и математику. В первой статье Андерсона, опубликованной в 1956 г., речь шла об арифметических действиях с римскими цифрами и опровергалось расхожее мнение, что в непозиционных системах

алгоритмизовать вычисления невозможно. Эту тему он продолжил применительно к минойским письменам, в связи с чем журнал «Time» объявил его юным гением. Андерсон со смехом вспоминает о состязании по сложению четырехзначных чисел, в котором он легко победил соперника, пользуясь римскими цифрами.

В то же время этот студент старался как можно шире использовать разнообразные возможности научных исследований, имевшиеся в Гарвардском университете, не пренебрегая частными на первый взгляд проблемами. Так, с помощью профессора Дж. Кистяковски (который потом стал советником по науке у президента США Дуайта Д. Эйзенхауэра) Андерсону с коллегами удалось внести поправку в значение энергии изомеризации *цис*-бутена-2.

Прослушав в 1957 г. лекцию П. Доти о биологических молекулах, Андерсон взялся за экспериментальное изучение влияния ультрафиолетового излучения на вещество более общего, чем бутен, значения — ДНК. К этому времени у него выкристаллизовалась идея генотерапии. На следующий год Андерсон приехал поработать к Ф. Крику в Кембридж (Великобритания). Там, в помещении для вивисекции, он встретил свою будущую жену Катрин (которая, по его собственным словам, превосходит его в мастерстве препарирования).

Исследования, которые Андерсон вел с Криком, помогли получить доказательства триплетности генетического кода, что лежит в основе всей молекулярной генетики. Эта работа совпала по времени с одним из первых триумфов молекулярной биологии: Дж. Кендрию установил структуру мышечного белка миоглобина; в его модели положение одного из атомов определил Андерсон.

Проведя два года в Англии, Андерсон научился помимо всего прочего работать в тесноте. Это очень пригодилось ему в НИЗ, где его комнатка без окон битком набита всевозможными бумагами, значительную часть которых составляет документация для различных контролируемых организаций и комитетов. Над дверью висят фотографии двух пациентов (ныне покойных), изучение болезней которых дало фактический материал, послуживший созданию научной репутации Андерсона.

НИЗ предоставляют Андерсону базу для исследований начиная с 1965 г. после того как он получил степень доктора медицины в Гарвардском университете. И хотя в НИЗ зарплата «препаршивая», Андерсон не намерен расставаться с этим учреждением. По

его словам, если интересуешься в первую очередь исследовательской работой, то в мире лучше места не найти, потому что НИЗ принимают все без исключения исследовательские проекты. Кроме как в НИЗ, Андерсон более нигде не занимается ни преподавательской, ни врачебной деятельностью.

В НИЗ Андерсон работал вначале с М. Ниренбергом, разгадавшим триплетный генетический код. Собственная звезда Андерсона взошла на научном небосклоне в 1970 г., когда он показал, как могут использоваться универсальные факторы трансляции при синтезе гемоглобина по матричной РНК. Статья об этом, как сказал Андерсон, сделала ему имя и открыла все двери. Через год он применил разработанную в том исследовании методику для воспроизведения молекулярных дефектов, обуславливающих врожденные заболевания крови — серповидноклеточную анемию и талассемию.

Однако около 1980 г. Андерсон утратил уверенность в своих исследованиях болезней крови: стало ясно, что коррекция серповидноклеточной анемии и талассемии с помощью гена гемоглобина в обозримом будущем вряд ли станет практическим методом лечения. Чтобы не впасть в депрессию, Андерсон на несколько лет оставил научно-исследовательскую работу и занялся врачебной практикой в спорте. Сам обладатель черного пояса четвертой степени, он стал врачом сборной команды США по таз-квон-до и в этом качестве участвовал в Олимпийских играх 1988 года в Сеуле.

Лишь в 1984 г. Андерсон вернулся к мечтам о генотерапии. Он пришел к выводу, что этот метод годится для лечения заболеваний, при которых для коррекции недостаточности нужно лишь небольшое количество соответствующего гена. Наиболее подходящим заболеванием представлялся тяжелый комбинированный иммунодефицит. В ряде случаев ТКИД обусловлен врожденным дефектом гена, необходимого для синтеза фермента аденозиндезаминазы, в результате чего иммунная система оказывается неполноценной и организм беззащитен перед любой инфекцией.

Немалую долю времени поглотили хлопоты по получению официального одобрения задуманных клинических экспериментов. Первый из них, включавший введение гена в организм человека, был разрешен в 1989 г.; Андерсон осуществил его в сотрудничестве с М. Блэзом и С. Розенбергом из Национального института рака. При этом чужеродные гены использо-

вались для того, чтобы проследить цитотоксические клетки, действующие на опухолевую ткань, у больных раком. Предполагаемое лечение ТКИД будет первым экспериментом, из которого пациенты извлекут прямую пользу.

Порой, когда представители комитетов, контролирующих исследования, уж очень выказывают недоверие, Андерсон утрачивает свою терпеливую манеру и сбивается на неразборчивую скороговорку. Однако он заявляет, что вовсе не против тяжелого груза контроля, который у него поболее, чем у других исследователей. «Вокруг меня много лет были люди, уверявшие, что я не прав, — говорит он. — И теперь хорошо уже то, что мою работу принимают всерьез».

Тем не менее Андерсон терпеть не может, когда органы, должны обеспечивать соблюдение этических норм, берутся задним числом судить о научной стороне дела. Особенно беспокоят те, кто желает «красивых» данных ради уверенности в совершенной безопасности протокола готовящихся клинических испытаний. Однако ждать получения таких данных — значит надолго откладывать генотерапию, а ведь больные тем временем страдают. Андерсон считает, что в той мере, в какой установлена безопасность и вероятность успеха, новый метод должен применяться.

Разрешение протокола лечения ТКИД методом генотерапии осложнилось тем, что недавно был одобрен другой новый метод лечения этого заболевания, состоящий в том, что в организм вводят недостающую аденозиндезаминазу, связанную с полиэтиленгликолем (ПЭГ-АДА). Доказано, что препарат ПЭГ-АДА помогает некоторым больным, и на сегодняшний день такой метод проще, чем генотерапия. Андерсон и его коллеги обошли возникшую этическую проблему, предлагая применить генотерапию к тем больным, которые уже лечились ПЭГ-АДА. И только если генетический метод принесет этим больным дополнительное улучшение, исследователи будут просить разрешение на проведение генотерапии самой по себе, без применения ПЭГ-АДА.

Окончательное одобрение протокола генотерапии, разработанного Андерсоном, Блэзом и К. Кулвером, должно было быть дано консультативным комитетом НИЗ по рекомбинативному ДНК 30 июля нынешнего года; тогда первый эксперимент по лечению ТКИД мог бы начаться осенью. Конечно, риск есть. Во-первых, предлагаемая процедура, в принципе, может вызывать рак. Во-вторых, коррекция может оказаться

неэффективной и иммунная система останется бессильной. Но результаты многих экспериментов, а их накапливается все больше и больше, в конце концов убедили наблюдательный комитет НИЗ, что вводимые в организм клетки выживают и функционируют, хотя бы на время.

Если разрешение будет дано, в клиническом центре НИЗ произойдет следующее. У больного ТКИД возьмут из крови лейкоциты, вырастят их в культуре и заразят ретровирусом, геном которого целенаправленно модифицирован так, что он, с одной стороны, несет недостающий пациенту нормальный ген, а с другой — не может неограниченно размножаться; заражая клетки, такой вирус тем самым передает им нужный ген. Затем проверят, приобрели ли клетки способность производить необходимый больному фермент и не содержат ли они инфекционных вирусных частиц. Тогда их введут обратно пациенту.

Успех этого плана означал бы, что путем генотерапии можно спасти жизнь детям, для которых невозможно основной способ лечения иммунодефицитов — пересадка костного мозга. Успех генотерапии ТКИД также подтвердит принципиальную возможность подобного лечения других болезней. Достигнув этого, Андерсон уже наверняка не бросит начатое дело. Сейчас он педантично составляет свое расписание, и, судя по закрашенным клеточкам, 90-часовая рабочая неделя для него вполне обычна.

Андерсон и его жена, которая в настоящее время является вице-председателем по вопросам хирургии в Национальном детском клиническом медицинском центре в Вашингтоне, давно решили не иметь детей, предпочтя посвятить себя целиком карьере. Зато за последние 25 лет эта супружеская пара стала как бы крестными, чуть ли не приемными родителями для 9 человек, которые, как говорит Андерсон, «нашли друг друга и нас». Фотографии этих детей, а также учеников Андерсона украшают его миниатюрный кабинет.

Итак, интервью окончено. Суббота, время перевалило за полдень. Андерсон провожает меня к выходу и, взглянув на солнце, возвращается в «контору», куда он пришел в восемь утра. Субботний вечер он намерен, как это заведено, провести с Катрин где-нибудь вне дома. А завтра он опять будет здесь, на «службе». На вопрос, не чувствует ли он иногда, что не мешало бы и отдохнуть, Андерсон отвечает: «Для меня это развлечение».

Тим Бердсли

Новые сверхпроводящие керамики

Соединения на основе оксидов иттрия, бария и меди в соотношении 1:2:3 представляют собой только один из многих видов высокотемпературных сверхпроводящих материалов. Все они имеют в кристаллической структуре плоскости из атомов меди и кислорода, обеспечивающие беспрепятственное движение электронов

РОБЕРТ ДЖ. КАВА

БОЛЕЕ 10 лет назад Б. Раво вместе со своими сотрудниками в Университете Каена во Франции начали эксперименты по получению ряда соединений из лантана, бария, меди и кислорода. Если бы некоторые из этих керамических материалов исследователи охладили до температуры 40 К, они могли бы обнаружить, что синтезированные ими керамики полностью утрачивают электрическое сопротивление. Однако лишь немногие физики, химики или специалисты по материаловедению имели основания предполагать, что эти материалы обладают свойством сверхпроводимости, и еще меньше ученых утверждали, что сверхпроводники со столь высокой критической температурой сверхпроводящего перехода будут когда-либо созданы. В течение нескольких лет интерес к этим керамикам падал. Затем в 1986 г. физики К. Мюллер и Дж. Беднорц из Исследовательской лаборатории фирмы IBM в Цюрихе пришли к выводу, что эти керамические материалы являются ключом к созданию нового класса высокотемпературных сверхпроводников, которые способны активизировать дальнейшие теоретические и прикладные исследования в области сверхпроводимости. Открытие этих ученых положило начало поразительным революционным изменениям в области физики твердого тела.

Вдохновленные возможностью создать непревзойденный высокотемпературный сверхпроводник, в 1987 г. почти каждый, у кого имелся набор всех подходящих элементов из периодической системы и плавильная печь, незамедлительно приступал к созданию необычных соединений на основе меди и кислорода. Природа, однако, распорядилась так, что не любой ок-

сид меди можно синтезировать. Несмотря на то что химия твердого тела дает некоторые правила, которыми следует руководствоваться при выборе элементов для создания новых материалов, они настолько сложны по своему составу, что никакая теория пока не в состоянии с большой достоверностью предсказать заранее их структуру или поведение. Вся хитрость состоит в том, чтобы, используя химию, интуицию и удачу, найти правильную комбинацию элементов для достижения наиболее высокой критической температуры.

В феврале 1987 г. Мо-Куэнь У из Университета шт. Алабама, Чинь-У Чу из Университета в Хьюстоне и их сотрудники при создании сверхпроводника с критической температурой 90 К заменили в соединении Беднорца — Мюллера лантан на итрий — редкоземельный элемент с меньшим атомным номером. Вскоре мои коллеги Б. ван Дувер, Б. Батлог и я первыми определили, что этот сверхпроводник представляет собой химическое соединение, известное теперь как соединение 1-2-3 (последовательность цифр отражает количественное соотношение в нем атомов иттрия, бария и меди соответственно). Материал 1-2-3 был первым сверхпроводником с критической температурой выше 77 К, поэтому его можно легко и без больших затрат охлаждать жидким азотом. Лучшие из обычных металлических сверхпроводников, такие, как сплавы ниобия и олова, нуждались в охлаждении более дорогостоящим жидким гелием, так же как первый высокотемпературный сверхпроводник, открытый Беднорцем и Мюллером (см. статью: А. Вольски, Р. Гиз, Э. Даниельс. Новые сверхпроводники: перспективы применения, «В мире науки», 1989, № 4).

Усилиями тысяч исследователей во всем мире за последние 4 года получено более 10 сверхпроводящих материалов с критической температурой выше 40 К и несколько материалов, обладающих сверхпроводимостью при температурах выше 77 К. Почти все высокотемпературные сверхпроводники были открыты специалистами, которые имели в виду некую цель, но по счастливой случайности получили совсем другое, т. е. природа их как бы перехитрила (или, скорее, помогла им). Наибольшая критическая температура, которую пока удалось достичь в новых сверхпроводниках, поразительно высока и составляет 125 К; ею обладает соединение из



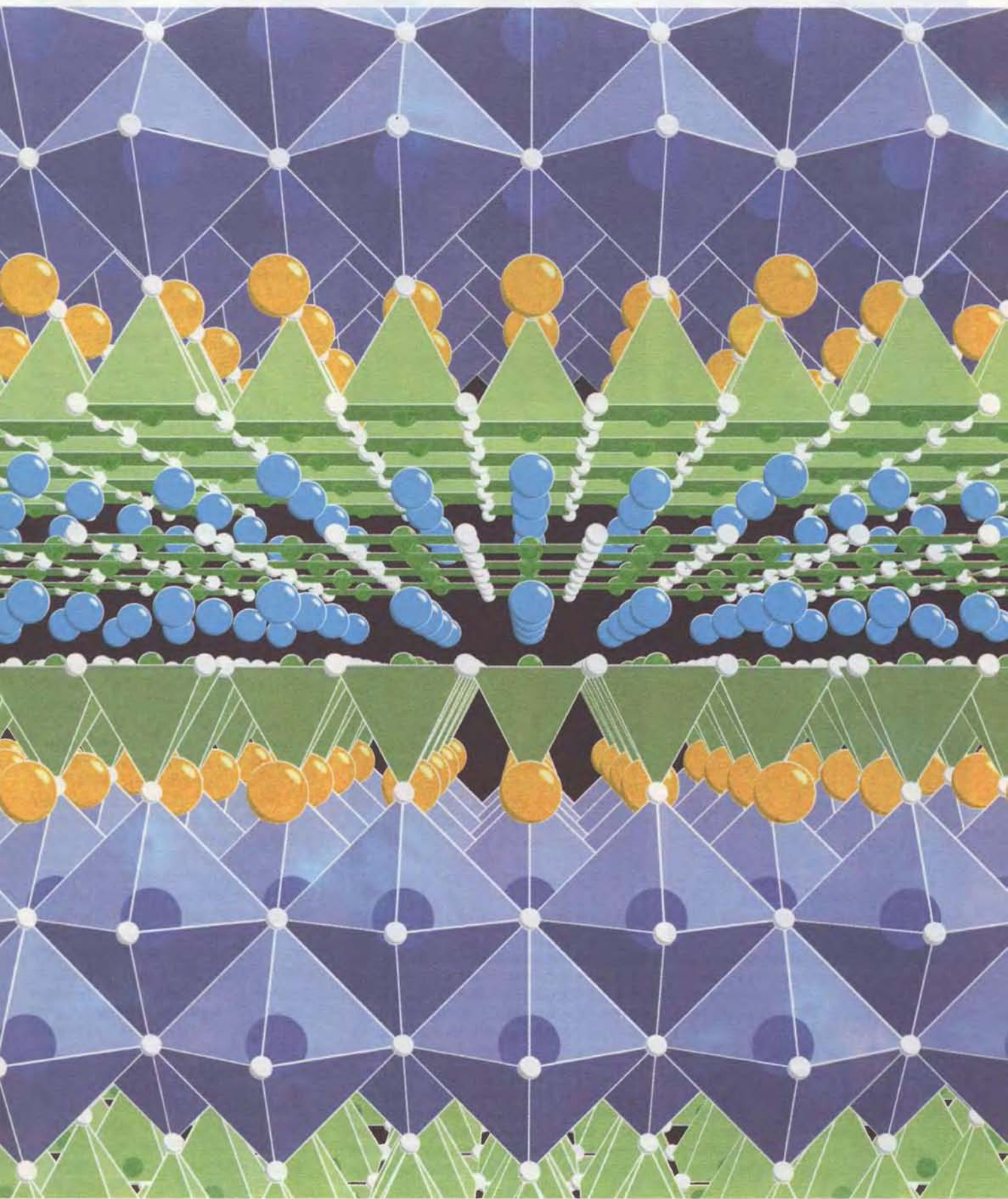
СВЕРХПРОВОДНИКОВОЕ соединение из таллия, бария, кальция, меди и кислорода ($Tl_2Ba_2Ca_2Cu_3O_{10}$) обладает самой высокой критической температурой по сравнению с другими известными до сих пор сверхпроводниками. При охлаждении до 125 К оно полностью утрачивает электрическое сопротивление. Подобно другим керамическим сверхпроводникам, в кристаллической структуре этого соединения есть плоскости, образованные атомами меди и кислорода и обеспечивающие беспрепятственное движение электронов в материале.

таллия, бария, кальция, меди и кислорода.

Хотя ученые не знают, какие существуют пределы в сверхпроводимости, и даже не понимают, какие

фундаментальные взаимодействия вызывают ее в керамических материалах, мы можем установить те структурные особенности молекул, которые способствуют возникновению

сверхпроводимости или, наоборот, препятствуют ее появлению. Наиболее важная особенность заключается в том, что кристаллические решетки всех высокотемпературных сверхпро-





ЭЛЕКТРОННЫМ «СЕРДЦЕМ» почти всех высокотемпературных сверхпроводников является химическая связь между атомами меди и кислорода. Атом меди может соединяться с атомами кислорода четырьмя способами, кото-

рые удобно представить в виде координационного многогранника — геометрической фигуры, образованной атомом меди и ближайшими к нему атомами кислорода, с которыми он непосредственно связан.

водников имеют плоскости из атомов меди и кислорода, чередующиеся со слоями из других элементов. Когда высокотемпературный сверхпроводник охлаждается до температуры ниже критической, плоскости из атомов меди и кислорода создают возможность для беспрепятственного движения электронов. Другие элементы в такой кристаллической решетке можно подобрать и расположить таким образом, чтобы поднять или понизить критическую температуру, при которой появляется сверхпроводимость.

МАТЕРИАЛЫ, открытые недавно Беднорцем, Мюллером и другими исследователями, ведут себя во многом подобно обычным металлическим сверхпроводникам. Когда к одному из этих материалов прикладывается напряжение при комнатной температуре, электроны начинают двигаться через него. Поскольку электроны рассеиваются на атомах, входящих в состав соединения, они теряют энергию — это процесс, создающий электрическое сопротивление. По мере охлаждения материала до низких температур сопротивление и потери энергии снижаются. Как только температура становится ниже критической, сопротивление тут же падает до нуля. Электроны претерпевают фазовый переход и уже могут не рассеиваться атомами.

Соединения Беднорца — Мюллера относятся к сравнительно небольшому числу керамик, которые являются хорошими проводниками. (Несмотря на то, что керамика, из которой, например, сделаны тарелки и раковины в наших домах, известны своими изоляционными свойствами.) Металлы, такие, как лантан, барий и медь, ак-

тивно реагируют с кислородом и образуют соответствующие оксиды: оксид лантана, оксид бария и оксид меди. Все эти вещества — диэлектрики, т. е. они плохо проводят электрический ток при комнатных температурах. Когда Беднорц и Мюллер соединили лантан, барий, медь и кислород в определенных соотношениях, они создали керамический материал, который хорошо проводит электрический ток при комнатной температуре и обладает свойством сверхпроводимости при 28 К.

Проявляет ли керамический материал свойства диэлектрика или проводника, зависит от того, как электроны, носители отрицательного заряда, ведут себя в соединении. Оксид бария (BaO), например является диэлектриком, потому что его электроны локализованы вблизи ядер атомов бария и кислорода. Ядро атома бария имеет положительный заряд, равный 56, поэтому в нейтральном атомном состоянии оно окружено 56 отрицательно заряженными электронами. Положительный заряд ядра кислорода равен 8, и поэтому оно окружено 8 электронами. Чтобы образовать химическое соединение, такое, как оксид бария, электроны перераспределяются между атомами бария и кислорода так, что система имеет минимальное возможное энергетическое состояние.

Электроны распределены вокруг атомов по орбиталам, которые можно представить в виде концентрических оболочек, содержащих определенное число электронов. Электроны на внутренних оболочках жестко связаны с ядром. На внешних оболочках электроны менее связаны, поэтому они играют большую роль в химических и электрических процессах.

Кислород — это связующий эле-

мент, который не позволяет керамическим материалам распадаться. Атом кислорода имеет шесть электронов на внешней оболочке, на которой может размещаться до восьми электронов. Поскольку полностью заполненная внешняя оболочка представляет намного более устойчивую конфигурацию, чем заполненная частично оболочка, атом кислорода может достигать состояний со значительно более низкой энергией, если он присоединит еще два электрона. Следовательно, атом кислорода стремится иметь отрицательный заряд, равный 2, т. е. его валентность равна -2 . Атом бария имеет на внешней оболочке два электрона, но он может достигать состояний с более низкой энергией, если утратит два электрона. Валентность бария равна $+2$. Чтобы получить электронную конфигурацию с самой низкой энергией в оксиде бария, каждый атом бария должен отдать два электрона каждому атому кислорода. Чтобы затем добавить или убрать один электрон с полностью заполненной орбитали, необходима большая энергия, поэтому электроны становятся сильно локализованными и уже не способны быть носителями электрического тока.

Этот обмен электронами создает также основу для связи, которая и обеспечивает устойчивость керамического соединения. Положительно заряженные атомы бария (с валентностью $+2$) притягивают отрицательно заряженные атомы кислорода (с валентностью -2). Такой тип связи называется ионной.

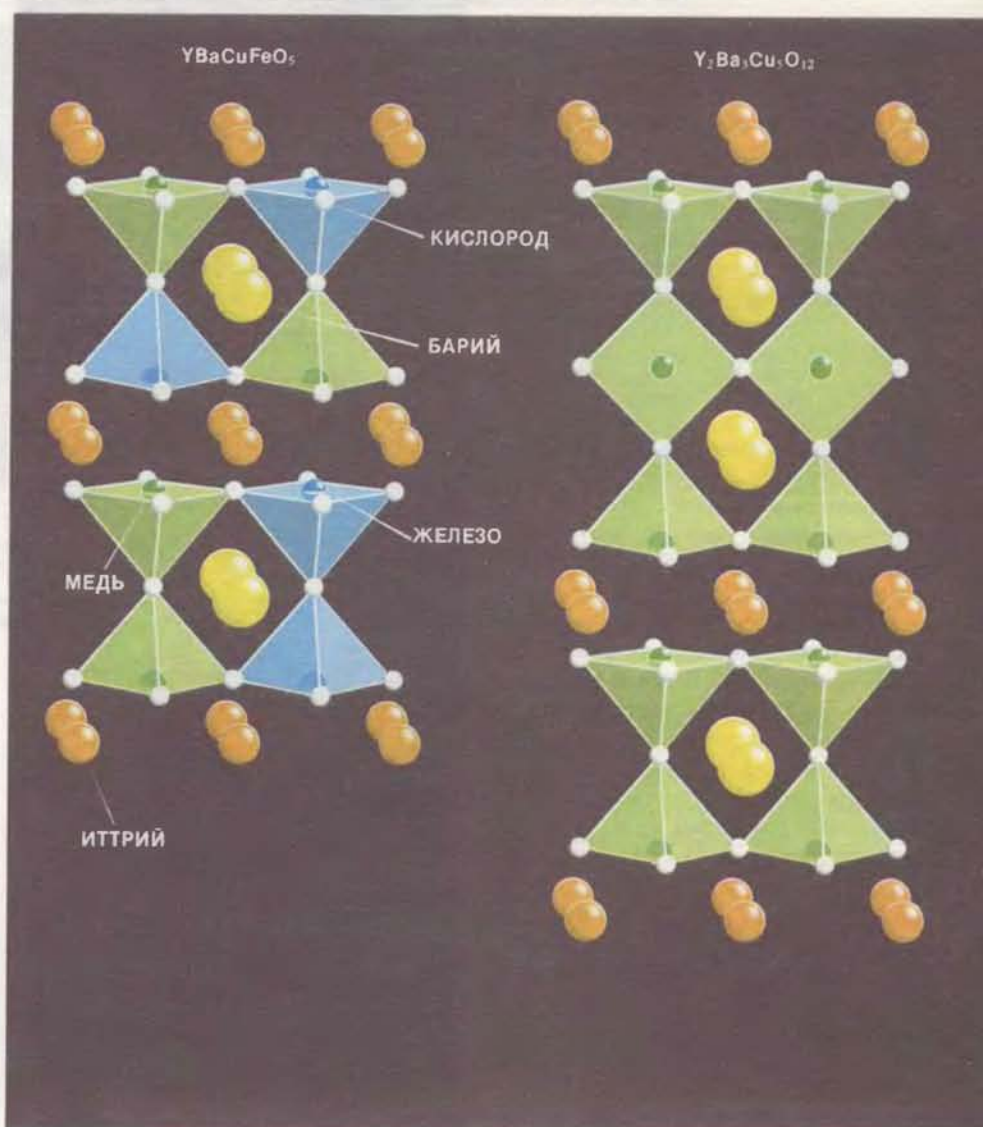
Фактически во всех керамиках электроны на внешних оболочках атомов металла находятся в состояниях со значительно более высокой энергией, чем электроны на внешних оболочках

+1 (например, в Cu_2O) называют восстановленной медью, а состояние с валентностью +3 (например, в оксиде натрия и меди NaCuO_2) — окисленной медью.

В керамических сверхпроводниках медь, по-видимому, ведет себя так, как будто она имеет промежуточную валентность, которая зависит от влияния кислорода и других атомов в сверхпроводнике. Когда валентность меди равна +2, электроны локализуются в связи медь — кислород. В отдельных случаях, когда в соединении присутствуют дополнительные атомы-окислители, например лантан или барий, некоторые атомы меди могут потерять более двух электронов и их валентность повышается до +3. В других случаях восстановленные атомы могут передавать некоторым атомам меди дополнительные электроны, и тогда их валентность снижается от +2 до +1. В обоих случаях электроны уже не локализуются и могут участвовать в создании электропроводности.

Хотя валентность такого типа считается весьма существенным фактором в понимании поведения сверхпроводящих керамик, ее описание несколько упрощено. В сверхпроводящих керамиках атомы меди и кислорода обобществляют электроны, чтобы достичь условия минимума энергии. Обобществленные электроны перемещаются от атомов меди к атомам кислорода, образуя «море» электронов, или, говоря более строго, они создают зону проводимости. Если атомы меди восстанавливаются и их валентность снижается до уровня ниже +2, т. е. если они в среднем отдают менее двух электронов, то лишь небольшое число электронов движется вблизи зоны проводимости. Если же атомы меди окисляются и их валентность становится больше +2, т. е. они отдают в среднем более двух электронов, то зона проводимости насыщается электронами, оставляя области положительного заряда, называемые «дырками». Представление о промежуточной валентности имеет смысл только потому, что электроны действительно покидают зону проводимости или, наоборот, переходят в нее.

Медь — не единственный металл, который может иметь промежуточную валентность в присутствии кислорода. У висмута и свинца имеются такие электронные орбитали, которые так же, как и у меди, «предъявляют» энергетические требования, свойственные кислороду. При благоприятных условиях оба этих металла образуют ковалентные связи с кислородом, и электроны будут иметь воз-

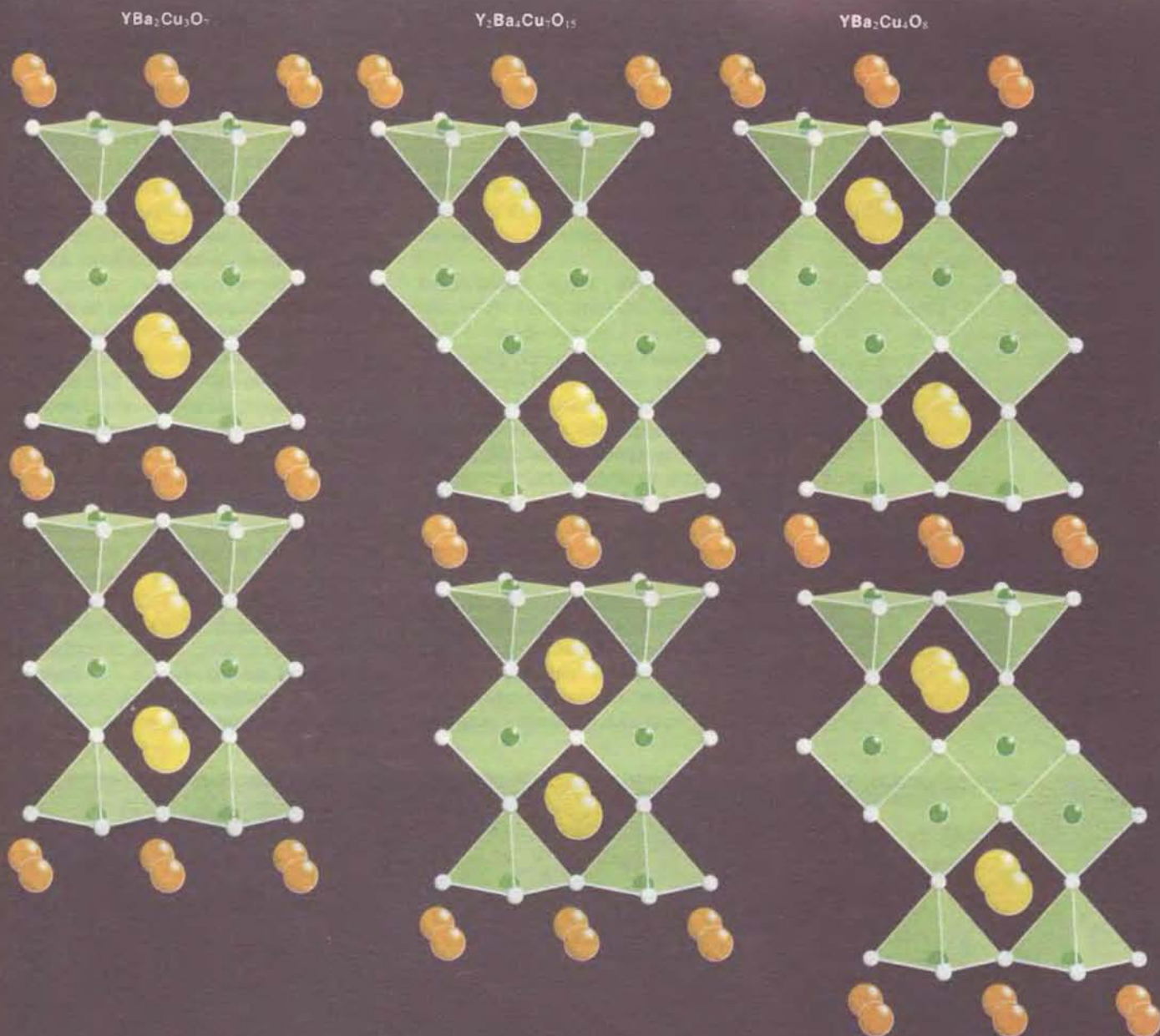


СОЕДИНЕНИЕ 1-2-3 ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$) — это только один член той последовательности, которую в химии принято называть гомологическим рядом. Каждое соединение этого ряда можно получить из другого путем либо добавления, либо удаления простых структурных составляющих. Три члена ряда: $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, $\text{Y}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_7\text{O}_{15}$ и $\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$ — это сверхпроводники с критической температурой выше 77 К. О существовании соединений YBaCu_2O_5 (не показано) и $\text{Y}_2\text{Ba}_3\text{Cu}_5\text{O}_{12}$ пока ничего не известно. Структурные особенности YBaCu_2O_5 , как предполагают ученые, такие же, как у YBaCuFeO_5 , не являющегося сверхпроводником.

можность свободно перемещаться в зоне проводимости. Сверхпроводящие свойства при относительно высокой температуре были открыты как у оксидов свинца, так и у оксидов висмута. Объясняется ли сверхпроводимость этих соединений теми же причинами, что и у оксидов меди, пока не ясно, и ученые пытаются найти ответ на этот вопрос.

СЕМЕЙСТВО сверхпроводников, открытых Беднорцем и Мюллером, основано на химической модификации соединения оксида меди и лантана (La_2CuO_4), кристаллическая структура которого показана на рисунке на с. 19. Структуры керамических сверхпроводников обычно описы-

ваются с помощью координационных многогранников (полиэдров), одного из основных понятий химии твердого тела. Координационный многогранник представляет собой геометрическую фигуру, которая образуется атомом металла и ближайшими к нему атомами кислорода, непосредственно с ним связанными. Такой многогранник определяет число атомов кислорода, которое ион стремится иметь в своем ближайшем окружении. Число предпочтительных соседних атомов кислорода может быть разным, например от двух для меди (с валентностью +1) до 15 для цезия (с валентностью +1). Фактическое число атомов кислорода, с которыми ион координирован, зависит как от размера



иона, так и от особых свойств других атомов металла в данном оксиде.

В соединении La_2CuO_4 атомы меди координируются с шестью атомами кислорода, расположенными в вершинах вытянутого восьмигранника. Вследствие энергетических свойств внешней оболочки атома меди в состоянии с валентностью +2 атомы кислорода, находящиеся в двух противоположных вершинах восьмигранника, всегда будут дальше от атома меди по сравнению с атомами кислорода в четырех других вершинах. Именно такая структурная деформация, известная как эффект Яна — Теллера, была первым фактором, который заставил Беднорца и Мюллера обратиться к оксидам меди как возможным сверхпроводникам.

Явление, о котором идет речь, позволяет предположить, что взаимодействие электронов сильно зависит от расположения атомов меди и кислорода в кристаллической решетке. Характер этого взаимодействия играет исключительно важную роль при переходе к состоянию сверхпроводимости.

В соединении La_2CuO_4 восьмигранники, образованные атомами меди и кислорода, соединены друг с другом атомами кислорода в четырех вершинах, ближайших к атомам меди. Атомы меди и ближайшие к ним атомы кислорода лежат в одной плоскости. Эта плоскость из атомов меди и кислорода является электронным «сердцем» всех известных сверхпроводников на основе оксидов меди. Она представляет собой микроскопическую

область в кристаллической структуре, из которой поступают обуславливающие сверхпроводимость носители заряда.

Кристаллическая структура соединения La_2CuO_4 примечательна тем, что координационные полиэдры лантана и меди соединяются таким образом, что образующиеся плоскости из атомов меди и кислорода заполняют промежуток между двумя химически неактивными слоями из атомов лантана и меди.

Сам по себе оксид, содержащий лантан и медь, не является сверхпроводником из-за сильного взаимодействия электронов на внешних оболочках соседних атомов меди. Каждый атом меди отдает два электрона атому кислорода и удерживает девять электронов на внешней оболочке.

Каждый из этих девяти электронов имеет магнитный момент, т. е. электроны ведут себя так, как будто они являются миниатюрными магнитами, имеющими северный и южный полюса. Энергия, обусловленная магнитным взаимодействием, минимизируется, когда восемь из этих девяти электронов становятся попарно связанными: их магнитные моменты (полюса магнитов) исчезают, когда они ориентированы в противоположных направлениях. Если оставшиеся неспаренные электроны расположенных рядом атомов меди взаимодействуют друг с другом, их магнитные моменты направлены навстречу друг другу. Такой вид упорядочения, называемый антиферромагнетизмом, «пришпиливает» электроны к кристаллической структуре, исключая возможность перехода в состояние сверхпроводимости и даже обычной проводимости.

Сверхпроводимость наступает только в том случае, если антиферромагнетизм полностью нарушается. По этой причине многие исследователи считают, что магнетизм и высокотемпературная сверхпроводимость тесно связаны друг с другом. Некоторые ученые

сомневаются в наличии такой связи.

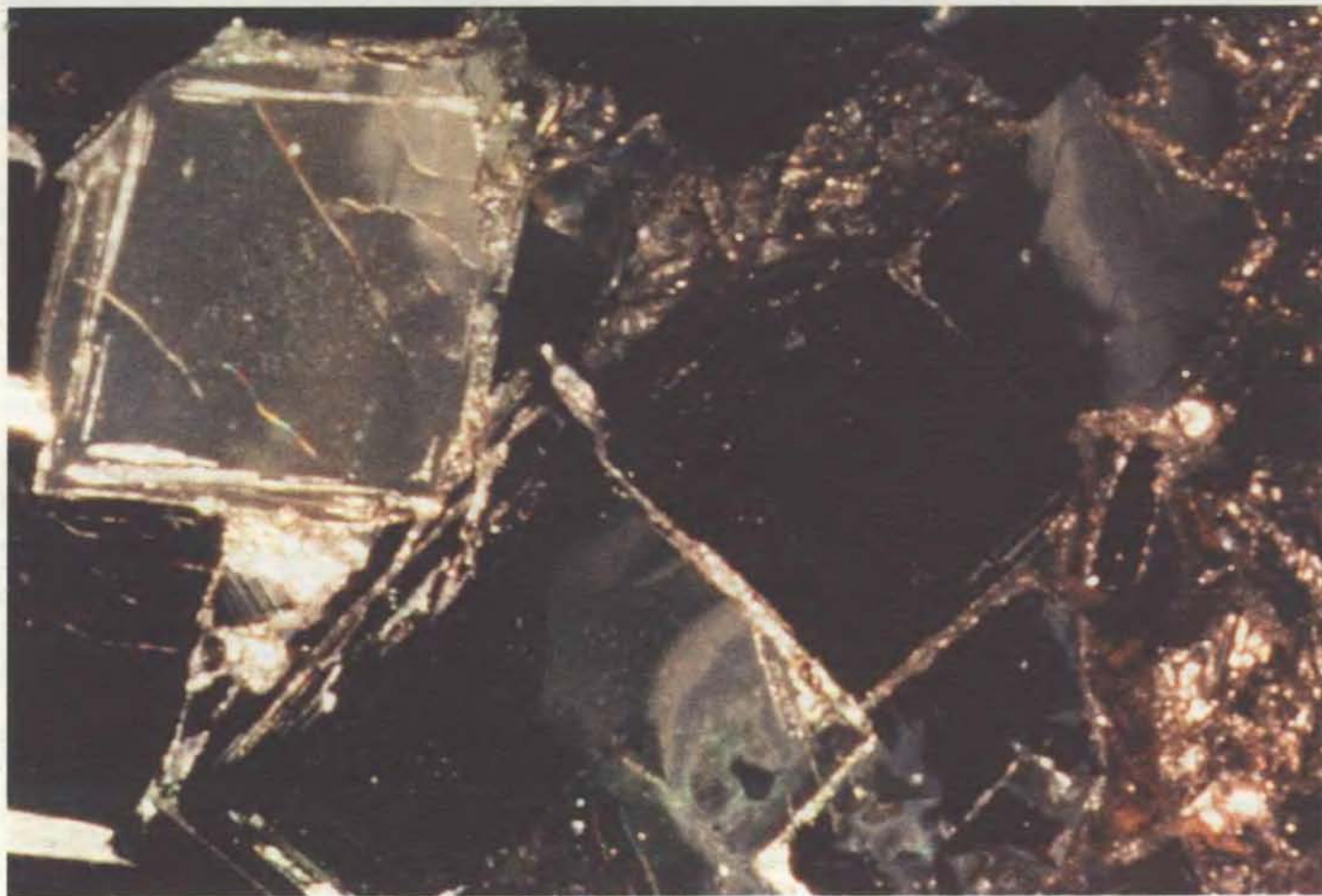
Однако кристаллическую структуру La_2CuO_4 можно модифицировать, чтобы устранить антиферромагнетизм и придать соединению свойство сверхпроводимости. Беднорц и Мюллер создали ставший широко известным сверхпроводник путем замены некоторых атомов лантана атомами бария. Химическая формула полученного ими соединения такова: $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$.

Нейтральность этого соединения поддерживается, если один атом меди окисляется от состояния от +2 до +3 на каждый атом бария, замещаемый атомом лантана. Избыточный электрон, отданный медью, не локализуется, а переходит в зону проводимости. Когда атомы меди достигают критической валентности, близкой к +2,2, антиферромагнетизм исчезает и возникает сверхпроводимость.

В соединении $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$ атом меди координирован с шестью атомами кислорода, образующими вершины вытянутого восьмигранника. Поскольку координационное число растет с увеличением размера атома, атомы лантана, которые больше атомов меди, координированы с девятью

атомами кислорода. Атомы бария, размер которых близок к размеру атомов лантана, тоже координированы с девятью атомами кислорода. Поэтому в кристаллической решетке атомы бария могут занимать те же места, что и атомы лантана, и расположены хаотично. Такое распределение атомов в фиксированных положениях кристаллической решетки называют твердым раствором. (Для сравнения: жидкий раствор состоит из хаотически распределенных ионов, находящихся в случайных положениях.)

Понятие твердого раствора является ключевым в объяснении сверхпроводимости оксидов меди. Как правило, твердые растворы образуются, если размеры ионов примерно равны и типы образующихся химических связей одинаковы. Так, барий, стронций или кальций могут образовывать твердые растворы в соединении La_2CuO_4 путем замены некоторых атомов лантана. Когда стронций замещает один из девяти атомов лантана в кристалле La_2CuO_4 , образуется соединение $\text{La}_{1,8}\text{Sr}_{0,2}\text{CuO}_4$, в котором медь имеет валентность +2,2. Температура сверхпроводящего перехода для этого соединения равна 40 К —



ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СВЕРХПРОВОДНИКИ, как и этот, состоящий из свинца, стронция, диспрозия, кальция, меди и кислорода ($\text{Pb}_2\text{Sr}_2\text{Dy}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Cu}_3\text{O}_8$), обычно образу-

ют кристаллы прямоугольной формы. Здесь показаны кристаллы толщиной около 100 мкм.

СОСТАВЫ ОСНОВНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ
ОКСИДОВ МЕДИ И ИХ МОДИФИКАЦИИ

ИСХОДНАЯ СТРУКТУРА	ВОЗМОЖНЫЕ ЗАМЕЩЕНИЯ	ДИАПАЗОН КРИТИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУР, К	ПРИМЕЧАНИЯ
$La_{2-x}Ba_xCuO_4$	Ca или Sr	20–40	КЕРАМИКА, СОСТОЯЩАЯ ИЗ La, Ba, Cu и O, БЫЛА ПЕРВЫМ ИЗ ОТКРЫТЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ОКСИДОВ МЕДИ
$Nd_{2-x}Ce_xCuO_{4-y}F_y$	Pr, Sm или Eu Th	10–25	ЭТО СЕМЕЙСТВО ВКЛЮЧАЕТ ТОЛЬКО КЕРАМИЧЕСКИЕ СВЕРХПРОВОДНИКИ n-ТИПА
$La_{1.8-x}Sm_xSr_{0.2}CuO_4$	Eu, Gd, Tb или Dy	20	
$YBa_2Cu_3O_7$	La, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Tm, Yb или Lu Cu_4O_8 или Cu_7O_{15}	80–93	$YBa_2Cu_3O_7$ БЫЛ ПЕРВЫМ ИЗ ОТКРЫТЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ, ИМЕЮЩИХ КРИТИЧЕСКУЮ ТЕМПЕРАТУРУ ВЫШЕ 77 К
$Bi_2Sr_2CuO_6$	$CaCu_2O_8$ или $Ca_2Cu_3O_{10}$	0–110	
$Tl_2Ba_2CuO_6$	$CaCu_2O_8$ или $Ca_2Cu_3O_{10}$	80–125	ИЗ ВСЕХ ИЗВЕСТНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ $Tl_2Ba_2Ca_2Cu_3O_{10}$ ИМЕЕТ САМУЮ ВЫСОКУЮ КРИТИЧЕСКУЮ ТЕМПЕРАТУРУ
$TlBa_2Cu_2O_5$	$CaCu_2O_7$, $Ca_2Cu_3O_9$ или $Ca_3Cu_4O_{11}$	0–122	
$Pb_2Sr_{2+x}Pr_{1-x}Cu_3O_8$	Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er или Tm	70–85	
$Bi_2Sr_2Sm_{2-2x}Ce_{2x}Cu_2O_{10}$	Eu или Gd	20–25	
$Ba_{1.33}Nd_{0.67}Sm_{1.33}Ce_{0.67}Cu_3O_9$	Sm, Eu или Gd Nd, Eu или Gd	40	
$La_{2-x}Sr_xCaCuO_6$	НЕИЗВЕСТНО	60	

самая высокая из тех, которыми обладают твердые растворы на основе La_2CuO_4 .

ВОТЛИЧИЕ от твердых растворов, благодаря которым соединение La_2CuO_4 становится сверхпроводящим, сверхпроводник $YBa_2Cu_3O_7$ (называемый соединением 1-2-3) имеет полностью упорядоченную кристаллическую решетку, образованную плоскостями из ионов иттрия, бария и меди (см. рисунок вверху). В такой структуре небольшие ионы иттрия с зарядом +3 связаны с восемью атомами кислорода, а большие ионы бария с зарядом +2 — с десятью атомами кислорода. Между слоями иттрия и бария атомы меди образуют с атомами кислорода пирамиду. Основания этих пирамид обращены друг к другу по обе стороны плоскости из атомов иттрия. В основаниях пирамид образуются плоскости из атомов меди и кислорода, необходимые для появления сверхпроводимости. В промежутке между двумя слоями бария атомы меди координированы с четырьмя атомами кислорода в ромбоэдрическую плоскость. Вершины ромбов соединены между собой в цепь.

Эти особенности связи атомов меди и кислорода обеспечивают заполнение трехмерного пространства комбинацией одномерных цепочек и дву-

мерных ромбоэдрических плоскостей. Один ученый из Египта как-то сказал мне, что он думает, что его земляки должны быть удачливы в поиске новых сверхпроводников, поскольку загадки пирамид с древнейших времен являются составной частью национальной культуры египтян.

В соединении $YBa_2Cu_3O_7$ медь в среднем имеет валентность +2,33 (7 из 14 электронов, необходимые для связи с кислородом, дают один атом иттрия и два атома бария; остальные 7 электронов отдаются тремя атомами меди). Ученым удалось доказать, что атомы меди как в одномерных цепочках, так и в плоских основаниях пирамид окисляются примерно до одинаковых состояний.

В соединении $YBa_2Cu_3O_7$ семь атомов кислорода играют особо важную роль для возникновения сверхпроводимости. Если содержание кислорода в этом соединении снижается от 7 до 6 атомов, то образуется диэлектрик $YBa_2Cu_3O_6$. При этом кислород удаляется только из одного положения кристаллической решетки, поэтому ромбы из атомов меди и кислорода превращаются в одномерные нити. В этих нитях создается устойчивая координация атомов меди в состоянии с валентностью +1. Снижение содержания кислорода непосредственно не влияет на форму пирамид, но при под-

счете зарядов обнаруживается, что атомы меди, входящие в пирамиды, теперь имеют состояния с валентностью +2. В этой конфигурации электроны локализованы под действием антиферромагнетизма.

Если содержание кислорода в $YBa_2Cu_3O_6$ увеличить, то кислород добавляется непосредственно в «среду», окружающую нить, окисляя атомы меди из состояния с валентностью +1 до +2. Кислород включается не случайным образом в медь-кислородные нити, а скорее стремится образовать как можно больше медь-кислородных ромбов.

Когда содержание кислорода достигает уровня, при котором на каждые три атома меди в среднем приходится 6,5 атомов кислорода, кислород отбирает у атомов меди в медно-кислородных пирамидах столько электронов, сколько необходимо для возникновения сверхпроводимости. Образующееся в результате соединение $YBa_2Cu_3O_{6.5}$ имеет критическую температуру 60 К. Это соединение имеет отчетливо выраженную кристаллическую структуру, в которой цепочки ромбов и нити образуют упорядоченную решетку. По мере дальнейшего увеличения содержания кислорода цепочки ромбов становятся более протяженными. Когда получается полностью цепочечная структу-

ра, критическая температура, при которой наступает сверхпроводимость, резко поднимается до 90 К.

КАК В YBa_2CuO_7 , так и в $La_{1,8}Ba_{0,2}CuO_4$ атомы меди окисляются до состояния с валентностью больше + 2. В результате в зоне проводимости образуются положительно заряженные дырки, поэтому эти соединения называют сверхпроводниками p -типа. Сверхпроводники, у которых носителями зарядов являются электроны, считают сверхпроводниками n -типа. До 1988 г. все известные сверхпроводники были p -типа, и поэтому многие стали утверждать, что сверхпроводники на основе оксидов меди ни в каких случаях не могут быть n -типа.

В 1988 г. Й. Токура, Х. Такаги и Син-Ити Утида из Токийского университета открыли первый, и пока единственный, керамический сверхпроводник n -типа. Этот новый сверхпроводящий материал был получен на основе оксида неодима и меди (Nd_2CuO_4). Структура этого соединения подобна структуре La_2CuO_4 , но в отличие от лантана, ион которого связан с девятью соседними атомами кислорода, больший по размеру ион неодима окружен восемью атомами кислорода. В соединении Nd_2CuO_4 атомы кислорода расположены вокруг неодима, образуя координационный многогранник в виде квадратной призмы. В результате атомы меди координированы с четырьмя атомами кислорода, образуя плоский квадрат.

В сверхпроводниках на основе Nd_2CuO_4 некоторые атомы неодима замещаются церием или торием с образованием твердых растворов. Церий и торий имеют валентность + 4 и подходящий размер для того, чтобы они могли замещать некоторые атомы неодима с валентностью + 3. Поэтому они могут образовывать твердые растворы состава $Nd_{2-x}Ce_xCuO_4$ и $Nd_{2-x}Th_xCuO_4$. Когда x равен 0,17, эти материалы имеют самую высокую критическую температуру, близкую к 25 К. Эти материалы остаются объектами интенсивных исследований, потому что они обладают интересными химическими свойствами, связанными с природой носителей, но до конца еще непоняты.

Сверхпроводники с самой высокой критической температурой, известной на сегодняшний день, были открыты в 1988 г. А. Херманном и его коллегами из Университета шт. Арканзас. Эти сверхпроводники состоят из атомов таллия, бария, кальция, меди и кислорода. Поскольку оксид таллия обладает высокой токсичностью, обращаться с этими материалами

следует очень осторожно, и только в лабораторных условиях при наличии соответствующего оборудования. По этой причине практическое использование данных материалов пока остается под большим вопросом. Тем не менее их кристаллическая структура подтверждает тот факт, что ключевым условием, необходимым для обеспечения высокой критической температуры, является наличие плоскостей из атомов меди и кислорода.

В этих материалах атомы таллия и кислорода образуют большие октаэдры, которые расположены в плоскостях, находящихся над плоскостями из медь-кислородных октаэдров или пирамид. Общая формула таллиевых сверхпроводников записывается в виде $Tl_mBa_2Ca_n - 1Cu_nO_{m+2n+2}$. Индекс m указывает число слоев, образуемых таллий-кислородными октаэдрами. Пока известны только соединения, которые имеют один или два таких слоя. Число медных слоев (n) может быть от одного до четырех. Все соединения в этом ряду обладают сверхпроводимостью при высоких температурах. Самую высокую температуру, 125 К, при которой наступает сверхпроводимость, имеет $Tl_2Ba_2CaCu_3O_{10}$.

ХОТЯ недавно открытые сверхпроводники на основе оксидов меди имеют более сложную структу-

ру по сравнению с открытыми ранее, все они построены из плоскостей, включающих атомы меди и кислорода. Эти плоскости чередуются с другими слоями, которые разделяют их пространственно, и, что наиболее важно, они служат резервуаром положительных и отрицательных зарядов. Электронное состояние слоев определяет число зарядов на медь-кислородных плоскостях и критическую температуру данного соединения.

Более 15 лет назад А. Слайт в сотрудничестве со специалистами фирмы Du Pont получил керамический материал, состоящий из бария, свинца, висмута и кислорода. Хотя его критическая температура составляла всего 12 К, он все же навел Беднорца и Мюллера на мысль о поиске керамических сверхпроводников. В 1988 г. мои коллеги и я в фирме AT&T Bell Laboratories установили, что соединение на основе бария, калия, висмута и кислорода становится сверхпроводящим при 30 К. Эти материалы имеют много общего с оксидами меди, и история их создания интересна сама по себе. Возможно, эти или какие-либо другие, пока еще не открытые материалы укажут нам на новые истоки такого замечательного явления, как высокотемпературная сверхпроводимость. Время покажет.

Наука и общество

Как повысить конкурентоспособность

«Что хорошо для страны — хорошо для «Дженерал моторз», а что хорошо для «Дженерал моторз» — хорошо для страны».

ЧАРЛЗ Э. УИЛСОН, выступление в сенатском комитете по делам вооруженных сил, 1952 г.

ОКОЛО сорока лет назад высказывание Уилсона казалось бесспорным. Сегодня, однако, экономисты и политические деятели в этом далеко не уверены. Они задаются вопросом, не стали ли формально «американские» корпорации настолько интернациональными, что их стратегическая линия работает не на пользу, а во вред интересам самой страны. Они также задаются вопросом, какие шаги следует предпринять правительству США для того, чтобы повысить конкурентоспособность американских компаний.

На одном краю политического спектра находятся технократы, борющиеся на Капитолийском холме за

любую форму поддержки американской промышленности со стороны правительства. Это они являются авторами недавних законопроектов, нацеленных на то, чтобы совместные предприятия не несли тройного ущерба, что обычно имеет место в результате антитрестовских судебных процессов. Законопроект, принятый палатой представителей в июне этого года, предоставляет такую привилегию лишь тем промышленным группам, в которых доля американских компаний составляет более 70%.

На противоположном краю политического спектра находится профессор Гарвардской школы бизнеса Майкл Э. Портер. В своей последней книге «The Competitive Advantage of Nations» («Преимущество конкуренции между странами»), насчитывающей 855 страниц, он рассматривает факторы, обеспечивающие компаниям высокую конкурентоспособность на мировом рынке. Главная мысль Портера заключается в том, что роль правительства в этом вопросе слишком преувеличивается: «Правительства не определяют конкуренто-

способность страны, они могут лишь оказывать на нее влияние».

Портер начинает с утверждения, что конкурируют не страны, а компании. «Далеко не ясно значение термина «конкурентоспособный» применительно к стране», — считает он. Правительство заботится об успешном функционировании промышленности страны лишь потому, что состояние дел у промышленных фирм непосредственно отражается на уровне жизни в стране.

Рассмотрение факторов, способствующих успеху фирм, и занимает основную часть книги Портера. Он выделяет четыре главных группы факторов, влияющих на работу компаний: *производственные факторы*, а именно наличие квалифицированной рабочей силы и необходимого оборудования; *спрос на внутреннем рынке* или уровень запросов местного потребителя; *наличие смежных и вспомогательных отраслей*, что побуждает фирму выпускать более качественную или более дешевую продукцию, а также наличие у фирмы *четкой стратегии, структуры и духа соперничества* или, иными словами, эффективного управления. Оказание воздействия на все эти факторы находится в сфере деятельности самой фирмы.

Рассмотрим, к примеру, процветающую индустрию медицинского диагностического оборудования, созданную в США после второй мировой войны. Эта индустрия выросла благодаря имевшимся в стране предпосылкам: развитию электронной промышленности, способствовавшей появлению талантливых и энергичных инженерных кадров, росту финансирования научных исследований в области медицины, спросу на высококачественное больничное обслуживание и острой конкуренции мелких фирм в борьбе за потребителя.

По утверждению Портера, правительство играет в лучшем случае опосредованную роль, что иногда приносит удивительные результаты. Скорее всего ограничения регулирующего характера, а не обременительные для фирм налоги могут стать стимулом к повышению ими своей конкурентоспособности. Он отмечает: «Жесткие шведские стандарты в отношении безопасности товаров и охраны окружающей среды, например, побудили многие отрасли промышленности повысить свою конкурентоспособность».

Портер также не принадлежит к числу сторонников смягчения анти-трестовских ограничений. Разрешение прежним соперникам работать вместе может притупить у них желание вести конкурентную борьбу, у-

ПОЗИЦИИ СТРАН НА МИРОВОМ РЫНКЕ

ФРГ	ИТАЛИЯ	ЯПОНИЯ	ЮЖНАЯ КОРЕЯ	США
АВТОМОБИЛИ 16,1*	АВТОМОБИЛИ 5,0	АВТОМОБИЛИ 23,8	ГРУЗОВЫЕ СУДА 16,1	АВТОМОБИЛИ 10,3
ХИМИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА 3,3	ОБУВЬ 4,7	ТЕЛЕВИЗОРЫ, ВИДЕОМАГНИТОФОНЫ 8,1	ОДЕЖДА (СИНТЕТИКА) 7,2	САМОЛЕТЫ 8,0
ОБРАБАТЫВАЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ 2,2	ЮВЕЛИРНЫЕ ИЗДЕЛИЯ 2,9	ЭЛЕКТРОНИКА 6,6	ЧУГУН И СТАЛЬ 6,4	КОМПЬЮТЕРЫ 6,3
ПЕЧАТНЫЕ СТАНКИ 0,5	ИСКУССТВЕННЫЕ КАМНИ 0,9	ФОТО-АППАРАТЫ 0,9	ДРУГИЕ ТЕКСТИЛЬНЫЕ ТОВАРЫ 3,7	ЗЕРНО, СОЕВЫЕ БОБЫ 4,3

■ ЗНАЧИТЕЛЬНАЯ ДОЛЯ НА МИРОВОМ РЫНКЕ

* в процентах от национального экспорта; данные за 1985 г.

верждает Портер, и тем самым может отрицательно отразиться на конкурентоспособности компаний на мировом рынке.

Портер согласен с тем, что наиболее весомым преимуществом является наличие в стране первоклассных научных кадров и высококвалифицированной рабочей силы. Но, по его мнению, компании также должны вносить свой вклад в улучшение уже существующей местной базы: они должны заниматься подготовкой рабочих кадров, требовать высокого качества от поставщиков внутри страны, обеспечивать первоклассным оборудованием других и быть сильными конкурентами. «Фирма, безусловно, заинтересована в том, чтобы ее база внутри страны была хорошей платформой для достижения успеха на мировом рынке», — отмечает Портер.

Но если после внимательного изучения компанией своего положения и перспектив в стране будет сделан вывод, что существующие условия не способствуют повышению ее конкурентоспособности, компания, по мнению Портера, должна перебазируется. Целесообразно разместить свои научно-исследовательские и опытно-конструкторские центры там, где есть высококвалифицированные кадры, требовательные потребители и сильные конкуренты.

Как считает Портер, государственные лидеры, стремящиеся удержать или привлечь компании, которые работают в области высоких технологий, должны взглянуть в новом свете на сферу бизнеса в своих странах. Вместо того чтобы блокировать иностранные капиталовложения, страны должны приветствовать приход сильных, конкурентоспособных компаний, которые бросят вызов местным предприятиям. США выигрывают от «глобализации» в том случае, если иностранные компании найдут, что в этой стране имеются благоприятные условия для их работы, и

разместят здесь свои динамично развивающиеся исследовательские центры и промышленные предприятия.

Согласно данным Бюро экономического анализа, до сих пор иностранные капиталовложения в приобретения или открытие предприятий в США были значительными: в 1983—1988 гг. рост этих капиталовложений составлял ежегодно в среднем 55%, и в 1988 г. они достигли суммы в 72,7 млрд. долл. Однако в прошлом году они снизились до 64,6 млрд. долл., вероятно, в связи с тщательным рассмотрением правительством случаев слияния с иностранными компаниями и требованиями, чтобы иностранные фирмы во многом раскрыли финансовую сторону своей деятельности.

Хотя не все экономисты разделяют мнение Портера, многие начинают высказываться за новый взгляд на то, какой подход к «американским» и «иностранным» фирмам предусматривается действующими в США правилами. «Политические деятели должны понять, что предприятия «Хонды» в США могут служить американским интересам так же, как и предприятия «Форда», — считает Проктор П. Рейд, руководящий исследованиями в области глобализации в Национальной технической академии, которые планируется завершить этой осенью.

Ответ на подобные вопросы мог бы привести к радикальному пересмотру отношений между правительством и корпорациями. При этом одна экономическая истина по-прежнему сохраняет свою актуальность со времен Давида Рикардо, который сформулировал принципы сравнительных преимуществ еще в начале XIX в. В изложении Портера она звучит следующим образом: «Ни одна страна не может быть конкурентоспособной во всех областях (и нетто-экспортером всех товаров)».

Элизабет Коркоран и Пол Уоллич.

Инфекции, связанные со СПИДом

До тех пор, пока вирус СПИДа не будет побежден, надежда на продление жизни больных и улучшение ее качества во многом зависит от совершенствования методов лечения оппортунистических инфекционных заболеваний, возникающих при СПИДе

ДЖОН МИЛЛЗ, ГЕНРИ МАЗУР

ВИРУС иммунодефицита человека (HIV — от англ. human immunodeficiency virus) сам по себе не является непосредственной причиной большинства симптомов и смертельного исхода при синдроме приобретенного иммунодефицита (СПИД). Вирус — возбудитель СПИДа может непосредственно повреждать органы и ткани, но, кроме этого, он, подрывая защитные силы организма, подготавливает почву для возникновения оппортунистических инфекций, т. е. заболеваний, обусловленных возбудителями, которые стали интенсивно размножаться в организме больного только потому, что повреждена его иммунная система. Такие возбудители, которые редко вызывают заболевания у людей со здоровой иммунной системой, в 90% случаев служат причиной смерти при СПИДе, представляя собой последнюю стадию инфекции HIV.

Антивирусные лекарственные препараты, которые эффективны против HIV (например, азидотимидин, называемый также зидовудином), не уничтожают вирус полностью, но все же замедляют процесс ослабления иммунной защиты организма, связанного с инфекцией HIV. Благодаря этому они задерживают наступление оппортунистических инфекций. До тех пор, пока не будет найдено средство от инфекции HIV, время жизни и состояние больных будут зависеть в основном от тех методов лечения, которые специфически предотвращают те или иные оппортунистические инфекции либо подавляют их.

Поиск таких методов значительно расширился в последние 5—10 лет, и уже достигнут прогресс в лечении больных. Действительно, прежде, когда началось распространение СПИДа, не существовало способов борьбы с тяжелой инфекцией цитомегаловируса (вирус из группы герпеса)

при которой у людей с нарушенной иммунной системой развивается слепота либо поражается пищеварительный тракт или легкие. К 1990 г. получено разрешение на один лекарственный препарат против этой инфекции и еще один препарат имеется в широком доступе для экстренного лечения и предупреждения рецидивов. Пневмония, вызываемая *Pneumocystis carinii*, до последнего времени поражала (по крайней мере один раз) 85% людей, зараженных HIV. В настоящее время 2/3 или более таких случаев можно предупредить путем медикаментозной терапии.

Связанные с HIV оппортунистические инфекции весьма разнообразны, но не все они одинаково специфические. Большинство этих инфекций проявляется также у людей, у которых иммунная система ослаблена не HIV, а по другим причинам, например из-за приема лекарств, подавляющих иммунитет, которые необходимы для предотвращения отторжения чужеродных тканей при пересадке органов. (Есть, однако, исключения. Из числа инфекций, часто встречающихся у больных СПИДом, некоторые по неясным причинам редки при других иммунодефицитах.)

Кроме того, связанные с HIV инфекционные заболевания вызываются довольно широко распространенными микроорганизмами. Набор таких инфекций варьирует в зависимости от региона, поскольку в разных местностях существуют свои микробы-эндемики. Оппортунистические инфекционные заболевания обычно являются результатом активации возбудителей, бездействовавших до заражения HIV, которых держала под контролем иммунная система организма.

Как правило, зараженных HIV поражают инфекции, которые в норме находятся под контролем клеточного

иммунитета. Эта часть иммунной защиты организма обеспечивается, в частности, клетками, называемыми Т-лимфоцитами и макрофагами, которые уничтожаются HIV. Напротив, с инфекциями (включая многие бактериальные), которым противостоит другая основная часть иммунной защиты, обеспечиваемая антителами, или неспецифические барьеры, организм зараженного HIV обычно справляется, по крайней мере некоторое время.

Как именно клеточный иммунитет нарушается HIV, до конца не понятно. Известно, что вирус постепенно выводит из строя ту часть Т-лимфоцитов, которые несут на своей поверхности рецептор CD4. В результате потери этих клеток клеточный иммунный ответ становится, по-видимому, неполноценным, поскольку рецептором CD4 обладают хелперные Т-лимфоциты, которые регулируют активность многих других компонентов клеточного иммунного ответа. Правда, некоторая недостаточность иммунной защиты часто наблюдается еще до того, как существенно падает численность хелперных Т-лимфоцитов. Вероятно, потеря хелперных Т-лимфоцитов — это не единственная причина ослабления иммунной системы.

УСТАНОВЛЕНО, что развитие определенных оппортунистических инфекций связано с количеством в крови Т-лимфоцитов, обладающих CD4. У здоровых людей в 1 мм³ крови содержится около 1000 таких клеток. А у зараженных HIV число их падает на 40—80 единиц ежегодно. Когда хелперных Т-лимфоцитов становится меньше 400—200 на 1 мм³, обычно появляются первые инфекционные заболевания — относительно неопасные, но беспокоящие больных инфекции кожных покровов и слизистых оболоч-

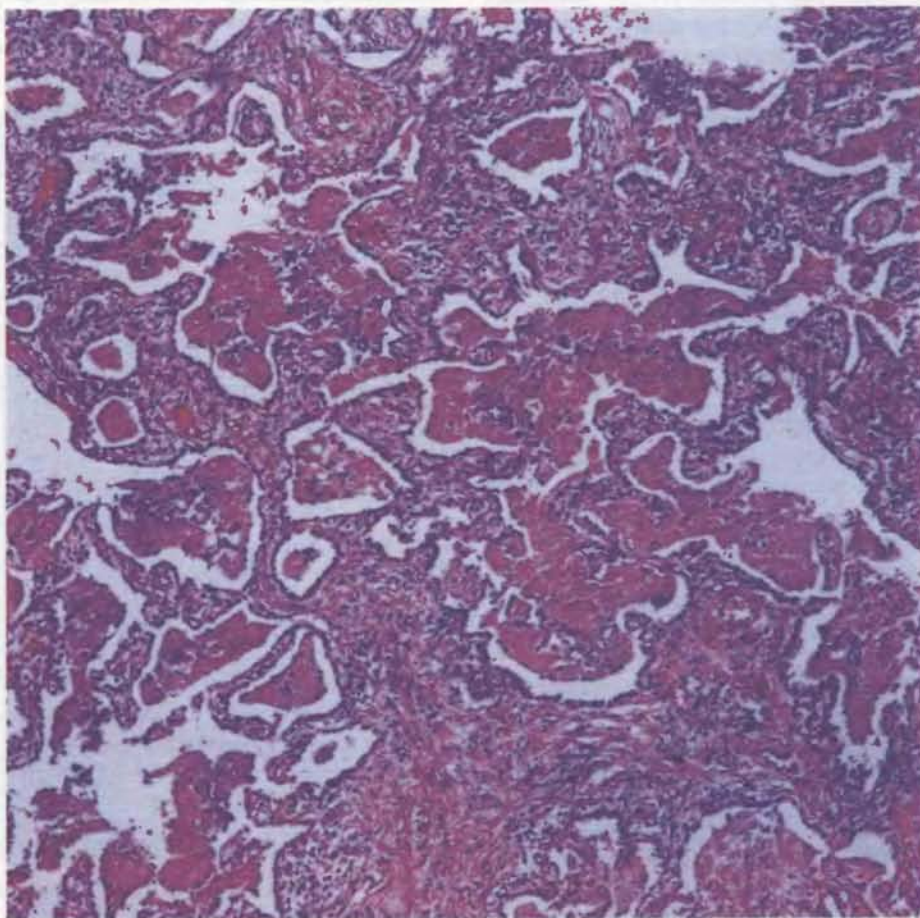
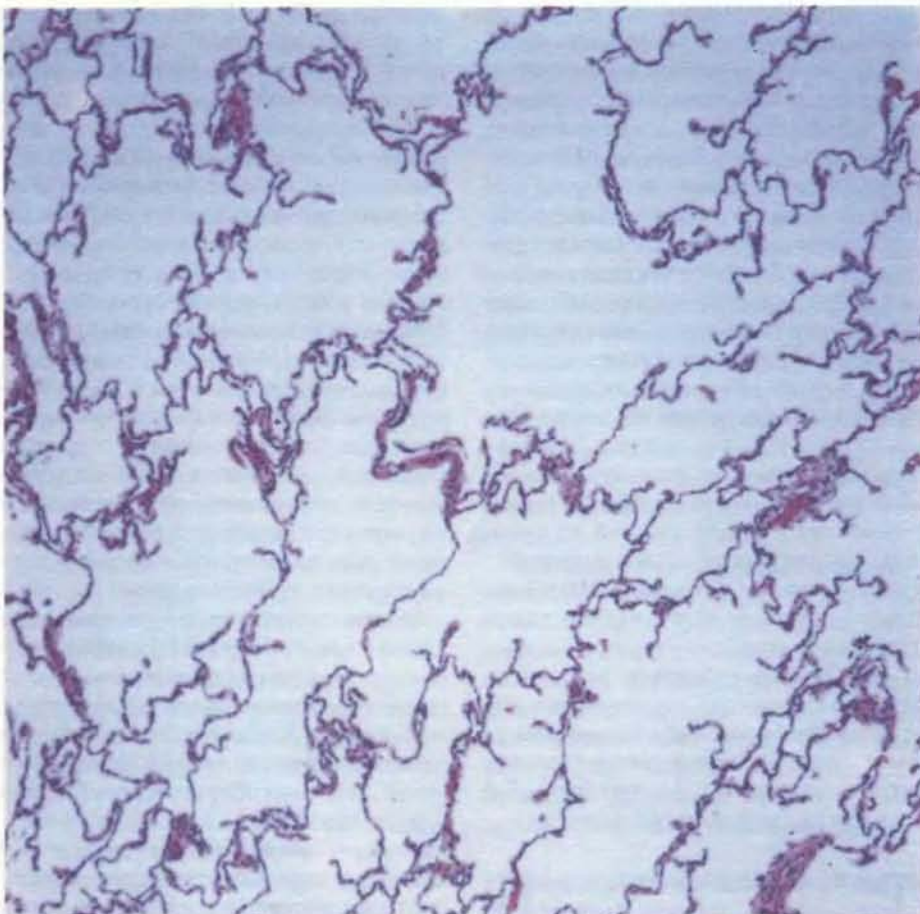
чек. Среди них может быть молочница (болезненные язвочки во рту, вызываемые грибом *Candida albicans*), опоясывающий лишай (вирусное поражение нервов и кожи), тяжелые грибковые поражения ног (в частности эпидермофития), волосистая лейкоплакия полости рта (белесые пятна чаще всего на языке; вызывается вирусом Эпштейна — Барр).

Когда появляются такие симптомы, то часто говорят, что у человека связанный со СПИДОМ комплекс. То же относят к людям, которые страдают хроническими необъяснимыми лихорадками, диареей, ночными потами, теряют в весе. По мере того как продолжается разрушение иммунной защиты, начинают развиваться связанные со СПИДОМ тяжелые оппортунистические инфекции. Среди них три основные смертельные болезни: пневмония, вызываемая *P. carinii*, криптококковый менингит грибкового происхождения и паразитарное заболевание токсоплазмоз, поражающее мозг. В прошлом от этих трех болезней умирали 50—70% больных СПИДОМ в США.

Дж. Фза из Северо-Западного университета и его коллеги показали, что риск заболеть пневмонией, вызываемой *P. carinii*, резко увеличивается после того, как количество Т-лимфоцитов, имеющих CD4, падает ниже 200 в 1 мм³. Без превентивной терапии у более чем 20% больных, в крови которых число таких клеток составляет меньше 200 в 1 мм³, первый “удар” пневмонии происходит в течение 1 года. Риск некоторых других инфекций не возрастает существенно, пока число несущих CD4 Т-лимфоцитов не упадет ниже 100 на 1 мм³.

Идеальный подход к лечению оппортунистических инфекций, возникающих в связи со СПИДОМ, включает три аспекта: предупреждение инфекций (первичная профилактика), лечение каждой активной инфекции и предотвращение рецидивов (вторичная профилактика). Сейчас много внимания уделяется вторичной профилактике, так как без нее оппортунистические инфекции при СПИДе почти всегда повторяются.

Инфекции возобновляются, поскольку антимикробные методы лечения редко позволяют уничтожить микроорганизмов-возбудителей полностью. У людей со здоровой иммунной системой такое лечение бывает эффективным потому, что оно предоставляет организму время для мобилизации защитных сил против патогенного агента. А при инфекции HIV ослабленная иммунная система не может оказать сопротивление возбудителю заболевания.



АЛВЕОЛЫ ЛЕГКИХ у здоровых людей (вверху) содержат только газы (светлые участки), а у больных пневмонией, вызванной *Pneumocystis carinii* — одной из главных оппортунистических инфекций при СПИДе (внизу), они наполнены жидкостью и частицами (розовые участки).

В общем, лекарственный препарат, эффективный против активной инфекции, с большой долей вероятности пригодится для первичной и вторичной профилактики. К сожалению, многие лекарства, переносимые человеческим организмом в течение короткого времени, имеют недостатки, мешающие их использованию для превентивной терапии, предполагающей неопределенно долгое применение препарата. К этим недостаткам относятся потенциальная токсичность и необходимость внутривенного введения; последнее неудобно, дорого и может быть причиной инфекции. Эти проблемы указывают на необходимость иметь набор лекарственных средств для каждой из главных оппортунистических инфекций, возникающих у больных СПИДом. Притом должен быть выбор таких препаратов, чтобы в тех случаях, когда больной не реагирует на то или иное лекарство или не переносит его побочное действие либо взаимодействие с другими лекарствами (такими как азидотимидин), можно было бы применить другой метод лечения.

ТРЕХЭТАПНОЕ лечение основных оппортунистических инфекций, сопровождающих СПИД, оказалось наиболее успешным в отношении пневмонии, вызываемой *P. carinii*, хотя стратегия выживания организма при этом остается загадкой. *P. carinii* обычно поражает легкие (но может действовать и в других частях организма). Этот патогенный микроорганизм часто рассматривают как паразитический, хотя проведенные недавно исследования указывают на то, что это, возможно, грибок.

Возбудитель пневмонии передается от человека к человеку, по-видимому, воздушно-капельным путем подобно возбудителям туберкулеза и гриппа. Считается, что у большинства взрослых людей в легких постоянно присутствует небольшое количество *P. carinii*, однако никогда не было зарегистрировано ни одного случая вызываемой им пневмонии у иммунологически нормального человека.

При подавленной иммунной защите *P. carinii* локализуется в альвеолах легких, где происходит газообмен. У больных СПИДом, несмотря на слабость иммунной системы, наблюдается некоторая воспалительная реакция на инфекцию. Значит, лейкоциты, антитела, а также другие белки крови скапливаются в альвеолах и лейкоциты внедряются в легочную ткань. Одновременно с этим сама ткань и альвеолы наполняются жидкостью, что затрудняет поглощение кислорода и тем самым его поступление в жизнен-

но важные органы. Без лечения пневмония, вызванная *P. carinii*, почти всегда приводит к смерти. Даже при лечении 10—20% больных погибают.

Обычно врачи лечили эту болезнь одним из двух способов. Первый состоит во внутривенном введении пентамидинизетионата. (Широко рекламируемая аэрозольная форма препарата более пригодна для предупреждения заболевания и была бы хороша как нетоксичное средство лечения острой инфекции, не оказывающее побочного действия. Однако не показано окончательно, что препарат эффективен для лечения острых форм.) Другой метод — прием через рот или внутривенно котримоксазола, представляющего собой комбинацию двух соединений — сульфаметоксазола и триметоприма.

У некоторых микроорганизмов, возможно, у *P. carinii*, пентамидин, как предполагается, подавляет размножение в результате ингибирования синтеза ДНК, хотя механизм его действия до конца не ясен. Котримоксазол тоже ингибирует синтез ДНК (см. рисунок на с. 31). Сульфаметоксазольный компонент подавляет активность фермента дигидроптероатсинтазы, который участвует в образовании производного фолиевой кислоты, играющего важную роль в синтезе нуклеотидов, необходимых для образования ДНК. Ингибиторы этого фермента ценны тем, что они подавляют синтез ДНК в клетках микроорганизмов, но не влияют на синтез ДНК у человека. Клеткам человека и других млекопитающих не требуется дигидроптероатсинтаза, поскольку они могут получать предшественник данного производного фолиевой кислоты с пищей.

Триметоприм в составе котримоксазола дополняет сульфаметоксазол, сильно ингибируя родственный фермент — дигидрофолатредуктазу, превращающий производное фолиевой кислоты, синтезированное микроорганизмами, в такие формы, которые непосредственно используются в синтезе нуклеотидов. Триметоприм ингибирует и человеческую дигидрофолатредуктазу, но очень незначительно.

Пентамидин и котримоксазол довольно эффективны против *P. carinii*, особенно если лечение начинают до того, как состояние больного становится тяжелым. У этих лекарств есть, однако, недостатки. Оба препарата малоэффективны в тяжелых случаях, и оба оказывают сильное побочное действие. Примерно половина больных плохо переносит первое назначаемое лекарство, и им требуется заменяющее средство. Так, при внутри-

венном применении пентамидина бывает нарушение функции почек или сильное снижение уровня сахара в крови. Котримоксазол может вызывать сильную тошноту, кожные высыпания, лихорадку, падение содержания лейкоцитов и тромбоцитов в крови, а также поражение печени.

МНОГИЕ исследователи занимаются поиском новых препаратов, которые были бы менее токсичными, более эффективными либо более простыми в применении по сравнению с существующими лекарствами. Все больше ингибиторов дигидрофолатредуктазы и дигидроптероатсинтазы, среди которых как новые, так и уже известные лекарства, проходят клинические испытания. В их числе новые ингибиторы дигидрофолатредуктазы триметрексат (вводимый внутривенно) и пиритрексим (принимаемый через рот).

В клинических исследованиях многообещающие результаты дало также комбинирование двух известных антимикробных препаратов — клиндамицина (который подавляет синтез белка у бактерий) и примахина (средство против малярии), а также триметоприма и дапсона (ингибитор дигидроптероатсинтазы, относящийся к классу сульфоновых соединений). Кроме того, в клинических условиях



ОПОРТУНИСТИЧЕСКИЕ ИНФЕКЦИИ, обнаруживаемые у зараженных вирусом иммунодефицита человека (HIV), вызывающим СПИД, обычно раз-

изучается действие дифторметилорнитина, ингибирующего синтез ДНК у некоторых паразитических микроорганизмов, и препарата, обозначаемого 566С80, который подавляет образование энергии в митохондриях. Тысячи ингибиторов дигидроптератсинтазы и дигидрофолатредуктазы проверяются на активность против *P. carinii* in vitro.

В целях усовершенствования методов лечения острых инфекций рассматриваются и такие лекарства, которые сами по себе не действуют на возбудителей. По данным ряда клинических испытаний, срочное введение глюкокортикоидных препаратов ослабляет воспаление легких и повышает шансы на выживание у тяжелых больных. Поскольку больные пневмонией, вызываемой *P. carinii*, страдают от недостатка легочного сурфактанта, необходимого для поддержания воздухоносных путей открытыми, целесообразно было бы проверить эффективность лечения аэрозолями, содержащими искусственные сурфактанты.

Как для первичной, так и для вторичной профилактики очень эффективно, по-видимому, вдыхание пентамидина, дапсона и котримоксазола. Степень их относительной эффективности и токсичности, однако, неизвестна и в настоящее время исследуют-

ся. С учетом того, что было обнаружено Дж. Фэа, первичную специфическую профилактику против *P. carinii* следует начинать незадолго до того, как число Т-лимфоцитов, содержащих CD4, упадет до 200, или раньше, если у больного появился связанный со СПИДОМ комплекс симптомов либо собственно СПИД.

Важность вторичной профилактики особенно очевидна в свете последних данных. Еще недавно примерно половина больных, перенесших первую атаку *P. carinii*, имели рецидив в течение года независимо от того, получали они азидотимидин или нет. Сегодня только 10—20% больных, принимающих азидотимидин и специфические меры профилактики против *P. carinii*, заболевают повторно в течение года. Кроме того, те, кто не проходил специального превентивного лечения, живут в среднем только год после первой атаки пневмонии, тогда как больные, прошедшие вторичную профилактику и принимающие азидотимидин, живут в среднем около трех лет.

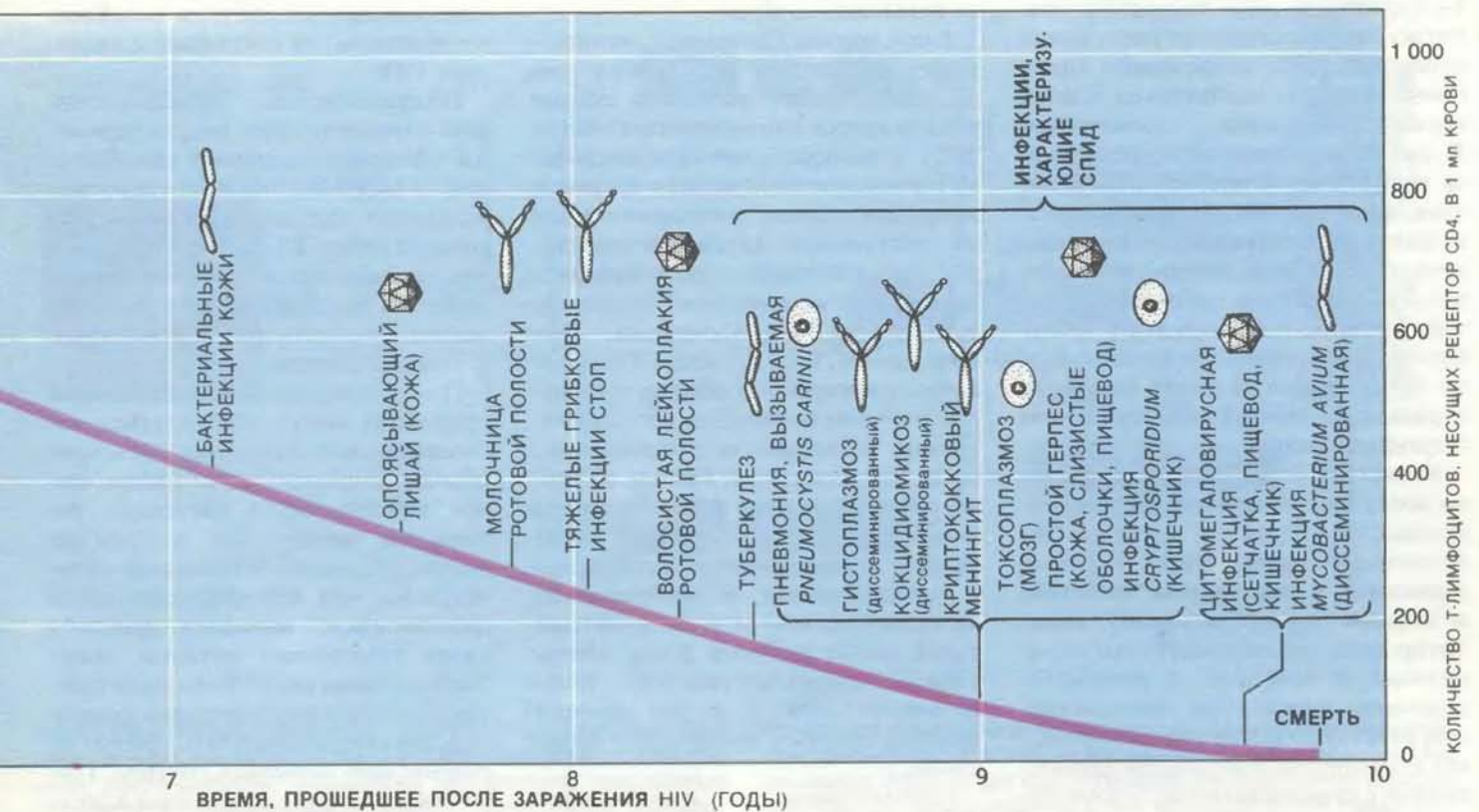
Такие данные вселяют надежду. Мы и другие исследователи рассчитываем на то, что по мере создания новых лекарственных препаратов для борьбы с острой инфекцией, вызываемой *P. carinii*, будут разрабатываться методы эффективного, нетоксичного,

удобного и экономичного превентивного лечения.

Прогресс в разработке методов лечения других связанных со СПИДОМ инфекций пока менее значителен. Показателен в этом отношении токсоплазмоз. Эта болезнь вызывается *Toxoplasma gondii* — одноклеточным паразитом кошек и других животных, а также человека. Он может передаваться людям при контакте с фекалиями зараженных кошек или с не прошедшим достаточную тепловую обработку мясом других зараженных животных. В США около 20% или более взрослых людей являются носителями токсоплазм, которые присутствуют обычно в тканях мозга и мышц.

Эта латентная инфекция активируется, обычно в мозге, у 5—15% больных СПИДОМ. Быстро размножающийся возбудитель вызывает воспалительную реакцию, которая разрушает клетки мозга, в результате чего развиваются очаговые поражения мозга или локальные нарушения функций, например односторонние парезы и снижение чувствительности.

ДО СИХ ПОР единственный эффективный способ лечения токсоплазмоза — это назначение пириметамина (ингибитора дигидрофолатредуктазы) в сочетании с сульфалиа-



вываются в последовательности, коррелирующей с концентрацией в крови определенных клеток — Т-лимфоцитов, обладающих рецептором CD4. Число этих клеток уменьшается со временем, что отражает ослабление им-

мунной защиты организма, вызванное HIV (По данным, собранным при участии С. Гроув из больницы Феофилд в Мельбурне.)



НЕКОТОРЫЕ ИНФЕКЦИИ можно идентифицировать по изображению пораженной ткани. Например, при токсоплазмозе (слева) наблюдаются очаговые поражения мозга, которые на изображениях, полученных методом ядерного магнитного резонанса, имеют вид светлых участков. При цитомегаловирусном поражении сетчатки (справа) на фотографии выявляются участки отмершей ткани (желтые) и облитерация кровеносных сосудов (ярко-красные пятна), связанная с кровотечением. (Черная область — отслоившиеся участки.)

зином (ингибитором дигидроптеротсиназы), которые можно принимать через рот. У большинства больных улучшение наступает в течение 1—3 недель по мере замедления размножения патогена и уменьшения отека мозга. Но повреждения мозга большей частью необратимы. Как и в случае пневмонии, вызываемой *P. carinii*, в отношении токсоплазмоза необходима вторичная профилактика, так как существующие лекарства подавляют инфекцию, но не ликвидируют ее. В ходе лечения наблюдаются многие из тех побочных эффектов, которые сопровождают действие котримоксазола. Из-за этого около 30% больных не могут перенести полный курс лечения пириметамином и сульфадиазином.

К счастью, есть другие потенциально эффективные методы лечения токсоплазмоза. Судя по результатам клинических испытаний (которые проведены в небольшом масштабе и должны быть повторены), ингибитор дигидрофолатредуктазы пириметамин в сочетании с антибактериальным препаратом клиндамицином действуют почти так же хорошо, как стандартная комбинация пириметамина с сульфадиазином. Кроме того, проверка других антимикробных препаратов на активность против *T. gondii* in vitro и на мышах выявила ряд потенциально эффективных соединений. В их числе аналоги клинда-

мицина и тетрациклина, а также некоторые ингибиторы дигидрофолатредуктазы и дигидроптеротсиназы. Но пока ни одно из этих соединений не испытано на людях.

Иной подход к лечению токсоплазмоза основан на том факте, что *T. gondii* может выживать только внутри клеток и предпочитает макрофаги. У здорового человека макрофаги поглощают проникших в организм микробов и затем активируются для их уничтожения. Активация происходит под действием γ -интерферона и других так называемых цитокинов, выделяемых Т-лимфоцитами. При инфекции HIV из-за гибели Т-лимфоцитов γ -интерферон образуется в недостаточном количестве, поэтому патогены поглощаются макрофагами, но не уничтожаются. Исходя из этого, разрабатывается идея добавления γ -интерферона к стандартной схеме лечения пириметамином в сочетании с сульфадиазином. В исследованиях на культурах клеток и на животных такой метод оказался более эффективным, чем воздействие одних только ингибиторов. В скором времени должны начаться клинические испытания.

Пириметамин и сульфадиазин большой обычно принимает в течение всего оставшегося ему срока жизни, чтобы предотвратить рецидивы. Однако вопрос о том, следует ли проводить первичное предупредительное

лечение, остается открытым. Многие врачи в США не решаются назначать потенциально токсичные препараты каждому зараженному HIV, принимая во внимание тот факт, что без профилактики не более 20% из них заболевают токсоплазмозом. Во Франции же, где токсоплазмоз более распространен, часто рекомендуется первичная профилактика. В Европе и США начаты исследования с целью оценить преимущества такого лечения.

НАИБОЛЕЕ частая бактериальная инфекция у взрослых больных СПИДом — инфекция *Mycobacterium avium* — в отличие от токсоплазмоза редко затрагивает мозг. Она поражает, однако, многие другие органы — легкие, печень, селезенку, лимфатические узлы, костный мозг, кишечник и кровь. Инфекция обычно приобретает диссеминированный характер.

Эти бактерии, близкородственные возбудителю туберкулеза *Mycobacterium tuberculosis*, присутствуют в окружающей среде повсюду — в пыли, почве, молочных продуктах, яйцах и мясе домашней птицы. Они, вероятно, попадают в организм с вдыхаемой пылью, взвешенными в воздухе каплями жидкости, с пищей и водой. Несмотря на повсеместное распространение, они редко вызывают заболевание, даже у тех людей, у которых иммунная система ослаблена по причинам, не связанным с инфекцией HIV.

Но среди больных СПИДом почти 50% к моменту своей смерти поражены обширной инфекцией микобактерий. У здоровых людей эти патогены вызывают сильный клеточный иммунный ответ. У больных СПИДом в тканях содержится огромное количество *M. avium*, но воспалительная реакция развивается лишь в очень незначительной степени.

При размножении микобактерий в организме могут наблюдаться неспецифические симптомы, которыми обычно сопровождается инфекционное заболевание, — лихорадка, потливость, потеря веса и утомляемость. Однако не установлено окончательно, что эти микроорганизмы действительно являются причиной таких симптомов, которые могут быть вызваны как HIV самим по себе, так и другими возбудителями (например, цитомегаловирусом), обычно заражающими больных СПИДом. Точно так же падение содержания в организме эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов, сопровождающее инфекцию *M. avium*, с одной стороны, может быть обусловлено поражением микобактериями костного мозга.

А с другой стороны, у некоторых больных обнаруживается громадное количество микобактерий во всем теле, но не наблюдается никаких признаков специфического нарушения функций тех или иных органов либо есть лишь незначительные отклонения.

Когда у человека проявляются симптомы болезни, ему должно быть назначено эффективное лечение. Однако главное средство против туберкулеза — изониазид — абсолютно не влияет на размножение *M. avium*. Было проверено множество иных препаратов. Некоторые из них, сами по себе или в комбинации друг с другом, ограничивали рост *M. avium* в культуре или у иммунодефицитных мышей. Среди препаратов, часто назначаемых при туберкулезе, есть такие, которые в определенной степени эффективны против *M. avium*. Это соединения, относящиеся к аминогликозидам (такие, как стрептомицин и амикацин), а также препараты группы рифамицина и этambutол. То же можно сказать о некоторых других antimicrobных лекарствах: ципрофлоксацине, имипенеме и клофазимине.

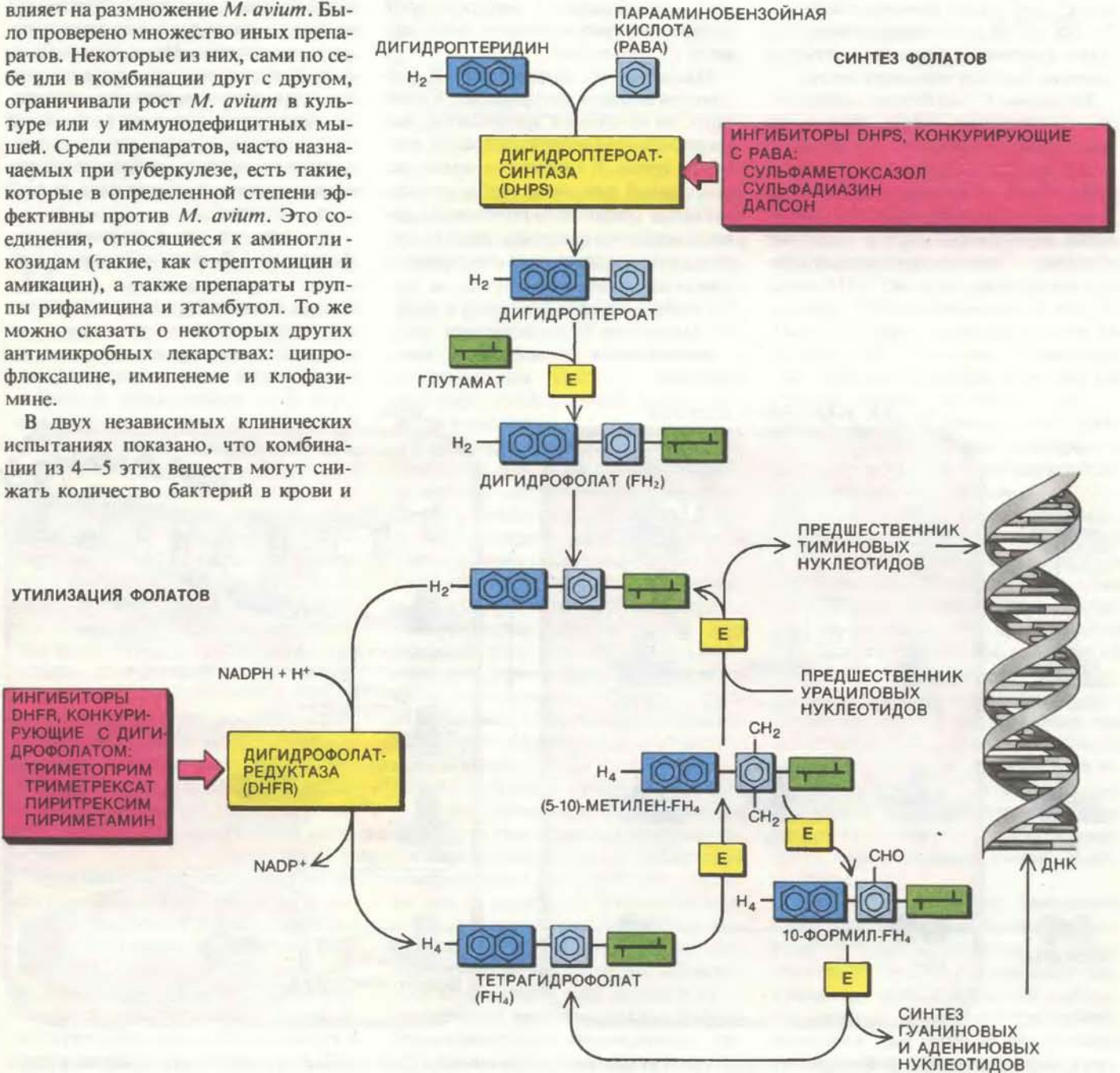
В двух независимых клинических испытаниях показано, что комбинации из 4—5 этих веществ могут снижать количество бактерий в крови и

ослаблять такие симптомы, как лихорадка. Если дальнейшие исследования подтвердят эти открытия, комбинации подобных препаратов можно будет использовать для первичной и вторичной профилактики.

В ПОИСКАХ методов борьбы с основными грибковыми и вирусными инфекциями, связанными со СПИДОМ, также достигнуты успехи.

Например, уже есть способ лечения криптококкового менингита, который развивается примерно у 20% больных СПИДОМ в США. Разрабатываются и дополнительные экспериментальные подходы.

Возбудителем криптококкового менингита являются дрожжи *Cryptococcus neoformans*. Этот микроорганизм очень сходен с грибом, вызывающим молочницу, но есть одно важное от-



МНОГИЕ ЛЕКАРСТВЕННЫЕ ПРЕПАРАТЫ, применяемые для лечения пневмонии, вызываемой *Pneumocystis carinii*, или токсоплазмоза, подавляют активность микробных ферментов дигидроптероатсинтазы (DHPS) и дигидрофолатредуктазы (DHFR), участвующих в синтезе и утилизации фолатов (производных фолиевой кислоты), необходимых для образования нуклеотидов, входящих в состав ДНК. Ингибиторы DHPS являются аналогами парааминобензойной кислоты (РАВА), компонента главного конечного продукта синтеза фолатов — дигидрофолатата. Связываясь с DHPS,

лекарственные соединения препятствуют взаимодействию фермента с РАВА и, следовательно, образованию связи между РАВА и дигидроптеридином, еще одной составной частью дигидрофолатата. Ингибиторы DHFR представляют собой аналоги дигидрофолатата. В результате конкурентного связывания с DHFR они препятствуют его превращению в ту форму, которая нужна для образования соединений, впрямую необходимых для синтеза нуклеотидов. (Буквой Е обозначены другие ферменты.)

личие: *C. neoformans* легче распространяется за пределы кожи и слизистых оболочек. Клетка *C. neoformans* имеет гладкий наружный покров, который препятствует поглощению её макрофагами и другими клетками иммунной системы, такими, как гранулоциты. Кроме того, благодаря этому покрову криптококки, все же поглощенные клетками иммунной системы, более устойчивы к разрушению внутриклеточными ферментами. Остается неизвестным, каким образом *C. neoformans* вызывает болезнь. До сих пор не идентифицированы никакие токсичные вещества, которые выделял бы этот микроорганизм.

Заражение *C. neoformans* начинается, по-видимому, через легкие, за пределы которых возбудитель не выходит при нормальной иммунной системе. Если же иммунная защита нарушена, возбудитель проникает в кровотоки и затем попадает в мозговые оболочки. Поражение мозговых обо-

лочек, которое может быть летальным, заявляет о себе сильными головными болями, ригидностью затылочных мышц и часто лихорадкой.

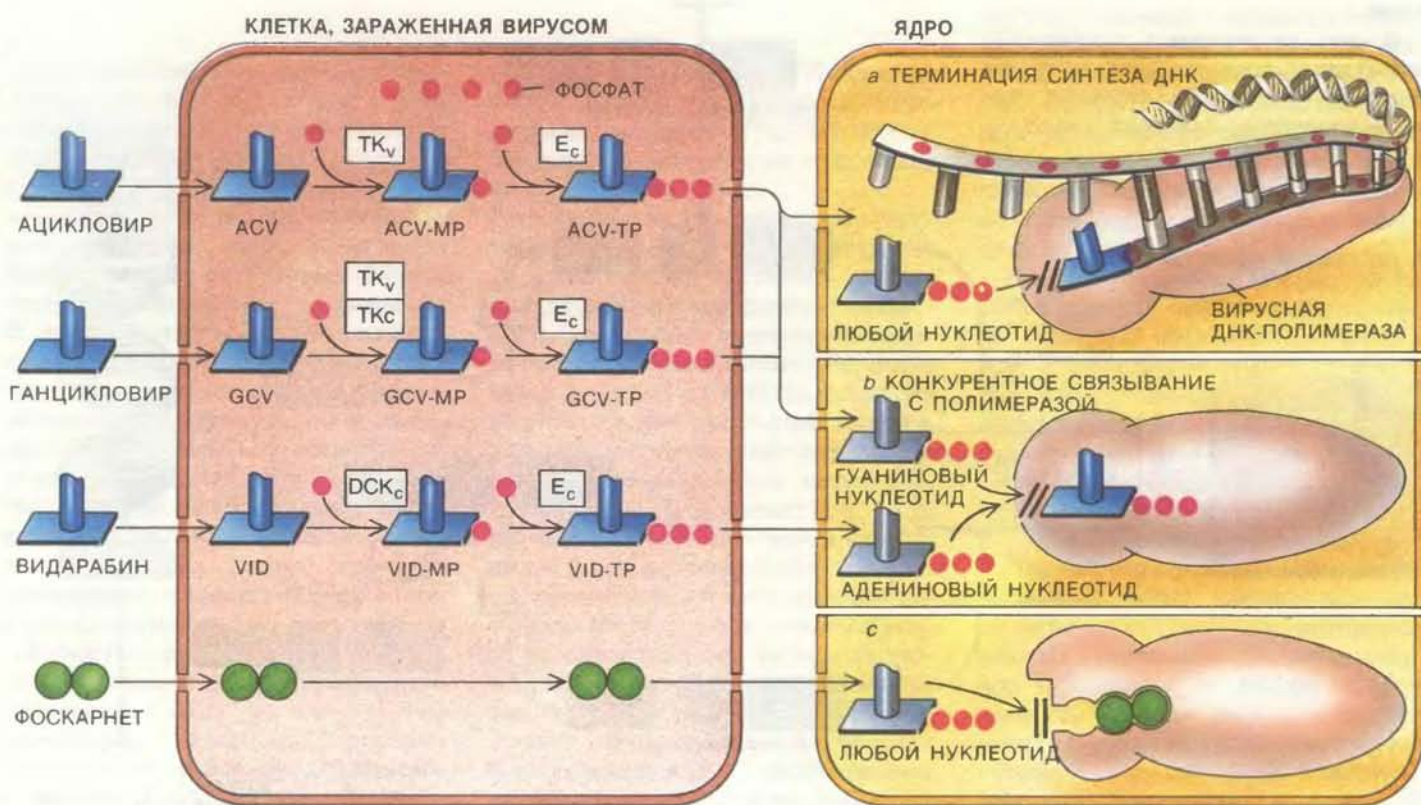
На протяжении последних 30 лет вплоть до сегодняшнего дня единственным способом лечения криптококкового менингита был амфотерицин В. Это соединение связывается с эргостеролом — подобным холестеролу веществом, характерным только для клеточной мембраны грибов. В результате эта мембрана разрушается, что приводит к невосполнимой потере внутриклеточного содержимого *C. neoformans*.

Плохо то, что амфотерицин В приходится вводить внутривенно. Кроме того, он разрушает эритроциты, вызывая анемию, и может вредно влиять на почки. К тому же носитель, необходимый для того, чтобы сделать активное соединение пригодным для внутривенного введения, часто вызывает сильные симптомы, напоминаю-

щие грипп: потрясающий озноб и высокую температуру. Даже после полного курса лечения около 20% больных СПИДом, пораженных криптококковым менингитом, обречены умереть от него.

Теоретически амфотерицин В потенциально может не только замедлять грибковые инфекции, но и ликвидировать их. Однако необходимые для этого высокие дозы, по всей вероятности, смертельны для человека, поэтому лекарство применяется в такой дозировке, при которой инфекция только подавляется, но не ликвидируется полностью. Из-за этого больные, которые выжили после первого приступа криптококкового менингита, на протяжении всей дальнейшей жизни должны подвергаться превентивному лечению: требуется внутривенно вводить амфотерицин В 1—2 раза в неделю.

Несомненно, такой заменитель амфотерицина В, который можно при-



ЛЕКАРСТВА ПРОТИВ ВИРУСОВ ГЕРПЕСА (слева) мешают вирусным ДНК-полимеразам строить ДНК из нуклеотидов. Эти ферменты в норме отщепляют две из трех фосфатных групп нуклеотида и затем присоединяют оставшийся нуклеотид к ОН-группе предыдущего нуклеотида растущей цепи ДНК. Ацикловир (ACV), ганцикловир (GCV) и видарабин (VID) фосфорилируются ферментами в зараженных вирусом клетках, после чего становятся похожи на настоящие нуклеотиды, содержащие три фосфатные группы (в середине); фоскарнет выступает как аналог дифосфатной группы, обычно отщепляемой от нуклеотидов полимеразой. Ацикловиртрифосфат может вызывать термина-

цию синтеза ДНК (справа; а): если он включается в растущую цепь ДНК, удлинение цепи прекращается, поскольку в нем нет ОН-группы, необходимой для присоединения следующего нуклеотида. Ацикловиртрифосфат, подобно фосфорилированным ганцикловир и видарабину, может также прочно связываться с ДНК-полимеразой, блокируя участок связывания нуклеотидов и тем самым препятствуя взаимодействию фермента с истинными нуклеотидами (б). Фоскарнет тоже блокирует этот участок (в). ТК — тимидинкиназа, DCK — дезоксицитидинкиназа, E — другие ферменты; индексом v обозначены вирусные ферменты, с — клеточные; MP — монофосфат; TP — трифосфат.

нимать через рот, был бы большим достижением для целей превентивной терапии. Наиболее перспективными в клинических испытаниях проявили себя препараты из группы противогрибковых соединений, называемых имидазолами, которые ингибируют синтез эргостерола. Два из этих агентов — итраконазол и флюконазол — представляются особенно ценными. Первые клинические испытания итраконазола показали, что по эффективности он близок к амфотерицину В, но менее токсичен. Анализ результатов недавно завершеного большого долгосрочного исследования позволяет считать, что и флюконазол так же эффективен, как амфотерицин В. На него уже получены лицензии во многих странах, в том числе в США. Сейчас изучается возможность применения этого соединения для превентивного лечения.

ПРЕПАРАТЫ, вводимые в организм через рот, очень нужны также для предупреждения и лечения цитомегаловирусной инфекции. Более половины американцев ко времени достижения зрелого возраста оказываются зараженными этим вирусом в результате половых контактов или же иного близкого общения с носителями инфекции, особенно при плохих гигиенических условиях.

У здоровых юных и взрослых людей цитомегаловирус может вызывать симптомы, которые напоминают мононуклеоз, но большинство зараженных и не подозревают о том, что являются носителями инфекции. Как и в случае всех герпесвирусов за начальной инфекцией у таких здоровых людей следует длительно скрытое состояние инфекции, при котором присутствие возбудителя не проявляется симптомами заболевания. У больных СПИДОМ содержание цитомегаловируса в крови и ряде других тканей может быть очень велико.

Функциональные расстройства при цитомегаловирусной инфекции обычно наблюдаются в органах зрения и желудочно-кишечном тракте. Примерно у 7% больных СПИДОМ возбудитель внедряется в фоторецепторные клетки — колбочки и палочки — сетчатки глаза, из-за чего те гибнут и зрение необратимо нарушается. Отмершие участки сетчатки, как правило, разрываются и отслаиваются, что сопровождается кровотечением. В результате человек может внезапно и полностью ослепнуть.

У 5% больных СПИДОМ цитомегаловирус поражает пищеварительный тракт на всей его протяженности от рта до прямой кишки; наиболее часто подвергаются его пагубному дейст-

вию пищевод и толстая кишка. В пищеводе образуются язвы, из-за чего глотание становится мучительным и появляются боли в области груди. Язвы в толстом кишечнике вызывают боли в брюшной области и расстройство пищеварения. В некоторых случаях неукротимое кровотечение в поврежденных участках пищевода или толстого кишечника может привести к смерти.

Существующие в настоящее время лекарства для лечения заболеваний, вызванных цитомегаловирусом, токсичны и вводятся внутривенно. Одно из них, ганцикловир, разрешено к применению в США и некоторых других странах. Другое, фоскарнет, пока находится в стадии экспериментальной проверки, но ожидается, что вскоре на него тоже будет дано официальное разрешение. Оба соединения избирательно ингибируют вирусный фермент ДНК-полимеразу, который играет ключевую роль в синтезе новых молекул ДНК из нуклеотидов и, таким образом, в репликации вируса. Но в других отношениях эти два препарата существенно различаются.

Ганцикловир, который эффективен против многих вирусов группы герпеса, представляет собой аналог нуклеозида гуанозина (предшественника гуанинового нуклеотида). Именно тем, что он имитирует гуанозин, объясняется его противовирусная активность: в зараженных вирусом клетках фосфат присоединяется к ганцикловиру, как если бы это соединение было гуанозином, и образуется ганцикловиртрифосфат, который конкурентно связывается с ДНК-полимеразой и инактивирует ее, блокируя присоединение нужных нуклеотидов. К сожалению, ганцикловир фосфорилируется в некоторой степени и в незараженных клетках, где он может влиять на активность человеческой ДНК-полимеразы.

Фоскарнет же — это аналог дифосфата, который ДНК-полимераза отщепляет от нуклеозидтрифосфатов, присоединяя нуклеотиды к растущей цепи ДНК. Он тоже связывается с вирусной ДНК-полимеразой и тем самым блокирует удлинение цепи вирусной ДНК. Фоскарнет активен против ДНК-полимеразы всех вирусов группы герпеса, которые заражают людей, и, кроме того, против ДНК-полимеразы (обратной транскриптазы) самого HIV. Против человеческого фермента он неактивен.

Мешая процессу репликации вируса, оба лекарства останавливают развитие цитомегаловирусного поражения сетчатки и, по-видимому, также распространение инфекции в организме. Но, поскольку эти препараты не убивают вирус, их нужно применять в течение долгого времени. Для вторичной профилактики ганцикловир и фоскарнет следует вводить один или более раз в сутки, для чего требуется вживление катетера, введенного в вену в грудной клетке. Хотя такой шунт делает возможным лечение, он в то же время подвергает больного опасности инфицирования тканей вокруг катетера.

Ганцикловир обладает еще одним недостатком: он токсически действует на лейкоциты, особенно на гранулоциты. В 10—20% случаев число гранулоцитов сокращается так сильно, что лечение приходится прерывать, поскольку при низком содержании этих клеток организм становится уязвимым для нередко смертельных бактериальных инфекций. А фоскарнет может вызывать обратимые почечную недостаточность, метаболические и неврологические нарушения.

При особо неблагоприятном течении цитомегаловирусной инфекции возбудитель может приобретать устойчивость к ганцикловиру. Это осложнение еще не стало широко рас-



пространственным явлением, но у нескольких больных, которые однажды проходили курс лечения ганцикловиром, впоследствии, при повторном введении того же препарата, не наблюдалось желаемого эффекта. Обнадеживает то, что при проверке в лабораторных экспериментах и первых клинических испытаниях устойчивые к ганцикловиру штаммы цитомегаловируса проявляли чувствительность к фоскарнету. Правда, *in vitro* получены мутанты цитомегаловируса, которые устойчивы также и к фоскарнету. Пока таких вариантов у больных не обнаружено, но, по-видимому, это вопрос только времени.

Из-за существования устойчивости возбудителя к лекарствам и проблем, связанных с внутривенным введением препаратов, срочно необходимы иные методы лечения. Мы имеем основания надеяться, что в ближайшее время будут найдены близкие к ганцикловиру препараты, пригодные для приема через рот. В ФРГ одно такое лекарство, обозначаемое НОЕ-602 (по названию фирмы-производителя — Hoechst), проверяется в клинических испытаниях. Это вещество хорошо всасывается в пищеварительном тракте и затем превращается в организме в ганцикловир.

Другой аналог нуклеозидов, ацикловир, также может оказаться полезным. Как и ганцикловир, он ингибирует вирусную ДНК-полимеразу. Ацикловир привлекателен тем, что он значительно менее токсичен, чем ганцикловир, и его можно принимать через рот. В то же время активность ацикловира против цитомегаловируса намного слабее, чем у ганцикловира. Тем не менее в больших дозах он может подавлять развитие цитомегаловирусной инфекции после пересадки органов или тканей. Возможно, он будет так же действовать у больных СПИДом.

Поиски лекарств, которые были бы менее токсичны, чем ганцикловир и фоскарнет, но столь же или более эффективно ингибировали вирусную ДНК-полимеразу, продолжаются. Одновременно исследователи пытаются получить соединения, которые действовали бы не на репликацию ДНК, а на другие вирусные активности, в надежде, что эти агенты будут эффективны против вирусов, устойчивых к ганцикловиру и фоскарнету.

В ПРОТИВОПОЛОЖНОСТЬ цитомегаловирусу два других вируса группы герпеса, имеющие значение при СПИДе, — простой герпес типа 1 и простой герпес типа 2 — вызывают рецидивирующую инфекцию у многих иммунологически нормальных лю-

дей. Чаще всего при этом возникают сухие болячки вокруг рта, которые проходят без лечения (тип 1), и рецидивирующие язвы гениталиев (тип 2). При инфекции HIV эти поражения не проходят сами по себе, а имеют тенденцию не заживать и постепенно все больше распространяться. Если они возникают во рту или в прямой кишке, то мешают принимать пищу и опорожнять кишечник.

Хотя ацикловир не очень эффективен против цитомегаловируса, он служит отличным средством против вирусов простого герпеса. Даже у больных с обширными поражениями заметное улучшение наступает уже через несколько недель. К сожалению, вирусы простого герпеса, похоже, быстро приобретают устойчивость к этому лекарству.

Большинство устойчивых к ацикловиру штаммов защищены от его действия благодаря тому, что не образуют в значительном количестве фермента, называемого тимидинкиназой. Вирусный фермент фосфорилирует ацикловир, что необходимо для проявления активности всех препаратов — аналогов нуклеозидов. Но у вирусов простого герпеса киназа не играет большой роли в репликации, так как они обладают механизмами, компенсирующими отсутствие этого фермента.

Возможная стратегия борьбы со штаммами герпесвирусов, не имеющих тимидинкиназы, — использование аналога нуклеозидов, который может фосфорилироваться человеческими ферментами в зараженных клетках. К таким лекарствам относится видарабин, который вот уже более 10 лет применяется для лечения жизненно опасных инфекций, вызываемых вирусами простого герпеса, и вирусом — возбудителем ветряной оспы и опоясывающего лишая. По крайней мере, при проверке в лаборатории у многих устойчивых к ацикловиру штаммов вируса простого герпеса обнаружилась чувствительность к видарабину. Это позволяет предполагать, что видарабин может помогать в тех случаях, когда ацикловир неэффективен. Правда, видарабин нужно вводить внутривенно.

Можно было бы использовать и фоскарнет, поскольку он не должен фосфорилироваться для того, чтобы стать активным; лабораторные и предварительные клинические испытания в этом смысле обнадеживают. Однако уже появились и сообщения о штаммах вируса простого герпеса, устойчивых к фоскарнету.

ПРОБЛЕМА борьбы со штаммами вирусов, обладающих устойчивостью к лекарственным препаратам, создает много трудностей. Для каждой из основных оппортунистических инфекций, поражающих больных СПИДом, нужны эффективные и разнообразие методы. Кроме того, требуются простые в применении, нетоксичные и недорогие лекарства для профилактики. В противном случае вместо тех инфекций, против которых есть действенные средства, придется бороться с неподдающимися лечению инфекциями и другими связанными с заражением HIV нарушениями, в том числе некоторыми опухлями.

Необходимы также методы лечения более редких оппортунистических инфекций — таких, как поражение паразитическим микроорганизмом криптоспоридиумом, вызывающим диарею, — и инфекций локального географического распространения, примерами которых могут служить диссеминированные грибковые инфекции гистоплазмоз (встречается главным образом в центральных областях США, особенно в долине реки Миссисипи, а также еще в ряде районов земного шара) и кокцидиоидомикоз (распространен на юго-западе США, в Центральной и Южной Америке).

Конечно, поиски новых методов лечения далеки от завершения. Тем не менее радостно видеть, как растет понимание того, что связанные с HIV оппортунистические инфекции должны быть главной целью при разработке лекарств и исследованиях. Всякое достижение здесь внесет значительные изменения в жизнь тех, кто день за днем подвергается прямому и косвенному действию смертоносного вируса СПИДа.

Наука и общество

Новое поколение солнечных батарей

СПЕЦИАЛИСТЫ из фирмы Sanyo, вероятно, «заказали» солнечную погоду для запланированных на 1 июля испытаний нового самолета с пи-

танием двигателя электроэнергией от солнечных батарей. Перелет через всю страну — из Сан-Диего в Китти-Хок — был предпринят с целью рекламы легких и гибких солнечных элементов, изготавливаемых по новой технологии компанией Sanyo.

По словам Й. Киси, генерального директора Центра по разработке функциональных материалов в Осаке, Sanyo намеревается внедрить эти солнечные батареи во многие потребительские товары, начав с портативных блоков питания, которые, возможно, появятся в продаже уже через один-два года. пляжные зонтики, палаточные тенты, паруса спортивных лодок и даже верхняя одежда — все это можно превратить в генераторы электроэнергии.

Новые солнечные батареи изготавливаются из аморфного (некристаллического) кремния, менее дорогого, но, правда, и обладающего меньшим КПД в отличие от батарей, составленных из отдельных ячеек, вырезанных из монокристаллов кремния. До настоящего времени кремниевые покрытия, способные превращать световую энергию в электрическую, наносились на жесткую и тяжелую основу из стекла, нержавеющей стали или толстой пластмассы. Такие батареи используются главным образом в маломощных карманных калькуляторах и наручных часах. Новая технология предусматривает нанесение кремния на обе стороны гибкой пластмассовой пленки, которая затем заключается между двумя другими слоями пластмассы для предохранения от повреждения. В результате получается гибкий и легкий солнечный элемент.

Хотя специалисты Sanyo утверждают, что, разрабатывая новую технологию, фирма не нарушает ничьих авторских прав, полной уверенности в этом все же нет. Заслуга в проведении первых исследовательских работ, связанных с получением и применением аморфного кремния, принадлежит С. Овшинскому, основателю компании Energy Conversion Devices (ECD) в Трое (шт. Мичиган). ECD и ее дочерняя компания Sovonics Solar Systems являются держателями 128 патентов по аморфному кремнию и методам его получения. Кроме того, уже в течение последних 4 лет Sovonics разрабатывает гибкие солнечные батареи толщиной, равной примерно толщине двух сложенных пластиковых пакетов для мусора. Сотрудники компании утверждают, что они проявляют интерес и изучают работы, проводимые фирмой Sanyo.

Но искусство маркетинга компании Sovonics пока не достигает уровня ее технологии: в течение 30 лет работы в этой области она (впрочем, как и сама ECD) не получила ни одного доллара прибыли. Ее «гибкая продукция» еще далека от завоевания коммерческого успеха. Вместо того чтобы ориентировать свои разработки на потребительский рынок, Sovonics решила

продать их аэрокосмическим компаниям и затребовать цену с надбавкой в 100—200 долл. за каждый ватт. Пока что Sanyo продала только одну партию тонких золотых листов Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса. ECD же надеется, что их последнее совместное предприятие с японской компанией Canon, Inc., организованное в день испытательного полета планера фирмы Sanyo, поможет ей обрести конкурентоспособность на рынке.

Чтобы достичь успеха, обеим компаниям придется выбирать применения своим разработкам с особой тщательностью. Батареи из аморфного кремния не отличаются высокой эффективностью преобразования световой энергии в электрическую. Кроме того, воздействие света приводит к снижению КПД материала на 10% за первую неделю использования и еще на 5% в течение последующего месяца. Сотрудники фирмы Sanyo утверждают, что КПД гибких батарей в их самолете равен 4% (для сравнения: КПД кристаллических кремниевых батарей составляет 20%). Лучшая продукция фирмы Sovonics, как утверждают ее специалисты, имеет КПД 5,5—6%. Так что хотя новые батареи весьма легкие, для генерирования адекватной энергии потребуется большая площадь. Планер компании Sanyo весом 90 кг имеет размах крыльев 17,5 м, которые «покрыты» солнечными батареями общей мощностью 2 кВт, необходимой для поддержания крейсерской скорости полета 64—160 км/ч.

По словам Б. Стаффорда, сотрудника Исследовательского института солнечной энергии, потребителей не интересует величина КПД: «Их больше интересует мощность. Если она достаточно высока — отлично». И специалисты Sanyo соглашаются с этим: они убеждены, что смогут найти достаточно широкую сферу применения своим разработкам в различных областях даже при меньших КПД.

Другим потенциальным препятствием на пути к коммерциализации солнечных батарей является их износостойкость. «Никто не оставляет калькулятор под грозовым ливнем, но когда он перестает работать, его просто выбрасывают и покупают новый. Но если иметь дело с более дорогим изделием, то желательно, чтобы оно служило дольше. А это требует большой работы инженерной мысли», — говорит Стаффорд. Специалисты Sanyo утверждают, что их продукция прекрасно работает в диапазоне температур от -40 до $+100^{\circ}\text{C}$, но неизвестно, как она покажет себя при длительных температурных воздействиях.

Sanyo все же надеется, что страте-



САМОЛЕТ компании Sanyo, приводимый в движение легкими гибкими солнечными батареями.

гия, которая обеспечила успех ее первому поколению жестких солнечных батарей, проявившийся в массовом сбыте недорогих потребительских товаров, сработает и на этот раз. Если более высокий объем выпуска позволит снизить цены на продукцию компании, она сможет расширить сферу применения солнечных батарей нового типа. Батареи из аморфного кремния еще найдут свое место под солнцем. И не исключено, что именно благодаря их гибкости.

НАПОМИНАЕМ АДРЕСА МАГАЗИНОВ — ОПОРНЫХ ПУНКТОВ ИЗДАТЕЛЬСТВА «МИР»

634034 Томск,
ул. Нахимова, 15/1,
магазин № 15

454080 Челябинск,
просп. Ленина, 68,
«Дом книги»

720021 Фрунзе,
ул. Советская, 125,
магазин № 11
«Научно-техническая книга»

125315 Москва,
Ленинградский просп., 78,
магазин № 19 «Мир»



Язык фракталов

Эти необычайно изящные структуры — не просто математическая забава. Фрактальная геометрия четко описывает сложные природные объекты и процессы

ХАРТМУТ ЮРГЕНС, ХАЙНЦ-ОТТО ПАЙТГЕН, ДИТМАР ЗАУПЕ

«Природа сыграла злую шутку с математиками. Ученым XIX в, возможно, не хватало воображения, зато у природы его было достаточно. Те патологические структуры, которые были изобретены математиками, желавшими оторваться от свойственного XIX в. натурализма, оказались основой множества хорошо знакомых, повсюду нас окружающих объектов».

Из статьи Ф. Дайсона «Анализ неупорядоченных структур», опубликованной в журнале "Science" в мае 1978 г.

ПАТОЛОГИЧЕСКИЕ структуры», придуманные математиками прошлого столетия, в последние годы приняли форму фракталов, — математических объектов, имеющих дробную размерность в отличие от традиционных геометрических фигур целой размерности (например, одномерных линий или двумерных поверхностей). Нынешнее увлечение фракталами в основном является следствием работы Бенуа Б. Мандельброта, сотрудника Исследовательского центра имени Томаса Дж. Уотсона корпорации IBM в Йорктаун-Хейтсе (шт. Нью-Йорк). Термин «фрактал» был введен Мандельбротом в 1975 г.; он происходит от латинского слова fractus, прилагательного от глагола frangere, что значит «ломать, разбивать». Понятие фракталов ворвалось в сознание математиков, других ученых и даже людей, не связанных с наукой, в 1983 г., когда была опубликована основополагающая книга Мандельброта «Фрактальная геометрия природы».

Фракталы — это нечто гораздо большее, чем математический курьез. Они дают чрезвычайно компактный способ описания объектов и процессов. Многие структуры обладают фундаментальным свойством геометрической регулярности, известной как инвариантность по отношению к масштабу, или «самоподобие». Если рассматривать эти объекты в различном масштабе, то постоянно обнаруживаются одни и те же фундаментальные элементы. Эти повторяющиеся зако-

номерности определяют дробную, или фрактальную, размерность структуры. Фрактальная геометрия описывает природные формы, по-видимому, изящнее и точнее, чем евклидова геометрия.

Инвариантность по отношению к масштабу имеет примечательную параллель в современной теории хаоса, согласно которой многие явления, несмотря на то, что они следуют четким детерминистским правилам, в принципе оказываются непредсказуемыми. Хаотические явления, такие, как турбулентность атмосферы или ритм сердечных сокращений у человека, проявляют сходные закономерности в вариациях в различных временных масштабах во многом подобно тому, как объекты, обладающие инвариантностью к масштабу, проявляют сходные структурные закономерности в различных пространственных масштабах. Соответствие между фракталами и хаосом не случайно. Скорее оно является симптомом их глубинной связи: фрактальная геометрия — это геометрия хаоса.

Еще одна параллель между фрактальной геометрией и теорией хаоса заключается в том, что последние открытия в той и другой области стали возможными благодаря мощным современным компьютерам. Этот факт противоречит традиционным математическим представлениям. В то время как многие математики встретили приход компьютеров с энтузиазмом и чувством облегчения, другие рассматривают компьютеризацию как отрицание чистой математики.

ТРЕХМЕРНОЕ представление множества Мандельброта используется для изучения этой сложнейшей и интереснейшей фрактальной структуры. На рисунке показан электрический потенциал, окружающий заряженное множество Мандельброта. Странное сходство между множеством Мандельброта и свойствами реального мира показывает, что в природе доминируют фракталоподобные структуры. Изображение взято с видеоленты компьютерного фильма, полученного авторами и их коллегами.

ФРАКТАЛЫ — это прежде всего язык геометрии. Однако их главные элементы недоступны непосредственному наблюдению. В этом отношении они принципиально отличаются от привычных объектов евклидовой геометрии, таких, как прямая линия или окружность. Фракталы выражаются не в первичных геометрических формах, а в алгоритмах,



наборах математических процедур. Эти алгоритмы трансформируются в геометрические формы с помощью компьютера. Репертуар алгоритмических элементов неисчерпаем. Овладев языком фракталов, можно описать форму облака так же четко и просто, как архитектор описывает здание с помощью чертежей, в которых применяется язык традиционной геометрии.

Язык — это очень подходящая метафора для концепции, лежащей в основе фрактальной геометрии. Как известно, индо-европейские языки базируются на алфавите с конечным числом букв (например английском, включающем 26 букв). Буквы не несут в себе никакого смыслового значения до тех пор, пока они не соединены в слова. Точно так же евклидова геометрия состоит лишь из нескольких элементов (прямая, окружность и

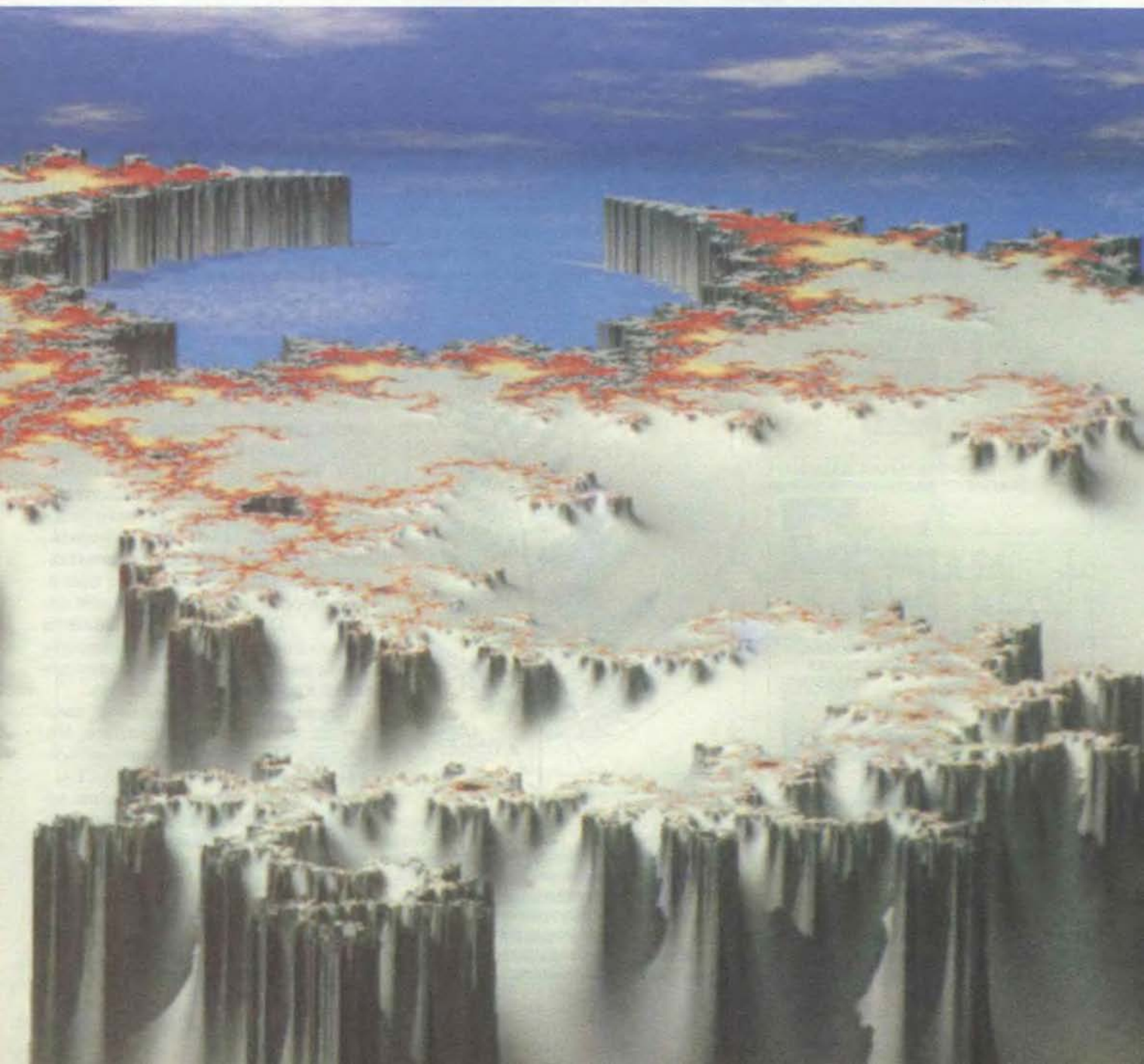
т. д.), из которых строятся сложные объекты, геометрически выражающие некий смысл.

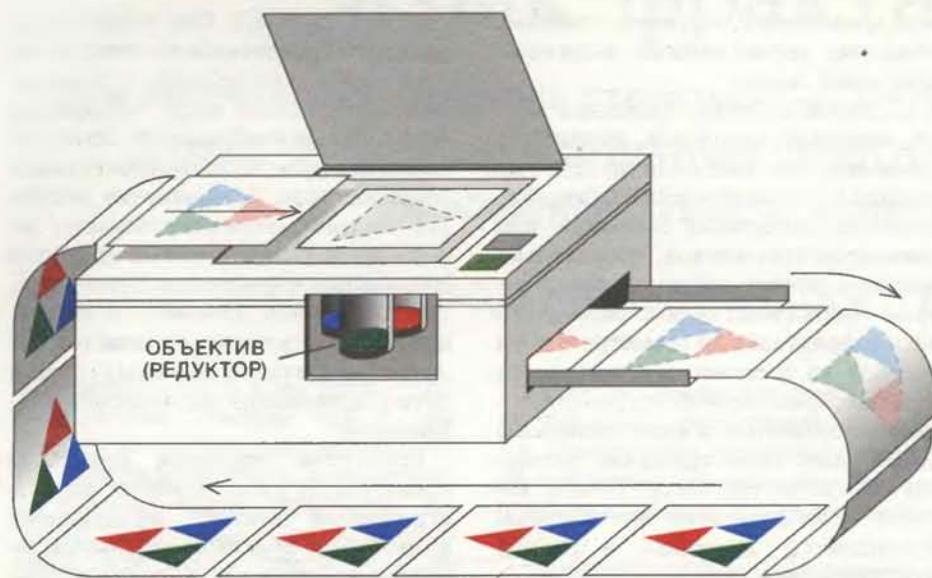
С другой стороны, азиатские языки, например китайский, состоят из символов, которые сами по себе уже выражают смысловое значение. Количество возможных символов, или элементов этих языков, произвольно велико и может считаться бесконечным. Аналогично можно рассматривать и фрактальную геометрию. Она состоит из бесконечного количества элементов, каждый из которых является завершенным и единственным в своем роде. Геометрические элементы определяются алгоритмами, которые функционируют как единицы «смыслового значения» в рамках фрактального языка.

СУЩЕСТВУЮТ две основные группы фрактальных языков: линей-

ные и нелинейные. Оба диалекта используют бесконечное количество алгоритмов и, следовательно, охватывают бесконечное число возможных фрактальных изображений. Язык нелинейных фракталов гораздо богаче и разнообразнее. Большинство диалектов следует детерминированному набору правил (аналогичных правилам грамматики и фонетики). Одно семейство фракталов, называемых случайными фракталами, отличается от других тем, что его объекты строятся путем применения управляемой случайности.

Геометрия линейных фракталов представляет собой наиболее распространенный диалект фрактальных языков. Эти фракталы считаются линейными, потому что их алгоритмы аналогичны по форме тем алгоритмам, которые определяют линии на плоскости (на математическом языке





КОПИРОВАЛЬНАЯ МАШИНА с механизмом многократного уменьшения, работающая в режиме обратной связи, создает фрактальную структуру. Несколько линз, имеющихся в машине, преобразуют исходное изображение (поступающее на вход) в новое изображение (на выходе), которое представляет собой уменьшенное изображение того, что было заложено на вход. С выхода изображение вновь поступает на вход — и так до бесконечности, пока не получится окончательное изображение.

это означает, что они содержат лишь члены первого порядка.)

Линейный алгоритм можно исследовать с помощью воображаемой копирующей машины со многими редукторами (см. рисунок сверху), способными многократно уменьшать исходное изображение. Такая машина является метафорическим выражени-

ем блестящей работы, выполненной Дж. Хатчинсоном, математиком из Австралийского национального университета в Канберре. Эта машина действует так же, как и обыкновенная копирующая машина, обладающая возможностью уменьшать или увеличивать изображение, но отличается тем, что имеет несколько уменьшаю-



СЕТЕВАЯ КОПИРОВАЛЬНАЯ МАШИНА может строить составные фрактальные изображения, такие, как папоротник, состоящий из треугольников Серпинского. Несколько машин соединены в систему и работают параллельно: первая создает треугольники Серпинского, вторая располагает треугольники в листья, а третья строит общую форму папоротника (слева). Отметим, что листья попеременно ответвляются от главного стебля то влево, то вправо; треугольники на листьях ориентированы в противоположных направлениях (справа).

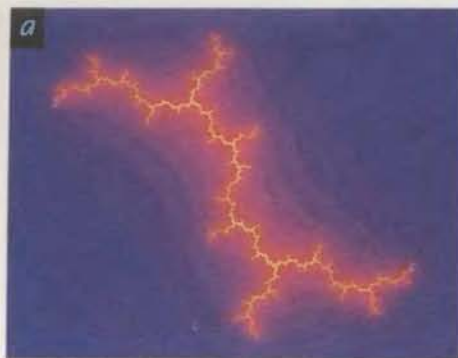
щих линз, каждая из которых может копировать вводимое в машину изображение. Линзы могут настраиваться на различную степень уменьшения, и уменьшенные изображения могут помещаться в любое место. Таким образом, изображение может перемещаться, сжиматься, отражаться, вращаться и трансформироваться произвольным образом при условии, что прямые линии на изображении остаются прямыми после преобразования.

Способ, которым изображение перемещается и сжимается, определен алгоритмом. С помощью механизма обратной связи изображение подвергается многократной обработке, в процессе которой постепенно возникает фрактальная форма. Одним из примеров фрактала, полученного при помощи такого алгоритма с обратной связью (рекурсивного алгоритма), является треугольник Серпинского, названный в честь польского математика Вацлава Серпинского, который впервые описал его в 1916 г. Треугольник Серпинского обладает свойством самоподобия: каждая часть фигуры, сколь бы малой она ни была, содержит изображение, которое в увеличенном виде воспроизводит целый треугольник Серпинского.

Треугольник Серпинского строится копирующей машиной со многими редукторами следующим образом. Изображение помещается в машину, уменьшается наполовину и копируется три раза, по одной копии в каждой вершине равностороннего треугольника. В результате получается триада. При повторении описанной процедуры триада, полученная на предыдущем шаге, снова уменьшается наполовину и копируется три раза и т. д. Уже после шести копирований, или итераций, начинает проступать окончательная форма, которая называется предельным изображением, поскольку оно является окончательным результатом бесконечно повторяющегося цикла копирующей машины. Предельное изображение можно довольно быстро определить путем оценки, но его невозможно достичь в рамках самого процесса.

Предельное изображение не зависит от исходного изображения. Например, в качестве исходного изображения можно взять слово **FRACTAL**. После шести шагов копирования исходное изображение станет уже практически невидимым, но зато в явном виде начнет обнаруживаться форма треугольника Серпинского. С каждым новым циклом копирования первоначальное слово **FRACTAL** будет все более неразборчивым.

При небольшой перенастройке ко-



МНОЖЕСТВА ЖЮЛИА — это фрактальные границы, возникающие в результате итерирования квадратичного преобразования $z^2 + c$. Они принимают разнообразные и уди-

вительные формы, которые зависят только от числа c , называемого управляющим параметром. Некоторые значения c порождают множества Жюлиа, имеющие одно связ-

пировальной машины можно получить принципиально другие предельные изображения: фрактальное дерево или фрактал в форме листа папоротника (см. рисунок на с. 39). Предельное изображение зависит лишь от правил сжатия и переноса (т. е. от алгоритма), запрограммированных в машине.

Эти правила представляют собой частный случай общего понятия, называемого математическими аффинными линейными преобразованиями на плоскости. Эти преобразования сохраняют прямые линии, но изменяют их положение, масштаб и общую ориентацию. Правила линейного диалекта фрактального языка можно полностью описать некоторым числом (n) функций преобразования, обозначаемых как $\{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ (см. верхний рисунок на с. 39).

Здесь кроются богатые практические возможности фрактальной геометрии. Описывая объекты посредством линейного фрактального диалекта, мы можем значительно уменьшить количество данных, необходимых для передачи изображения по линиям связи или для хранения его в памяти компьютера. Это было убедительно продемонстрировано на примере листа папоротника. Сложная форма, подобная форме этого листа, может быть полностью описана линейным алгоритмом, основанным лишь на 24 числовых параметрах. За-

метим, что представление того же листа в точечном виде, как телевизионное изображение, требует несколько сотен тысяч числовых величин. В принципе любое изображение кодируется при помощи необходимого набора функций преобразования.

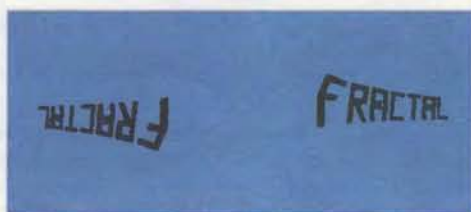
При передаче спутниковых изображений на землю время передачи, сложность сигнала и стоимость можно значительно снизить за счет кодирования этих изображений с помощью фрактальных алгоритмов. Эта перспектива ставит перед специалистами исключительно важную и до сих пор в основном не решенную задачу. Каким образом найти минимальное семейство функций преобразования $\{f_1, \dots, f_n\}$, необходимых для того, чтобы представить изображение с желаемой точностью? Эта задача в настоящее время является предметом интенсивных исследований. Среди более общих приложений описанных процедур преобразования можно отметить создание полутоновых или даже цветных изображений.

КОДИРОВАНИЕ с помощью фрактальных изображений оправдано лишь в том случае, когда существует эффективный метод «извлечения» изображения, скрытого во фрактальных алгоритмах. На примере фрактального папоротника можно всесторонне проанализировать, каким образом получается изображение. Пра-

вила копировальной машины для этого фрактала указывают, что в результате каждого преобразования должно быть четыре редукции и четыре перемещения предшествующего изображения. Одно преобразование осуществляет особенно резкую редукцию, в результате которой изображение сжимается в вертикальную линию; эта линия образует стебель.

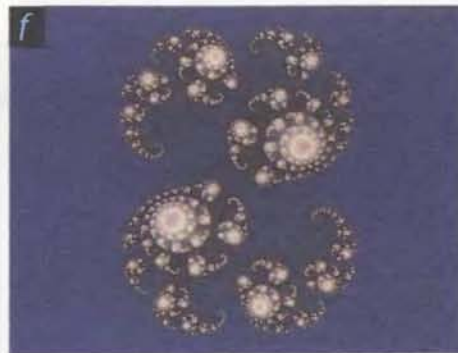
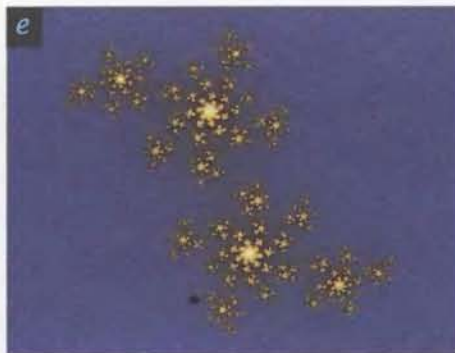
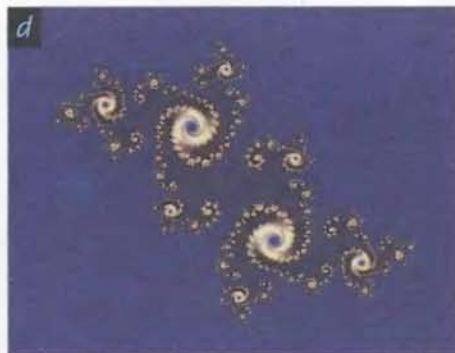
Если начать с одного прямоугольника, то на каждом шаге копирования число прямоугольников будет возрастать в четыре раза, всего же после m преобразований их окажется 4^m . После четырех итераций исходное изображение (в данном случае прямоугольник) еще легко различимо. Для того чтобы прямоугольник стал достаточно мал и чтобы выявилась предельная форма изображения (лист папоротника), нужно произвести приблизительно 50 итераций, а следовательно, вычислить и нарисовать 4^{50} (приблизительно 10^{30}) прямоугольников. Эта задача не под силу любому существующему компьютеру.

Перед лицом этих трудностей возникает вопрос, каким же образом можно воспроизвести предельные изображения? Трюк, при помощи которого это оказывается возможным, основан на алгоритме, называемом игрой в хаос и придуманным М. Барнсли и С. Демко из Технологического института в шт. Джорджия. Эта игра начинается с выбора произ-



НЕЛИНЕЙНЫЕ ФРАКТАЛЫ, такие, как множества Жюлиа, также могут быть построены с помощью копировальной машины с многократным уменьшением. Линзы в этом слу-

чае не просто уменьшают изображение, а искажают его, дробят и переносят. Две системы линз графически обрабатывают квадратичное преобразование, которым определяет-



ное тело (слева), при других значениях s эти множества распадаются на фрагменты и рассыпаются подобно пылинкам (справа). Множество Мандельброта состоит из

всех точек s , которые ассоциируются со связными множествами Жюлиа; оно служит также «оглавлением» для множеств Жюлиа.

вольной точки на плоскости. Затем мы бросаем четырехстороннюю игральную кость. Каждая ее сторона соответствует одному из четырех преобразований, задающих форму листа. При этом мы случайным образом выбираем одно из преобразований $\{f_1, f_2, f_3, f_4\}$, которое затем применяется к выбранной точке на плоскости, перемещая ее на новое место. Бросив кость еще раз, мы выбираем следующее преобразование, которое применяется к точке, полученной на предыдущем шаге, и т. д. Точки, получаемые в результате последовательных бросаний кости, вскоре начинают плотно ложиться на плоскость, заполняя предельное изображение. Недостаток этого метода заключается в том, что для построения окончательного изображения может потребоваться слишком много времени.

В приведенном примере бросание кости обеспечивало равные вероятности для каждой функции f_k (k обозначает одну из возможных функций). Предельное изображение можно построить значительно быстрее, если каждой f_k поставить в соответствие вероятность P_k , с которой она будет выпадать в нашей игре, и таким образом одни функции f_k станут более вероятными, чем другие. Процесс построения картинки ускоряется, если наиболее высокие вероятности поставить в соответствие функциям, кото-

рые меньше всего сжимают изображение. Благодаря этой поправке точки будут покрывать каждую область предельного изображения с одинаковой частотой, и в результате все фрагменты изображения будут проявляться одинаково быстро.

Подобная коррекция нашей «игры в хаос» позволяет описывать полутона, просто связывая частоту, с которой заданная область покрывается точками, с интенсивностью серого оттенка. При соответствующем подборе P_k желаемый оттенок серого цвета (другими словами, желаемую частоту попаданий точек) можно получить для каждой точки изображения. Применяя тот же метод для основных цветов (красного, зеленого и синего), можно кодировать цветные изображения. Таким образом достигается еще большее снижение количества данных, представляющих фрактальное изображение.

Удовлетворительный метод автоматической генерации фрактального кодирования произвольного изображения пока не найден. Для самоподобных изображений, таких, как папоротник Барнсли, существует полуавтоматическая процедура, предусматривающая взаимодействие человека и машины. Сначала человек разбивает изображение на части, подобные всему изображению. В случае папоротникового листа два нижних лепестка, а также верхняя часть листа,

остающаяся после удаления нижних лепестков, оказываются подобными общей форме листа. Можно сконструировать копировальную машину со многими редукторами, в которую были бы встроены преобразования, сводящие все изображение к этим фрагментам. Это нетрудно сделать методом проб и ошибок, работая с компьютерной программой в интерактивном режиме.

Идея, лежащая в основе метода, заключается в том, что только самоподобные изображения могут кодироваться во фрактальной форме. Это ограничение можно преодолеть за счет многообещающего расширения метода, над которым в настоящее время ведется работа. Центральная идея расширения заключается в использовании нескольких копировальных машин, работающих одновременно, в параллель, в рамках иерархической сети. Такого рода сеть может управлять индивидуальными самоподобными фрагментами или комбинировать несколько фрагментов. Например, становится возможным создавать папоротниковый лист, состоящий из треугольников Серпиньского (см. рисунок на с. 38).

ТЕПЕРЬ обратимся к другому семейству фрактальных языков, их нелинейным диалектам. Один из них, так называемый квадратичный диалект, привлекает к себе особое внима-



ся множество Жюлиа. На каждом шаге изображение изменяется двумя преобразованиями $+ (z - c)^{1/2}$ и $- (z - c)^{1/2}$,

обратными к $z^2 + c$. Предельное изображение, выдаваемое копировальной машиной, — это множество Жюлиа.

ние. Он порождает большое разнообразие геометрических форм с помощью довольно простого алгоритма, тесно связанного с современной теорией хаоса.

Теория, лежащая в основе квадратичного диалекта, впервые была описана в 1918 г. французским математиком Гастоном Жюлиа, находившимся тогда в госпитале после ранений, полученных на фронте во время первой мировой войны. Как его работа, так и работа его современника и соперника Пьера Фату вскоре были преданы забвению, однако недавние исследования Мандельброта вновь привлекли внимание к их теории. Интеллектуальные достижения Жюлиа и Фату примечательны тем, что в их распоряжении не было вычислительных машин и им всецело приходилось полагаться на воображение.

Жюлиа и Фату занимались изучением комплексных чисел; как известно, комплексное число состоит из действительного числа и мнимой части, содержащей в качестве множителя мнимую единицу i , определяемую как квадратный корень из -1 . Комплексные числа обычно отображаются на плоскости с перпендикулярными координатными осями, одна из которых представляет действительные числа, а другая мнимые. Обоим ученых интересовал вопрос, что будет с последовательностью точек z_k на комплексной плоскости, если они порождаются преобразованием $q(z) = z^2 + c$. Каждая новая точка z_{k+1} получается подставлением предыдущей

точки z_k в приведенную формулу преобразования. Комплексное число c является управляющим параметром, который можно выбирать произвольным образом. Казалось бы несложный процесс с обратной связью порождает потрясающее многообразие форм.

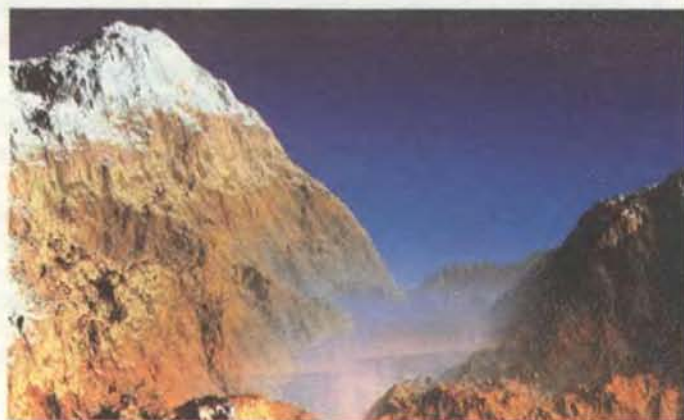
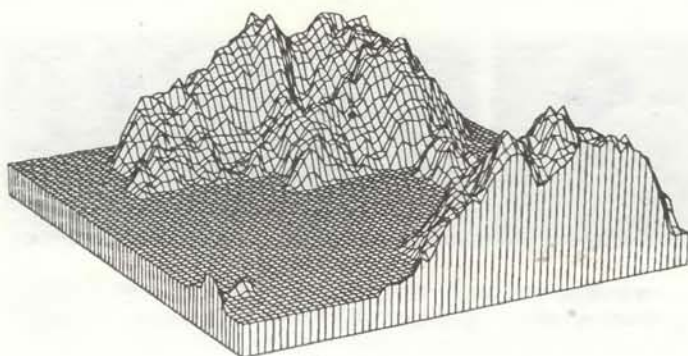
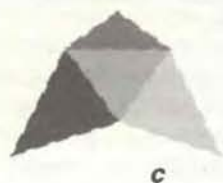
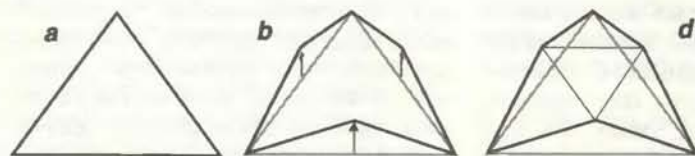
Когда исходная точка z_0 подвергается преобразованию, то получающаяся последовательность демонстрирует поведение двух типов. Она либо свободно путешествует по плоскости, постепенно уходя в бесконечность, либо оказывается замкнутой в определенной области комплексной плоскости. Первые из них образуют множество «беглецов», те же, что остаются в замкнутом пространстве, принадлежат множеству «пленников». Исходная точка z_0 , выбранная из множества пленников, генерирует последовательность, которая остается в численной неволе, независимо от того, сколько поколений этой последовательности вычисляется. Форма этой «тюрьмы» зависит от выбранного значения параметра c . Для точки z_0 , лежащей вне замкнутой области, последовательность z_k удаляется от центра плоскости и уходит в бесконечность. Множество пленников и множество беглецов отделены друг от друга бесконечно тонкой границей, известной как множество Жюлиа (см. рисунок сверху на с. 40 и 41).

Удивительно, что множество Жюлиа можно получить с помощью копировальной машины с редукторами многократного уменьшения, если снабдить ее специальными линзами,

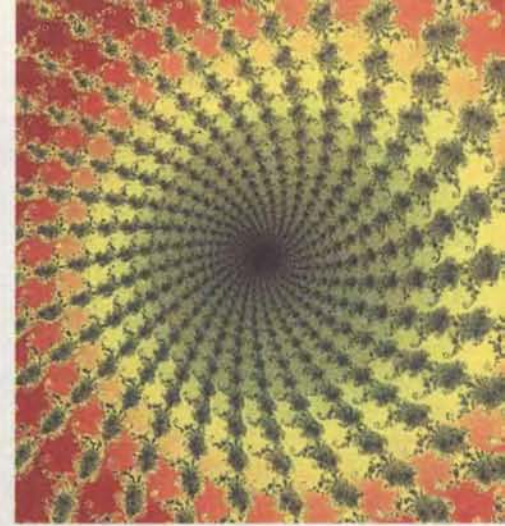
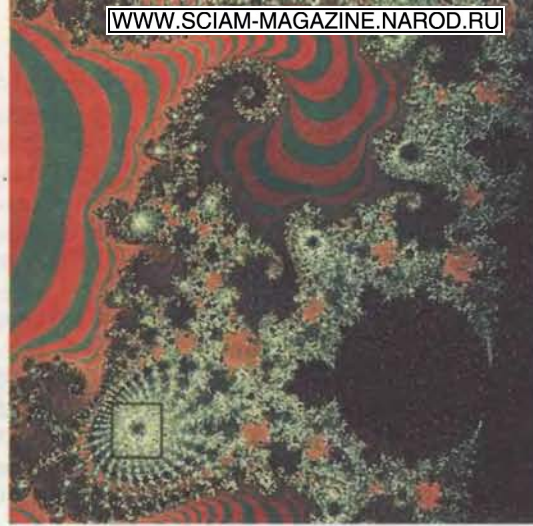
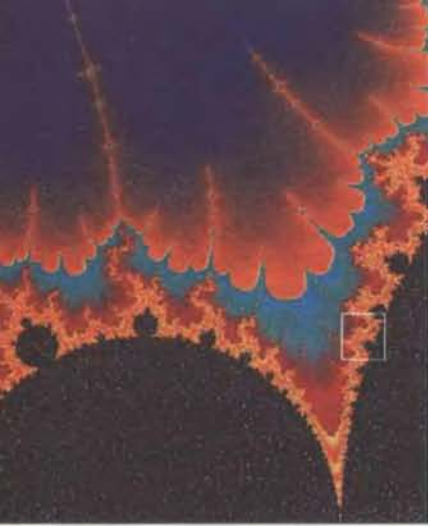
производящими преобразование, обратное $g(z)$. Обращение $g(z) = z^2 + c$ состоит из двух функций преобразования $f_1(u) = + (u - c)^{1/2}$ и $f_2(u) = - (u - c)^{1/2}$. (В этих функциях c — это уже знакомый нам управляющий параметр; а u — выбранная входная величина.) Эти две функции можно рассматривать в качестве «редукторов» копировальной машины. Повторяющиеся операции этой машины заставляют случайно выбранные точки перемещаться в сторону множества Жюлиа.

Присутствие квадратного корня (степень $1/2$) в уравнении означает, что копировальная машина уже работает не с одним и тем же фактором редукции, или степенью сжатия. Более того, поскольку это преобразование нелинейно, прямые линии после преобразования становятся кривыми. Из одного исходного изображения сначала получаются два более мелких изображения, затем четыре, восемь т. д., пока не начнет постепенно проявляться предельное изображение (см. рисунок внизу на с. 40 и 41). Как и в случае линейных фракталов, предельное изображение не зависит от конкретного исходного изображения, а полностью определяется функциями f_1 и f_2 , или же, что эквивалентно, выбором параметра c .

Теперь мы подошли к одной из самых трудных и в то же время захватывающих задач фрактальной геометрии. Если вернуться к метафоре языка, то задачу можно сформулировать в виде следующего вопроса: ка-



ФРАКТАЛЬНЫЕ ЛАНДШАФТЫ могут создаваться из фракталов методом случайного смещения средней точки. Средние точки сторон треугольника (а) смещаются вверх или вниз от плоскости изображения и соединяются с вершинами (b). При этом возникает четыре меньших треугольника, к которым повторно применяется та же процедура. Функция распределения вероятности определяет величину смещения и, следовательно, степень гладкости фрактального ландшафта. Затем графическая программа компьютера закрашивает треугольники, создавая различные оттенки (с). В результате получается весьма реалистичная картина (d).



МНОЖЕСТВО МАНДЕЛЬБРОТА — отражает порядок, лежащий в основе бесконечного многообразия множеств Жюлиа. Каждая точка множества Мандельброта представляет значение параметра c , порождающего связное множество Жюлиа. Если точка c лежит вне множества Мандельброта, то ассоциированное с ней множество Жюлиа несвязно. Множество Мандельброта содержит в себе невероятное богатство мельчайших деталей. Три последо-

вательных увеличения фрагментов (отмечены квадратами) позволяют увидеть подобные повторяющиеся структуры, множества Мандельброта с добавлением многих новых и прежде не повторяющихся элементов. Если все множество изобразить в масштабе, в котором представлен фрагмент на крайнем правом рисунке, то оно заняло бы площадь, на которой уместилось бы 100 футбольных полей.

ковы грамматические правила квадратичного диалекта? Выражаясь же математическим языком, мы поставим этот вопрос так: лежит ли в основе бесконечного многообразия множеств Жюлиа некая регулярность?

Поиски ответа на этот вопрос привели к одному из наиболее замечательных открытий экспериментальной математики. Решение заключается в том известном Жюлиа и Фату факте, что для каждого управляющего параметра c получающееся в результате фрактальное изображение попадает в одну из двух категорий. Множество Жюлиа может быть единой связной областью или может состоять из бесконечного числа не связанных друг с другом точек, разбросанных подобно пылинкам.

Предположим, что мы нанесли точку на комплексной плоскости для каждого значения управляющего параметра c , которое принадлежит связному множеству Жюлиа, и оставили пробел для значений c , принадлежащих несвязным множествам. Результатом будет ставшее уже знаменитым множество Мандельброта — фрактал, поражающий богатством своих форм.

Очевидно, нам нужно каким-то образом узнать, является ли данное множество Жюлиа связным, чтобы определить принадлежность точки c множеству Мандельброта. Одно из крупнейших достижений Жюлиа и Фату состояло в открытии ими того факта, что эта трудная задача решается путем несложных подсчетов. Рассмотрим последовательность значений z_k , полученных по формуле $g(z) = z^2 + c$, когда исходная точка z_0 равна нулю. Таким образом, наше

внимание концентрируется на ключевом факторе, управляющем параметре c . Получающаяся последовательность имеет вид $0, c, c^2 + c, (c^2 + c)^2 + c, \dots$. Если она не уходит в бесконечность, то ассоциированное с параметром множество Жюлиа будет связным и точка c принадлежит множеству Мандельброта.

Каждая часть множества Мандельброта характеризует соответствующее семейство множеств Жюлиа. Например, основное сердцевидное тело множества Мандельброта характеризует множества Жюлиа, которые выглядят как смятые окружности. Хотя множество Мандельброта, строго говоря, не является самоподобным, как треугольник Серпинского и фрактальный папоротник, оно обладает сходным свойством: увеличение границы области обнаруживает бесконечное число крошечных копий множества. Все богатство форм и структур множества Мандельброта проявляется лишь при таком детальном его исследовании.

Возможно, наиболее замечательная особенность множества Мандельброта заключается в том, что оно служит бесконечно эффективным хранилищем изображений. Помимо того, что оно классифицирует множества Жюлиа на связные и несвязные, множество Мандельброта выступает также в роли непосредственного графического оглавления для бесконечного числа множеств Жюлиа. При увеличении множества Мандельброта в окрестности его пограничной точки c появляются формы, которые являются также строительными блоками множества Жюлиа, ассоциированного с данной точкой c . Однако матема-

тическая строгость этого открытия пока остается делом будущего. Тан Ли, уже известный молодой ученый, в настоящее время работающий в Лионском университете во Франции, показал, что множество Мандельброта ведет себя описанным образом в окрестности большинства значений параметра c , лежащих точно на границе множества Мандельброта.

Свойства множества Мандельброта представляют собой очень трудную и интересную тему математических исследований. Огромного прогресса удалось достичь за счет слияния математической теории и компьютерных графических экспериментов. В этом отношении особенно следует выделить фундаментальную работу А. Дуади из Высшего нормального училища в Париже и Дж. Хаббарда из Корнеллского университета.

Самой успешной работой в этой области следует считать исследование так называемого электростатического потенциала множества Мандельброта. Представьте себе, что множество Мандельброта несёт на себе электрический заряд. Можно провести измерение потенциала, поместив точечный пробный заряд в окрестности множества и замерив величину электростатической силы, действующей на этот заряд. Оказывается, что вычисление этого потенциала тесно связано с рядом $0, c, c^2 + c, (c^2 + c)^2 + c, \dots$, который используется для того, чтобы определить, принадлежит ли точка c множеству Мандельброта.

Задача получения трехмерного представления потенциала оказалась весьма трудоемкой, особенно в мультипликациях, используемых для изу-

чения множества Мандельброта. Более тщательный анализ компьютерно-графических свойств потенциала недавно позволил снизить затраты машинного времени приблизительно на порядок. В результате исследователи, в том числе и авторы этой статьи, все чаще изучают множество Мандельброта с помощью видеофильмов, генерируемых компьютером. Аналогичная работа проводится также над трехмерными потенциальными представлениями других фракталов.

ВСЕ РАССМОТРЕННЫЕ выше фракталы можно считать детерминированными. Хотя случайные процессы (такие, как бросание игрального камня) иногда и помогают генерировать фрактальные изображения, они не оказывают никакого влияния на окончательную форму фрактала. Совершенно иная ситуация имеет место в отношении другого класса фракталов, а именно так называемых случайных фракталов.

Один из фракталов такого типа может начинаться с треугольника, лежащего в произвольной плоскости. Средние точки сторон треугольника соединены между собой, так что треугольник оказывается разделенным на четыре меньших треугольника. Затем каждая средняя точка сдвигается вверх или вниз на определенную, случайно выбираемую величину. Тот же процесс применяется к каждому из меньших треугольников, затем к еще меньшим и так далее до бесконечности. После достаточно большого количества итераций начинает возникать все более детализированная поверхность.

В этом методе смещения средних точек случайные величины для перемещения средних точек вверх или вниз управляются определенным законом распределения, который тщательно подбирается, чтобы получить близкую аппроксимацию желаемой поверхности. Для того чтобы поверхность была относительно гладкой, в преобразованиях следует встроить правило, согласно которому величина смещения средних точек должна становиться очень малой уже после нескольких первых итераций. Такое правило позволяет добавлять лишь небольшие «кочки» к общим очертаниям ландшафта. Для представления изрезанной поверхности, характерной, скажем, для горного хребта или береговой линии, более подходящим будет правило медленного уменьшения смещений после каждого шага итерационного процесса.

У данного метода построения поверхностей существует много приложений. Он применялся, в частности, в

качестве модели эрозии почвы, для анализа сейсмических явлений, чтобы лучше понять характер изменений в зоне разломов. Р. Восс, один из коллег Мандельброта по Исследовательскому центру корпорации IBM, воспользовался идеей метода, чтобы строить изображения планет, спутников, облаков и горных хребтов, которые выглядят весьма реалистично (см. рисунок на с. 42).

Независимо от природы или метода построения у всех фракталов есть одно важное общее свойство: степень изрезанности или сложности их структуры может быть измерена неким характеристическим числом — фрактальной размерностью. Различные определения понятия фрактальной размерности в большей или меньшей степени восходят к работе Ф. Хаусдорфа, опубликованной в 1919 г. Хаусдорф был математиком в Боннском университете.

Следуя идее Мандельброта, фрактальную размерность можно определить методом подсчета квадратиков. Представим себе объект сложной формы, который сплошь покрыт квадратиками, как миллиметровая бумага. Часть квадратиков будет содержать элементы множества, другие квадратик будут пустыми. Число непустых клеток N зависит от формы объекта и от размеров квадратной ячейки E . Постулируется, что N пропорционально $1/E^D$ (чем мельче решетка, тем больше непустых ячеек). Показатель степени D и является размерностью объекта. Например, для такой сплошной плоской фигуры, как круг, уменьшение размера решетки вдвое приведет к увеличению количества непустых клеток в четыре раза (два в квадрате), потому что фигура обладает размерностью два. Для фрактала количество непустых клеток будет возрастать с несколько меньшим, дробным показателем степени.

Описанная процедура не ограничивается математическими объектами

или формами на плоскости. Аналогичным образом можно подсчитать фрактальную размерность реальных объектов, таких, как реки, облака, береговые линии, артерии или реснички, покрывающие стенки кишечника. Артерии человека, например, имеют фрактальную размерность порядка 2,7.

ПОМИМО той полезной роли, которую играет фрактальная геометрия при описании сложности природных объектов, она предлагает еще хорошую возможность популяризации математических знаний. Понятия фрактальной геометрии наглядны и интуитивны. Ее формы привлекательны с эстетической точки зрения и имеют разнообразное приложения. Поэтому фрактальная геометрия, возможно, поможет опровергнуть взгляд на математику как на сухую и недоступную дисциплину и станет дополнительным стимулом для учащихся в освоении этой интересной и увлекательной науки.

Даже сами ученые испытывают почти детский восторг, наблюдая за быстрым развитием этого нового языка — языка фракталов. Вот что пишет сам Мандельброт.:

«Ученые с немалым удивлением и восторгом ... уяснят для себя, что многие и многие формы, которые они до сих пор вынуждены были характеризовать как *зернистые, гидраподобные, похожие на морские водоросли, странные, запутанные, ветвистые, ворсистые, морщинистые* и т. п., отныне могут изучаться и описываться в строгих количественных терминах.

Математики будут ... удивлены и обрадованы, узнав, что [фрактальные] множества, считавшиеся до сих пор чем-то исключительным ... в некотором смысле должны стать правилом, что конструкции, считавшиеся патологическими, должны происходить естественным образом из очень конкретных задач и что изучение природы должно помочь решить старые задачи и поставить немало новых».

Наука и общество

Опасайтесь диких гусей

ОПЯТЬ эти канадские гуси! Пролетая через Норт-Ист, они оставили следы своего пребывания на пригородных лужайках. Сейчас они переместились на юг, в Ок-Ридж (шт. Теннесси), где некоторые из них становятся слишком опасными даже для того, чтобы касаться их руками. По сути дела, они уже стали радиоактивными — как белохвостые олени, серые утки и другие животные, обитаю-

щие в резервации Ок-Ридж на территории в 14 120 га.

Ок-Ридж — не единственное место, ставшее проклятием для диких животных. На разбросанных по всей стране полигонах министерства энергетики в многочисленных прудах и водоемах производились захоронения радиоактивных отходов, и радиация проникла во флору и фауну этих мест. Растет беспокойство, что зараженные радиоактивностью животные и птицы могут стать добычей охотни-

ков, и тогда радиация проникнет в человека. «Это очень серьезное опасение», — говорит К. Боссон, сотрудник журнала «Public Citizen» и член контрольно-наблюдательной группы из Вашингтона (округ Колумбия).

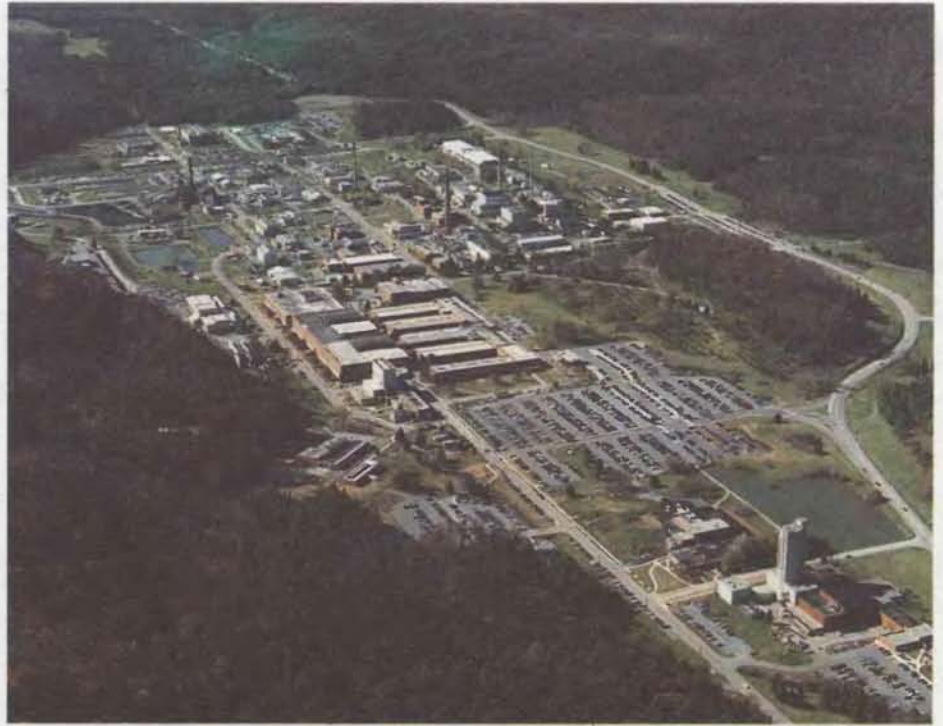
Инженер У. Лолесс, бывший служащий министерства энергетики, работавший на заводе Саванна-ривер в шт. Южная Каролина, помнит случай, когда на свиноферме в двух милях от территории завода были обнаружены радиоактивные черепахи: «Это показывает, что проблема неконтролируемой утечки радиации стоит очень серьезно».

Например, мясо одного гуся, пойманного в Ок-Ридже, содержало 3950 пикокюри радиоактивного цезия-137. В пересчете на «рождественский ужин» один фунт такого мяса несет почти 100 миллибэр, т. е. примерно годовую норму облучения. Чиновники из компании Martin Marietta Energy Systems, являющейся подрядчиком министерства энергетики в Ок-Ридже, настаивают на том, что ситуация не опасна. По словам Дж. Роджерса, специалиста по защите окружающей среды, радиация не сможет каким-либо путем повлиять на здоровье людей, так как доза, которую получает человек, коснувшись руками такого гуся, много меньше, чем при рентгене грудной клетки.

Другое дело, если съест облученную дичь. Слабордиоактивные отходы содержат радионуклиды, которые могут оставаться в организме долгие годы. Цезий-137 с периодом полураспада 30 лет накапливается в мышечной ткани, стронций-90 с периодом полураспада 27 лет отлагается в костях. «Преобладает мнение, что любой уровень радиации опасен», — говорит С. Салеска, штатный научный сотрудник Института энергии и исследования окружающей среды.

Несмотря на заявления представителей министерства энергетики, что дикие животные не опасны, по словам Дж. Эванса из Агентства по исследованию природных ресурсов шт. Теннесси, начиная с 1985 г. радиационное заражение привело к необходимости отстреливать от 5 до 8 гусей ежегодно. Министерство энергетики определяет уровень радиации гусей и других водоплавающих Ок-Риджа и метит их, чтобы узнать как далеко они улетают. «Нас интересует все, что покидает пределы резервации», — говорит Г. Блейлок, возглавляющий отдел по изучению окружающей среды в Ок-Ридже.

Это не только стаи гусей и уток, это еще и стада оленей. Из-за резкого увеличения численности популяции оленей количество столкновений автомобилей с животными на дорогах в Ок-



НАЦИОНАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ОК-РИДЖ — одна из трех, расположенных в резервации министерства энергетики, занимающей 14 120 га, где радиоактивные отходы проникли в окружающую среду.

Ридже остается в течение последних 5 лет как никогда высоким. Поэтому была разрешена охота на них с условием, что добыча будет проходить проверку на уровень радиации и может быть конфискована. «Представьте охотника, который подстрелил восьми- или десятилетнего самца. Необходимость отдать добычу приводит его в негодование. Но мы его фотографируем с добычей, чтобы он мог похвалиться своими охотничьими трофеями», — говорит Роджерс.

На заводе в Ханфорде (шт. Вашингтон) с резервацией в 1476,3 км² министерство энергетики перерабатывает уран, получая плутоний. Радиацией заражены ящерицы, утки, кролики, койоты и некоторые другие животные. «С 1940 г. здесь закапывали богатые натрием радиоактивные отходы, которые для животных послужили источником соли», — говорит Т. Коннор из Фонда энергетических исследований. — Кролики лижут соль, койоты поедают кроликов, а следующий шаг вам известен: рабочие из Ханфорда со счетчиками Гейгера прочесывают местность, собирая радиоактивные экскременты койотов».

В окрестностях завода Саванна-ривер, где в 1988 г. был остановлен реактор из-за несоблюдения мер безопасности и проблем, связанных с управлением, оказались радиоактивными некоторые виды рыб и черепахи. М. Смит, директор экологической лаборатории Университета Джорджии, расположенной там, сообщает,

что радиоактивность карпа и окуня колеблется от 10 до 100 пикокюри на грамм. «Я бы не хотел съесть такую рыбу», — прокомментировал он, зачитывая список носителей радиации.

В течение нескольких последних лет информация о проникновении радиации в окружающую среду наконец-то достигла общественности, и теперь она пытается заставить министерство энергетики провести работу по очищению своих полигонов. Однако критики выражают опасения, что пока EPA не получит больших полномочий, военные заводы могут ускользнуть от постоянного контроля. Законопроект, прошедший через палату представителей и ожидающий решения в сенате, направлен на создание реально действующего механизма вплоть до принуждений и штрафов, налагаемых EPA», — говорит Д. Рейчер, председатель Совета по охране природных ресурсов.

Согласно Закону о сохранении и восстановлении природных ресурсов от 1976 г. министерство энергетики обязано следить за утечкой радиации с территории Ок-Риджа и других подобных лабораторий. Однако масштабы проникновения радиации в природный мир неизвестны. К тому же, по словам Лолесса, кроме птиц, оленей, черепах, рыб и сусликов, исследованных Лос-Аламосской национальной лабораторией в штате Нью-Мексико, существуют еще и насекомые, к изучению которых вообще не приступали.

Когда температура плавления не равна температуре замерзания

Атомные кластеры могут дать ключ к пониманию процессов замерзания и плавления. Такие агрегаты из атомов и молекул, включающие от 4—5 до нескольких сотен частиц, могут существовать одновременно и как твердое тело, и как жидкость

Р. СТИВЕН БЕРРИ

ПОЧТИ каждое твердое тело имеет определенную температуру плавления, а любая жидкость — температуру замерзания. Замерзание и плавление — одинаковые явления, но рассматриваемые с разных точек зрения, поэтому температура плавления обычно равна температуре замерзания: лед плавится при 0°C — самой высокой температуре, при которой он может существовать как твердое тело, а вода замерзает при 0°C — наиболее низкой температуре, при которой она может быть устойчивой жидкостью. Кажется, нет ничего проще.

Но внешняя простота может быть обманчивой. Небольшие кластеры из атомов или молекул дают новый ключ к объяснению температур плавления и замерзания и показывают, что эта проблема не так проста. Кластеры — это агрегаты из атомов или молекул, включающие от 4—5 до 100—200 частиц; в определенном интервале температур они могут существовать и как твердые тела, и как жидкости и иметь различные температуры плавления и замерзания.

Уникальные свойства кластеров позволили исследователям, в том числе и автору этой статьи, изучить «секреты» их температур плавления и замерзания. Кластеры больше отдельных молекул, но меньше, чем компактные материалы, состоящие из такого множества атомов, что их число можно считать бесконечно большим, поэтому кластеры проявляют свойства как молекул, так и компактных материалов. Промежуточные размеры кластеров дают возможность изучать их почти с такой же точностью, как составляющие их атомы или молекулы; в то же время они проявляют и некоторые свойства компактных материалов.

В будущем атомные кластеры могут стать основой для создания новых

материалов и осуществления химических реакций новых типов. Кластеры могут существовать в различных устойчивых формах, например в виде 55-атомного икосаэдра или 60-атомного «футбольного мяча», поэтому при их конденсации образуются твердые тела, отличающиеся от всех других известных материалов. Ученые надеются, что таким материалам можно будет придать заданные микроразмерные, механические или каталитические свойства.

СНАЧАЛА XIX в., когда благодаря работам английского ученого Дж. Дальтона атомная теория получила всеобщее признание, изучение поведения и свойств веществ ведется в двух направлениях. Редукционисты сконцентрировали внимание на свойствах отдельных атомов и молекул. В 30-е годы нашего столетия это направление привело к созданию ядерной физики, а затем — физики элементарных частиц. Другие ученые изучали компактные вещества и материалы, уделяя основное внимание свойствам агрегатов из большого числа атомов или молекул. Кластеры же являются тем мостиком, который соединяет эти два направления исследований. Однако их изучение стало возможным лишь после разработки в начале 70-х годов соответствующих экспериментальных и теоретических методов.

В отличие от молекул, характеризующихся определенным составом и в большинстве случаев определенной структурой, состав и структура кластеров регламентированы не столь строго. Например, кластеры атомов кремния могут состоять из 3, 10 или 100 атомов. Кроме того, большинство кластеров могут иметь несколько стабильных структур с разной устойчивостью.

Кластеры отличаются от компакт-

ных материалов не только непостоянством числа составляющих их атомов или молекул, но и числом атомов или молекул, расположенных на поверхности. В компактных материалах на поверхности находится лишь малая доля атомов. Напротив, доля таких атомов в кластерах может быть очень большой, например на поверхности 55-атомного кластера аргона расположено по крайней мере 42 атома.

Существует несколько теоретических представлений для объяснений различия температур плавления и замерзания кластеров, в частности понятие «потенциальной ямы», которое появилось на основе обобщения нашего повседневного опыта существования в условиях гравитации. Представьте себе поверхность Земли с холмами и долинами. Из-за силы тяжести для любого объекта, имеющего массу, самое глубокое место долины («дно») соответствует его минимальной потенциальной энергии. Так, мяч, помещенный на вершине холма, скатится вниз, а мяч, находящийся на дне долины, так и останется на месте. Сила тяжести толкает или тянет объект в направлении, которое способствует снижению его потенциальной энергии.

Можно представить, что находящаяся в состоянии полного равновесия молекула или кластер расположена на «дне» потенциальной ямы, но в этом случае не гравитация, а электрические силы должны толкать частицу в направлении снижения потенциальной энергии. Такими силами может быть притяжение между парами электронов и протонов, которые входят в состав атомов, или отталкивание между парами протонов и парами электронов. Сочетание сил притяжения и отталкивания определяет диаметр атомов, т. е. то расстояние, при котором один атом «сталкивается» с

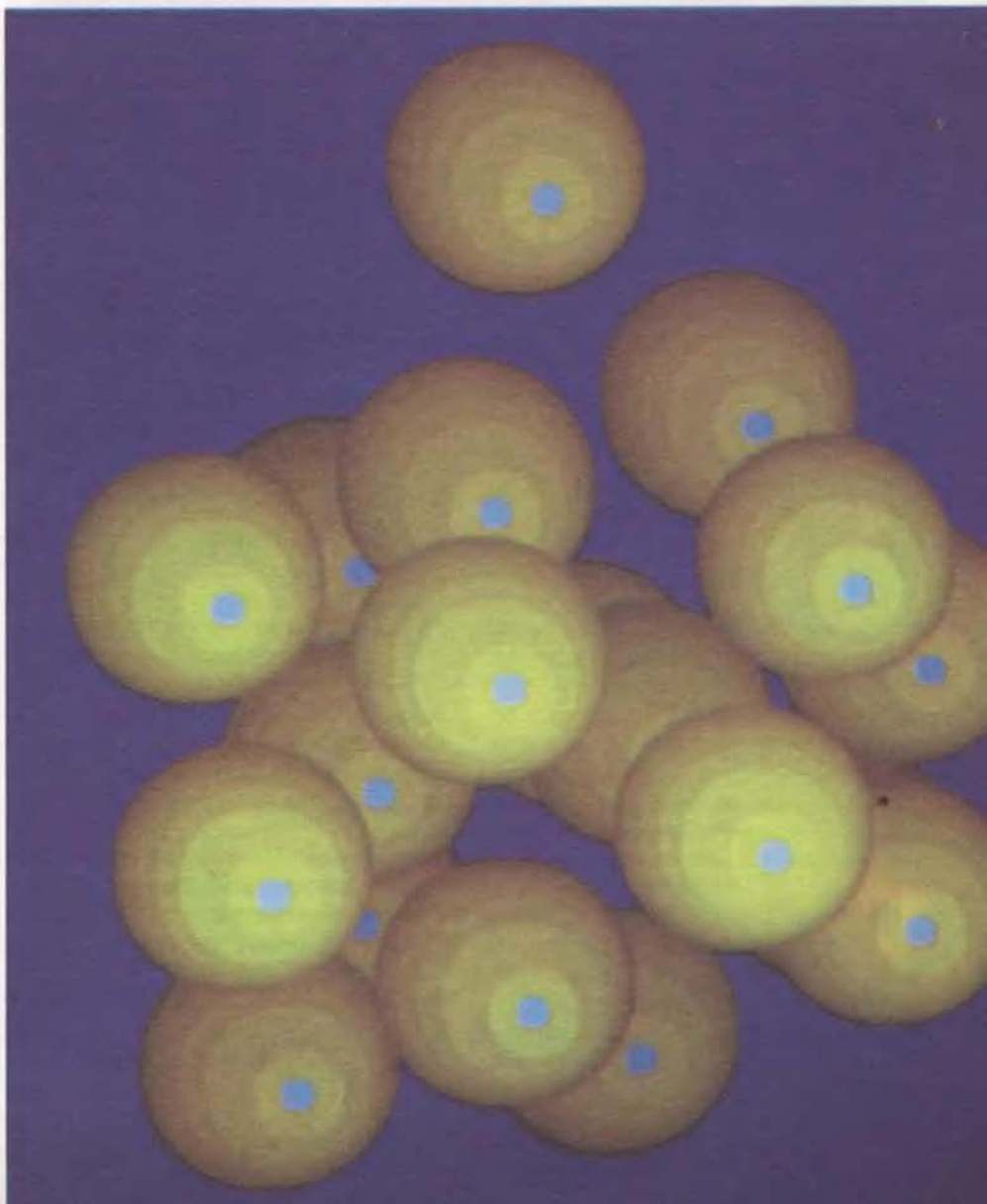
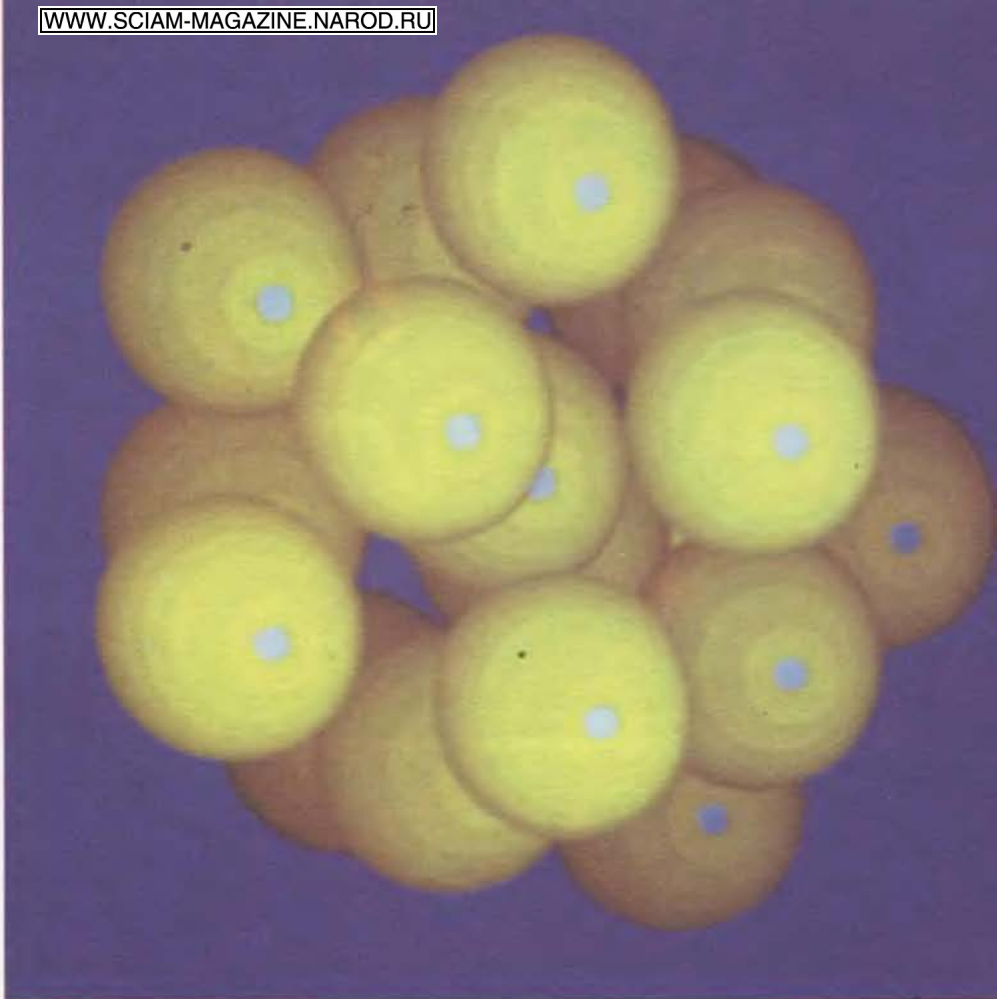
другим. Атомы представляют собой не жесткие шарики, подобные бильярдному шару или даже теннисному мячу, — они больше похожи на мягкую подушечку на вашей ладони ниже большого пальца.

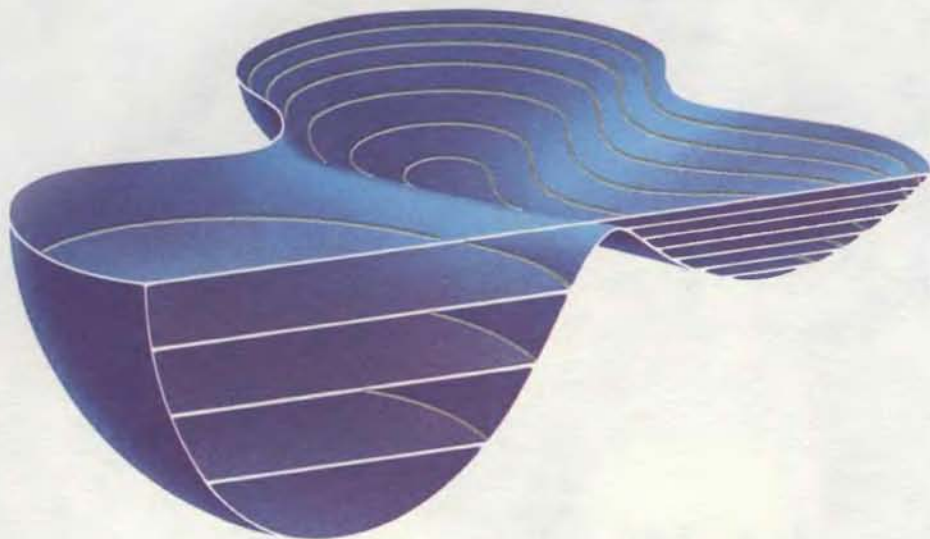
Если два взаимодействующих атома образуют химическую связь, то потенциальная энергия удаленных друг от друга атомов постоянна, при их сближении из-за притяжения электронов и протонов она уменьшается, а затем, когда один атом сталкивается с другим, резко возрастает. Представление о потенциальной яме сравнительно легко можно применить для анализа и взаимодействия между тремя или более атомами, однако графически изобразить такую систему не просто, поскольку она многомерна. Другими словами, параметры такой потенциальной ямы зависят от слишком большого числа независимых переменных, поэтому ее нельзя изобразить на листе бумаги или даже в виде трехмерной модели. Тем не менее описание с помощью потенциальной ямы удобно использовать при анализе и обсуждении поведения молекул и кластеров, состоящих из нескольких атомов.

ДО СИХ пор мы рассматривали кластеры в рамках классической механики. Однако реальный мир лучше описывается на языке квантовой механики. Наиболее важным изменением при этом является квантование разрешенных энергий кластеров. Согласно классической механике, кластер в потенциальной яме может иметь любую энергию, но в квантовой механике его энергия ограничена определенным набором дискретных уровней. Энергетические уровни образуют своего рода лестницу, опущенную в потенциальную яму, с непостоянным расстоянием между ступеньками.

Непостоянство расстояния между ступеньками этой лестницы — квантованными энергетическими уровнями — играет важную роль в различии между температурами плавления и замерзания кластеров. В глубокой крутой потенциальной яме ступеньки расположены далеко друг от друга, тогда как в широкой неглубокой по-

КЛАСТЕР из 19 атомов аргона может существовать в твердом (*вверху*) или жидком (*внизу*) состоянии. Для твердого кластера характерны жесткие колебания, напоминающие дрожание, тогда как жидкие кластеры не имеют четкой геометрической структуры и легко перестраиваются. Эти компьютерные изображения получены Т. Бекком из Университета Цинциннати.





ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЯМА — удобное теоретическое представление для описания поведения кластеров. Можно представить, что находящийся в равновесии кластер или молекула расположены на «дне» потенциальной ямы так же, как мяч остается на дне долины. В рамках классической механики кластер может принимать любую энергию в потенциальной яме, однако квантовая механика ограничивает его энергию набором дискретных уровней (горизонтальных плоскостей), которые как бы образуют отстоящие друг от друга на различные расстояния ступеньки лестницы, опущенной в потенциальную яму. В глубоких и крутых ямах соседние энергетические уровни отделены один от другого на большое расстояние; это область существования твердых кластеров. Напротив, в широких и пологих потенциальных ямах энергетические уровни сближены; таким потенциальным ямам соответствуют жидкие кластеры.

тениальной яме они расположены близко. Яма может быть глубокой и крутой в центральной части, но иметь широкие и пологие «края»; тогда соседние низкоэнергетические уровни будут сильно разделены, а высокоэнергетические — сближены.

Глубокие потенциальные ямы занимают твердые кластеры. Они могут колебаться с небольшой амплитудой, при которой частица как бы дрожит, и вращаться подобно моделям из детского «конструктора», собранным из шариков и палочек. Холмистые равнины занимают жидкие кластеры, которые не имеют определенной геометрической структуры и легко перестраиваются. Энергетические уровни твердых кластеров сравнительно сильно разделены, а энергетические уровни жидких кластеров расположены довольно плотно. Наибольшая вероятность того, что температуры плавления и замерзания кластеров будут различными, достигается тогда, когда глубокие узкие долины потенциальной ямы отделены от широких холмистых равнин сравнительно высокими или недоступными перевалами.

Наконец, для объяснения различий температур плавления и замерзания кластеров необходимо использовать понятие «свободной энергии». Свободная энергия определяется как внутренняя энергия системы (в рас-

смаатриваемом случае агрегата атомов или молекул) минус произведение ее температуры на энтропию (степень неупорядоченности). Кластер самопроизвольно перестраивается так, чтобы его свободная энергия уменьшалась в результате минимизации внутренней энергии или повышения энтропии или того или иного согласованного изменения этих двух характеристик: любая система имеет тенденцию к понижению внутренней энергии и повышению энтропии. Свободная энергия — это просто результат конкуренции между внутренней энергией и энтропией.

Теперь представим, что множество кластеров находится при температуре, достаточно низкой для того, чтобы все они были в твердом состоянии. При такой температуре энтропия каждого кластера низка, поскольку энергетические уровни значительно разделены, а заняты только несколько низших уровней. В этом случае свободная энергия каждого кластера минимальна, так как внутренняя энергия мала.

Предположим, что температура немного повысилась. Теперь каждый кластер получил доступ к более высокоэнергетическим уровням и имеет возможность повысить свою энтропию (уменьшить свободную энергию). Но если температура повышена лишь немного, то выигрыш в энтропии за

счет перехода на более высокоэнергетические уровни компенсируется внутренней энергией, запасенной частицами, которые остались на низкоэнергетических уровнях. В результате кластеры остаются в твердой фазе и только иногда переходят на более высокоэнергетические уровни.

ЕСЛИ повышать температуру дальше, то каждый кластер получит доступ к высокоэнергетическим уровням жидкой фазы, заселенность которых возрастает вместе с увеличением энергии частиц. Поэтому, по мере того как отдельные кластеры практически беспрепятственно переходят на высшие уровни, связанная с каждой частицей неупорядоченность системы резко возрастает. Теперь большой выигрыш в энтропии намного превышает величину, необходимую для компенсации энергии перехода на высшие уровни (характерные для жидкой фазы); следовательно, кластеры в жидкой фазе обладают минимальной свободной энергией.

В такой ситуации происходят удивительные явления. Кластеры в твердой фазе также пока еще существуют в состоянии с минимальной свободной энергией (хотя этот минимум обычно менее глубокий). Поскольку имеется два минимума свободной энергии, кластеры могут сосуществовать и в жидкой и в твердой фазах.

При дальнейшем повышении температуры энтропийно-энергетический баланс смещается в сторону жидкой фазы, и минимум свободной энергии для кластеров в твердой фазе становится все менее и менее заметным. Наконец, при достаточно высокой температуре этот минимум исчезает, остается только минимум в области существования жидкой фазы и энтропийно-энергетический баланс полностью смещается в сторону жидкой фазы.

Теперь все кластеры могут существовать только в жидкой фазе. Таким образом, в определенном интервале температур — с момента появления устойчивой жидкой фазы до исчезновения устойчивой твердой фазы — могут сосуществовать обе фазы кластеров. В этом диапазоне доля каждой из сосуществующих фаз зависит от разности между их свободными энергиями, которая в свою очередь определяется температурой. В частности, изменение доли кластеров в жидкой фазе по мере повышения температуры описывается своеобразной уплощенной S-образной кривой.

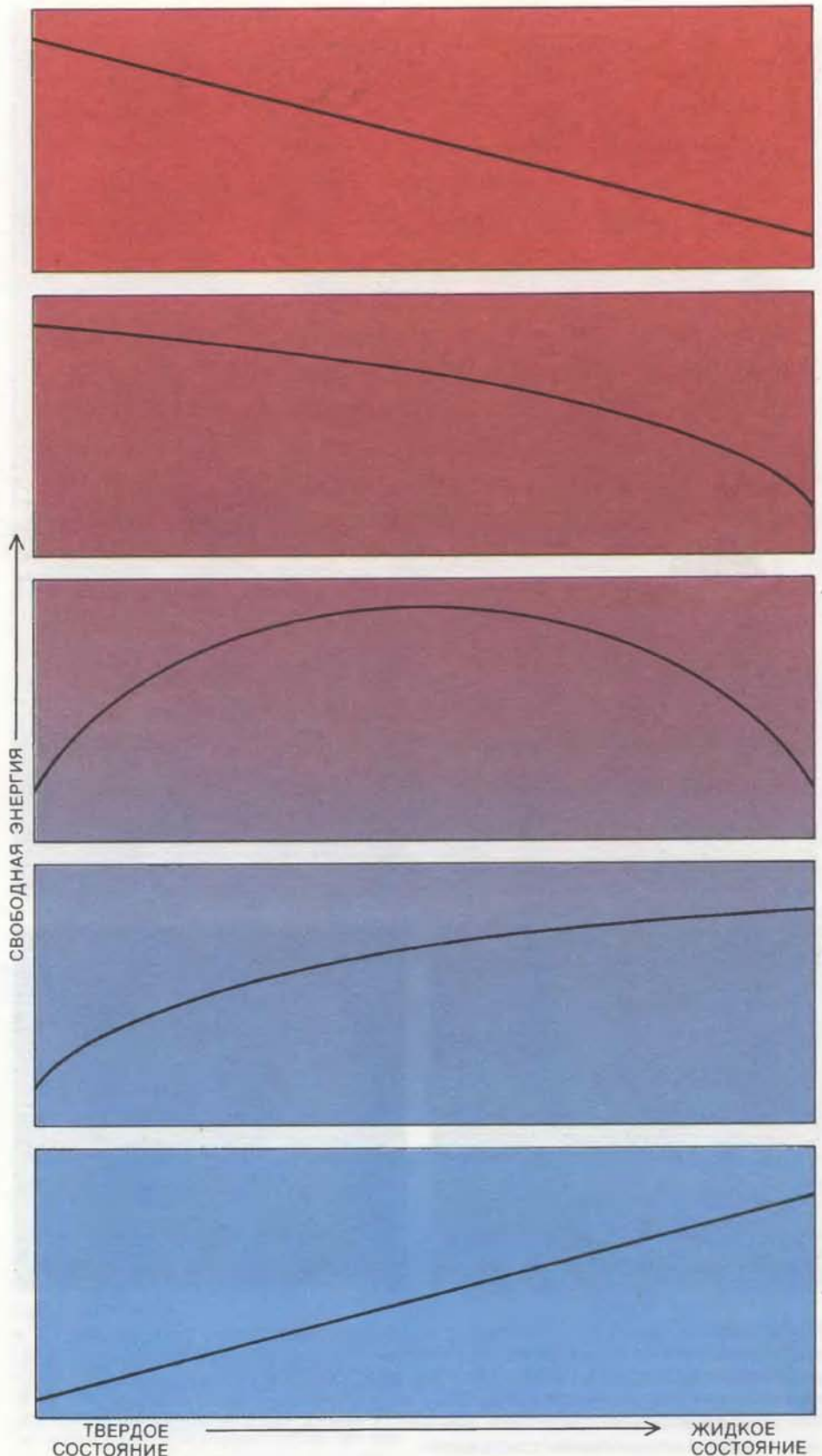
В результате анализа взаимосвязанных изменений внутренней энергии и энтропий, а также плотности за-

селенности энергетических уровней можно сделать вывод, что кластеры могут иметь четкую температуру замерзания, ниже которой устойчива только твердая фаза, и определенную температуру плавления, выше которой устойчива только жидкая фаза. Между этими двумя точками расположен температурный диапазон, в котором устойчивы обе фазы. Иными словами, температура плавления и температура замерзания различны! Теперь плавление и замерзание разделены; ничто не свидетельствует о том, что эти два процесса должны происходить при одной температуре.

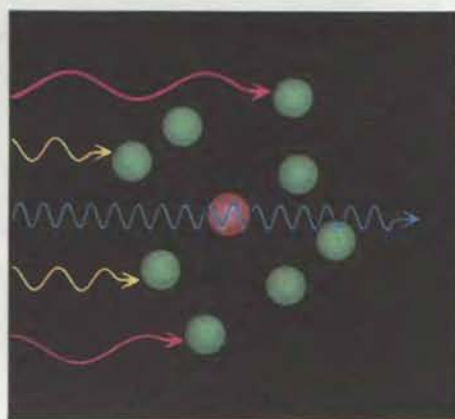
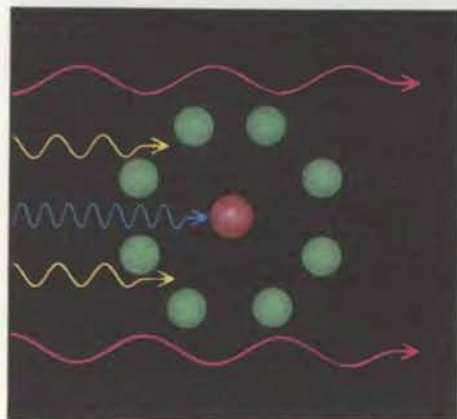
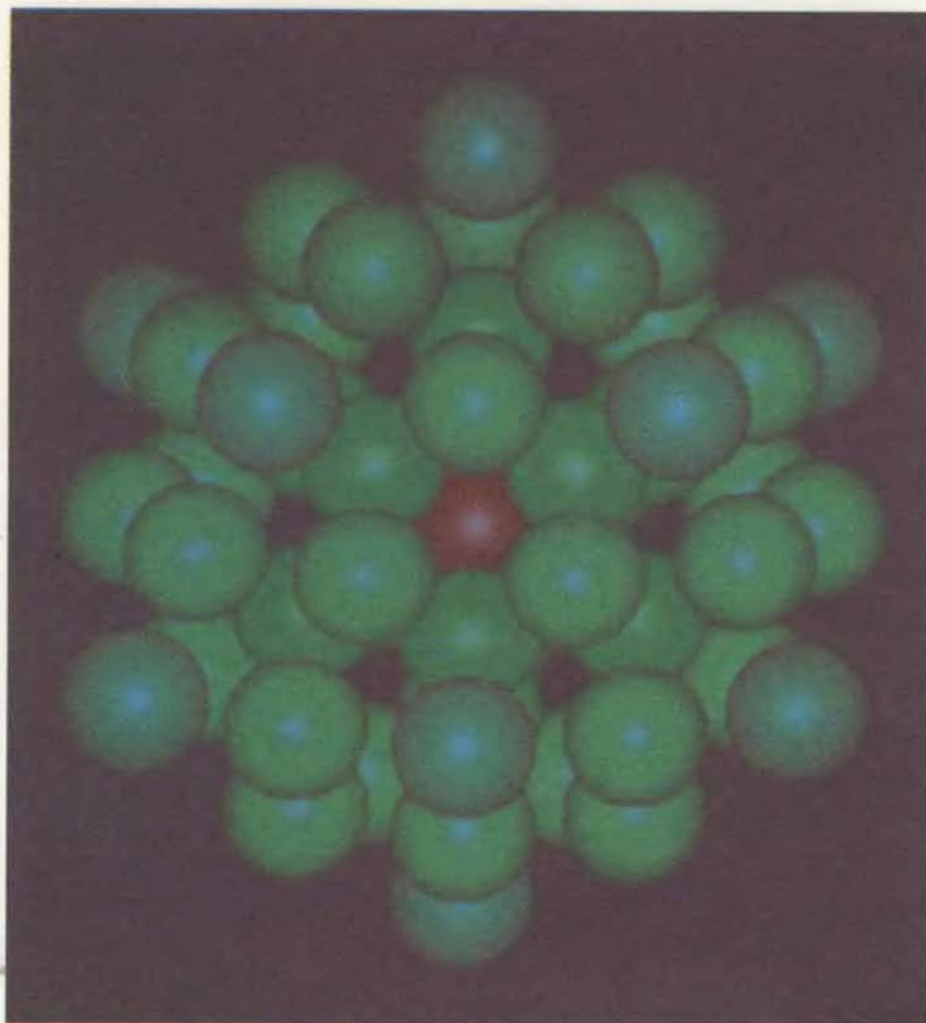
Разъединение процессов плавления и замерзания находится в кажущемся противоречии с нашим повседневным опытом, который свидетельствует о том, что температура плавления должна быть равна температуре замерзания. Кластеры, однако, помогают разрешить это противоречие, поскольку они обладают специфическими свойствами, обусловленными их промежуточными размерами. Поведение систем, построенных из небольшого числа (10, 100 или даже 10000) атомов или молекул, резко отличается от поведения систем, содержащих триллионы атомов или молекул. Теория предсказывает, что диапазон сосуществования жидкой и твердой фаз в случае небольших кластерных частиц, состоящих из 10–20 атомов, составляет несколько градусов, а в случае «сверхкластеров» из миллиона атомов — всего лишь менее одной тысячной градуса. Для компактных материалов этот диапазон настолько узок, что его вообще невозможно обнаружить. Этот факт полностью оправдывает взаимозаменяемость терминов «температура плавления» и «температура замерзания» в применении к компактным материалам.

ТЕОРИЯ, описывающая различные температуры плавления и замерзания кластеров, получает подтверждение как данными лабораторных экспериментов, так и результатами компьютерного моделирования. В лаборатории кластеры получают, испаря составляющие их атомы или молекулы и затем осаждая их, или просто путем «выбивания» из твердых компактных материалов. Каким бы способом ни был получен кластер, далее его можно изучать в газовой фазе или в виде включения в инертной матрице.

Чтобы отличить твердые кластеры от жидких, необходимо научиться «видеть», что такие частицы способны вести себя и как твердые, и как жидкие тела. Твердые тела жестки и неподатливы; твердое тело можно,



СОСУЩЕСТВОВАНИЕ твердых и жидких кластеров в определенном диапазоне температур. Пять представленных на этом рисунке схем расположено в порядке повышения температуры (*снизу вверх*). На вертикальной оси каждой схемы отложена свободная энергия кластеров, т. е. их внутренняя энергия минус произведение их температуры на энтропию (степень неупорядоченности). Горизонтальная ось представляет меру жесткости кластеров: твердые кластеры расположены слева, а жидкие — справа. При самой низкой температуре (*нижняя схема*) минимальной свободной энергией обладают только твердые кластеры, а при наиболее высокой температуре (*верхняя схема*) — только жидкие кластеры. Однако в диапазоне промежуточных температур (*три средние схемы*) минимальной свободной энергией могут обладать как жидкие, так и твердые кластеры; эти две формы существуют одновременно. Другими словами, температура плавления и температура замерзания кластеров различны.



МОЛЕКУЛЫ-ЗОНДЫ, включенные в кластеры, позволяют ученым отличать жидкое состояние от твердого. На верхнем рисунке натриевый зонд (красный) включен в кластер из 54 атомов аргона. Изображение получено Хай-Пин Чжэнем из Чикагского университета. Зонд испускает излучение с различной длиной волны в зависимости от того, находится ли кластер в твердом (внизу слева) или жидком (внизу справа) состоянии.

например, толкнуть. Напротив, жидкости мягки и податливы — нельзя положить палец на воду, его можно только опустить в воду, поскольку вода оказывает ничтожно малое сопротивление. (Конечно, если сила прикладывается мгновенно, то даже жидкость может показаться твердым телом; это хорошо знает по своему

опыту каждый, кому приходилось по неосторожности упасть в плавательный бассейн.)

Твердый кластер неподатлив в том смысле, что его колебания ограничены небольшими отклонениями от некоторой простой геометрической конфигурации (или некоторого энергетического минимума). Такой кла-

стер может претерпевать миллион или миллиард колебаний в одной конфигурации, прежде чем перейдет в другую конфигурацию, если обладает достаточной внутренней энергией. (Типичный твердый кластер совершает около 10 триллионов колебаний в секунду.) Жидкий кластер податлив в том отношении, что он легко переходит из одной конфигурации в другую (из одного энергетического минимума в другой). Жидкий кластер может совершить всего лишь несколько колебаний или, может быть, несколько сотен колебаний прежде, чем перейти в другую конфигурацию.

ЧТОБЫ иметь возможность наблюдать твердые и жидкие кластеры, они должны находиться в каждом из этих состояний достаточно долгое время. Так, жидкие кластеры должны оставаться в состоянии, подобном жидкому, достаточно долго, чтобы за это время они успели проявить характерные для жидкостей свойства, особенно взаимопревращение множества геометрических конфигураций путем быстрой перегруппировки атомов. Твердые кластеры должны оставаться жесткими и неподатливыми, как и полагается твердым телам.

В настоящее время с помощью самых совершенных лабораторных экспериментов, по-видимому, удастся различать жидкие и твердые кластеры. Основой большинства экспериментов является включение в каждый кластер чужеродной молекулы, отличающейся от атомов или молекул в кластере. Чужеродная молекула — это своего рода зонд. Спектр молекулы-зонда (т. е. характеристические длины волн излучения, испускаемого или поглощаемого молекулой) зависит от ее окружения, а также от самой молекулы. Следовательно, спектр молекулы-зонда, включенной в твердый кластер, должен отличаться от спектра молекулы, включенной в жидкий кластер.

Один из самых надежных путей идентификации кластеров связан с лазерным возбуждением молекулы-зонда до известного энергетического уровня. (Длина волны лазерного излучения, необходимого для индуцирования такого возбуждения, существенно зависит от типа молекулы-зонда и окружающих ее атомов кластера.) Затем второй лазер настраивают на такую длину волны, при которой уже возбужденная молекула-зонд способна ионизоваться, т. е. под действием второго лазера отщепляется один из внешних электронов молекулы-зонда. В результате молекула-зонд и включающий ее кластер приоб-

ретают положительный заряд. Такой кластер можно ускорить в электрическом поле и таким образом выделить из смеси. Далее кластер идентифицируют по массе, т. е. по числу входящих в его состав атомов или молекул (см. статью: В. С. Летохов. Лазерно-индуцированные процессы в атомах и молекулах, «В мире науки», 1987, № 1).

Такой подход к изучению кластеров из атомов аргона использовали Ю. Бесигер и С. Лейтвилер из Бернского университета, а также М. Хан и Р. Уэттон из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе. Швейцарские исследователи вводили большую плоскую молекулу-зонд, называемую карбазолом. Калифорнийские ученые остановились на бензоле, меньшей молекуле, по форме напоминающей таблетку. Молекулы-зонды, включенные в твердые кластеры, давали узкие полосы в спектрах, тогда как спектры молекул-зондов в жидких кластерах характеризовались широкими полосами. (Несмотря на некоторые тонкости в интерпретации экспериментальных данных, аргументы в пользу таких характеристических спектров представляются вполне убедительными.)

В РЕЗУЛЬТАТЕ этих экспериментов было показано, что при температуре 20–30 К (от -253 до -243 °С) небольшие кластеры ведут себя как жидкости (широкие полосы в спектрах), а большие — как твердые тела (узкие полосы в спектрах). Кластеры промежуточного размера давали спектры, свидетельствующие о наличии смеси, в которой сосуществуют и жидкая, и твердая фазы.

Полученные швейцарскими и калифорнийскими исследователями данные являются важным шагом в экспериментальном изучении кластеров. Сосуществование твердых и жидких кластеров для определенного диапазона их размеров, но при фиксированной температуре предполагает, что они должны иметь различные температуры плавления и замерзания, хотя, конечно, это предположение нельзя считать окончательно доказанным. В идеальном варианте следовало бы при заданном размере кластеров изменять их температуру, но для выполнения таких экспериментов необходима столь высокая точность, которой трудно добиться на практике. Для того чтобы эта гипотеза стала фактом, потребуются дополнительные исследования.

Другой путь проверки теории заключается в компьютерном моделировании кластеров, хотя моделирование — это всего лишь моделирование, а не настоящий эксперимент. Однако

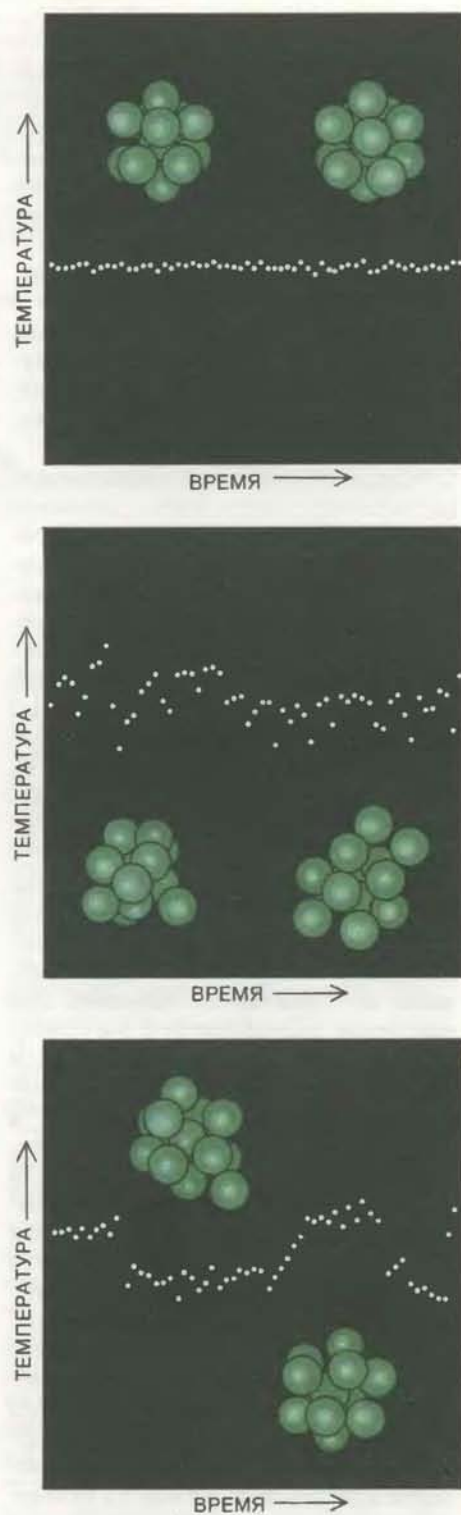
если имеется возможность проверить результаты моделирования, то таким путем можно открыть новые явления и выполнить «эксперименты», которые обойдутся намного дешевле, чем реальные лабораторные исследования. Компьютерное моделирование может помочь и в разработке лабораторных экспериментов.

Широкое применение компьютерного моделирования целесообразно при изучении таких систем, для которых созданы достаточно правдоподобные теоретические модели, слишком сложные для того, чтобы их можно было применить с помощью только карандаша и бумаги; таковы, например, модели поведения атомного кластера. Для описания многих веществ вполне понятны силы, действующие между двумя атомами, тем не менее решить математические уравнения движения для системы даже из трех взаимодействующих атомов не представляется возможным, не говоря уже о более сложных системах. Все же уравнения движения нескольких атомов или даже большого числа атомов можно постепенно решить в цифровом виде с помощью компьютеров. Таким путем можно проследить за поведением каждого «атома» модели.

Здесь основное внимание будет уделено моделям кластеров из атомов аргона, разработанным Т. Беком, Хай-Пин Чжэнем, Х. Дейвисом, Дж. Желлинеком, Д. Уэйлзом и автором данной статьи в Чикагском университете. Из полученной нами информации легче проследить изменения отдельного кластера во времени. Можно рассчитать количественный параметр — среднюю температуру кластера, полная энергия которого постоянна, или (что то же) среднюю энергию кластера, температура которого постоянна. (Средняя температура не только представляет собой численный переводной коэффициент, но и отражает среднюю кинетическую энергию.)

Важно понять, что здесь имеется в виду под выражением «средняя температура». Однократное усреднение температуры за весь период существования кластера имеет столь же мало смысла, как и усреднение температуры за столь короткий период времени, за который каждый атом кластера не успевает или практически не успевает столкнуться с другими атомами. Обычно мы берем среднее значение за 5 миллионных долей одной миллионной доли секунды; именно за это время атомы аргона совершают несколько колебаний.

Мы обнаружили, что для низкоэнергетического кластера из 13 ато-



СОСУЩЕСТВОВАНИЕ твердых и жидких кластеров можно продемонстрировать с помощью компьютерного моделирования изменения во времени средних температур кластеров из 13 атомов аргона при разных постоянных энергиях. При высокой энергии (вверху) кластеры ведут себя как твердое тело, при высокой энергии (в центре) — как жидкость, а при промежуточных энергиях (внизу) — и как жидкость, и как твердое тело. Температура кластера прямо пропорциональна его кинетической энергии. Каждой точке соответствует интервал времени $5 \cdot 10^{-12}$ с.

мов аргона характерны очень небольшие отклонения от его средней температуры. Такой кластер ведет себя как твердое тело. Намного более высокоэнергетический кластер имеет значительно более высокую среднюю температуру; в этом случае и флуктуации температуры также соответственно больше. Судя по некоторым характеристикам поведения такого кластера, можно считать, что он находится в жидкой фазе. Если кластеру придать еще большую энергию, то в соответствии с результатами моделирования его атомы должны «испаряться», как и следовало предполагать.

Между этими двумя предельными ситуациями существует диапазон энергий, в котором кластеры с постоянной энергией ведут себя очень своеобразно: они достаточно долго существуют в твердом состоянии, затем более или менее случайным образом мгновенно переходят в жидкое состояние также на сравнительно длительное время, после чего возвращаются в твердое состояние и т. д. Такое своеобразное поведение характерно и для кластеров, состоящих из 7, 15 или 19 атомов аргона.

Следует подчеркнуть, однако, что не все кластеры проявляют четкую тенденцию к одновременному существованию в двух фазах. Такое поведение не характерно, например, для кластеров, состоящих из 6, 8 и 17 атомов аргона, а кластеры из 6 атомов меди, согласно результатам моделирования, должны существовать в жесткой и мягкой твердых формах. Моделирование, выполненное Д. Скарф и Дж. Джорднером из Тель-Авивского университета и У. Ландманом из Технологического института шт. Джорджия, показало, что некоторые большие кластеры хлорида натрия могут иметь твердые и жидкие области одновременно в разных местах поверхности кластера. Согласно результатам моделирования, полученным Чжэнем, поверхностные области кластеров из 52 или 55 атомов аргона плавятся при температуре намного ниже температуры плавления самих кластеров. Эти результаты подчеркивают важность поверхностных характеристик при исследовании кластеров в отличие от компактных материалов.

По мере того как небольшие кластеры приобретают энергию, они становятся менее жесткими и более подвижными и могут демонстрировать разнообразное поведение. В будущем это разнообразие свойств может служить ценным «инструментом» для более глубокого изучения явлений плавления и замерзания.

Оравское куру

ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКАЯ обстановка в малонаселенном овецоводческом районе Словакии, называемом Оравой, дает серьезный повод для беспокойства. Об этом пишет Е. Митрова из Научно-исследовательского института профилактической медицины в Братиславе. Начиная с 1976 г. в этом районе зарегистрированы 22 случая редкого смертельного неврологического заболевания, проявляющегося в слабоумии. Заболеваемость им все растет: за последние три года поражены 12 человек. Еще 19 больных обнаружены в 150 км к югу близ Луженка. «Население почти в панике», — говорит Митрова. Слабоумие, вспыхнувшее в Словакии, идентифицировано как болезнь Крейцфельда—Якоба. От этого заболевания человек умирает обычно не позже чем через 7 месяцев после появления первых симптомов. Заболеваемость в среднем в мире составляет $1 \cdot 10^{-6}$ в год. А в Ораве частота синдрома Крейцфельда—Якоба, согласно Митрова, в несколько сотен раз выше. Синдром Крейцфельда—Якоба напоминает смертельное инфекционное заболевание, известное под названием куру, которое распространено в племенах аборигенов Папуа—Новой Гвинеи. У этих племен в похоронный ритуал входят манипуляции с органами умершего, в том числе поедание мозга. Кроме того, синдром Крейцфельда—Якоба имеет близкое сходство с болезнью крупного рогатого скота, называемой коровьим бешенством, или спонгиозной энцефалопатией крупного рогатого скота. Из-за этой болезни в Великобритании в 1986 г. погибло 15 тыс. голов крупного рогатого скота.

Опасения Митрова разделяются другими исследователями. В большинстве своем они придерживаются мнения, что синдром Крейцфельда—Якоба, куру и коровье бешенство представляют собой необычные медленные инфекции, близкие болезни овец скрэпи, или почесухе, проявляющейся в «губчатой» дегенерации мозговой ткани и появлению в мозге отложений специфического фибриллярного белка. Д. Гайдушек, возглавляющий лабораторию по изучению центральной нервной системы в Национальном институте неврологических расстройств, нарушений речи и инсульта и сотрудничающий с Митрова, назвал вспышку синдрома Крейцфельда—Якоба в Словакии оравским куру. По его мнению, спонгиозная

энцефалопатия крупного рогатого скота и оравское куру, а также быстрое распространение почесухи в США свидетельствуют о том, что в 1970-х годах началась глобальная эпидемия инфекции «куру-вируса». «Заболеваемость людей ставит серьезную проблему», — предостерегает Гайдушек, который в 1976 г. был удостоен Нобелевской премии за то, что установил заразность куру для шимпанзе.

По словам Митрова, особенно тревожно то, что оравское куру может быть результатом заражения человека от овец, больных почесухой. Во многих случаях оравского куру больной часто и тесно соприкасался с овцами. Более того, недавно Митрова обнаружила у овец из Оравы характерные дегенеративные изменения в мозге. «Если эти данные достоверны, мой скептицизм будет сильно поколеблен», — заметил специалист по почесухе микробиолог Р. Роувер из Университета Северной Каролины в Чэпел-Хилл.

Болезни, подобные почесухе, не очень разборчивы в отношении своих жертв. В Великобритании за последние несколько месяцев состояния, похожие на спонгиозную энцефалопатию крупного рогатого скота, наблюдались у содержащихся в зоопарках антилоп и у домашних кошек. Население крайне взволнованно из-за боязни того, что это заболевание, может быть, передается человеку, и цены на говядину упали. Министерство сельского хозяйства США начало программу контроля за спонгиозной энцефалопатией крупного рогатого скота: скот, ввозимый из Соединенного Королевства, обследуется, и затем за ним ведется наблюдение.

Хотя коровье бешенство в Великобритании появилось быстро, почесуха и родственные заболевания, включая синдром Крейцфельда—Якоба, в природе распространяются плохо. И если почесуха в Великобритании давно известна, то синдром Крейцфельда—Якоба встречается нечасто. Но то, что с трудом происходит естественным путем, облегчается «благодаря» технологическим достижениям. «Если очень постараться, болезнями типа почесухи можно в конце концов заразить почти любое животное путем инъекции инфекционных вытяжек непосредственно в мозг», — отметил Р. Марш из Висконсинского университета в Мадисоне. Как сказал сотрудник Гайдушека П. Браун, являющийся специалистом по синдрому Крейцфельда—Якоба, может понадобиться 40-50 живот-

МЕДЛЕННЫЕ ИНФЕКЦИИ МОЗГА

Почесуха	Овцы, козы
Спонгиформная энцефалопатия крупного рогатого скота (коровье бешенство)	Крупный рогатый скот
Инфекционная энцефалопатия но рок	Норки
Болезнь Крейцфельда—Якоба Куру Синдром Герстманна—Стросслера	Люди
Хроническое истощение со спонгиформной энцефалопатией	Вапити и чернохвостый олень (в неволе)
Спонгиформная энцефалопатия	Ньяла, орикс, домашняя кошка

ВСПЫШКА КУРУ В СЛОВАКИИ



ных, но тем не менее в итоге удастся добиться передачи инфекции.

По крайней мере 25 случаев синдрома Крейцфельда—Якоба в западных странах можно связать с технологическими новшествами, которые Гайдушек в этом смысле назвал цивилизованным способом каннибализма. Так, по данным Брауна, в 14 случаях заболевание возникло после инъекции гормона роста или же гонадотропина, выделенных из гипофиза человека. Вероятно, таких случаев на самом деле больше, поскольку болезнь имеет длительный инкубационный период. Известны 3 случая заражения в результате пересадки участков твердой мозговой оболочки из трупного материала. Как минимум в 6 случаях заражение произошло через нестерильные инструменты или электроды, применяемые в нейрохирургии. В одном случае инфекция передается с трансплантатом роговицы и еще в одном — при обработке зубного канала.

Сходным образом в Великобритании в начале 1980-х годов незаметно распространилась спонгиформная энцефалопатия крупного рогатого скота из-за несчастного стечения технологических обстоятельств. Туши овец, зараженных почесухой, перерабатывались на белковые кормовые добавки для домашнего скота. Скорее всего в связи с изменениями в технологии переработки возбудитель почесухи стал попадать в пищу и проникать в животных. Сейчас правительственными постановлениями запрещено всякое использование продуктов переработки тканей жвачных животных для питания скота, а также потрохов, которые, как считается, могут содержать инфекционный агент почесухи.

Природа этого инфекционного агента остается неясной, и предположения о ней весьма противоречивы.

Очевидно, что он обладает необычными свойствами: не вызывает в зараженном организме никакого иммунного ответа и устойчив к воздействиям, губительным для других инфекционных агентов. Браун четырежды повторил эксперимент, демонстрирующий, что возбудитель почесухи сохраняется даже при температуре +360°C, при которой разрушаются аминокислоты и пары оснований ДНК и РНК. «Это сильно обескураживает», — сказал он.

Кроме того, инфекционный агент почесухи необычно устойчив к ультрафиолетовому излучению и другим воздействиям, разрушающим нуклеиновые кислоты. Одна из точек зрения, которой придерживается известный специалист по инфекциям, подобным почесухе, С. Прузинер из Калифорнийского университета в Сан-Франциско, состоит в том, что инфекционный агент почесухи представляет собой аномальный фибриллярный белок, который откладывается в зараженной мозговой ткани. Этот белок, возможно, катализирует образование самого себя из некоего нормального белка, присутствующего в мозге; при этом нет нужды в нуклеиновой кислоте. Гайдушек даже высказал предположение, что здесь играет роль какой-то «минерал».

По мнению Роувера, гипотеза об исключительно белковой природе возбудителя почесухи становится все менее вероятной. Анализируя результаты воздействия излучения и тепла, он пришел к выводу, что инфекционный агент — это маленький вирус. Другие эксперименты продемонстрировали существование различных «штаммов» почесухи, свидетельствуя о присутствии какого-то генетического материала. Правда, Роувер опасается, что некоторые результаты объясняются загрязнением.

Наиболее популярна среди специалистов промежуточная точка зрения, а именно: инфекционный агент почесухи представляет собой защищенную белком небольшую нуклеиновую кислоту, размеры которой столь малы, что она не может кодировать белок, но все же несет некоторую генетическую информацию. Сторонником этой гипотезы является Марш. В специфическом белке, выделенном из зараженного мозга, он обнаружил фрагмент митохондриальной ДНК. Пока не удалось показать, что такая ДНК присутствует лишь в зараженных почесухой тканях, что послужило бы доказательством ее роли.

Почему болезнь Крейцфельда—Якоба столь распространена в Ораве? Как будто никаких технологических поводов к тому не было. Возможно, причина здесь генетическая. Эксперименты показывают, что мутации в гене, кодирующем нормальный мозговой белок, модификация которого характерна для почесухи, могут влиять на подверженность животных заболеванию. Л. Гольдфарб, а также Браун и Гайдушек с коллегами обнаружили специфические мутации в этом гене у пяти неродственных друг другу человек, страдающих синдромом Крейцфельда—Якоба; в их числе — несколько оравских случаев.

Итак, оравское куру, возможно, является результатом воздействия инфекционного агента на генетически чувствительных к нему людей. По мнению Митрова, важны оба фактора. В Ораве половина случаев заболевания произошла в семьях, где уже были такие больные. Это поддерживает гипотезу о генетической причине. В то же время у многих больных нет мутаций в соответствующем гене. Результаты попыток Гайдушека и Митрова решить оравскую загадку интерпретируются неоднозначно.

Распространение семян муравьями

Тысячи видов растений для распространения семян нуждаются в помощи муравьев. Чтобы эти насекомые переносили семена, не повреждая их, растения имеют специальные пищевые приманки и другие приспособления

СТИВЕН Н. ХЕНДЛ, ЭНДРЮ ДЖ. БИТТИ

ЧТОБЫ распространять свои семена как можно шире и дальше, растения часто пользуются помощью животных. У одних растений семена могут на время прицепляться к шерсти зверей или перьям птиц. У других, в том числе у культурных плодовых деревьев, семена проглатываются плодоядными животными и прорастают после того, как покинут организм животного с экскрементами или отрыжкой. Однако семена распространяют не только позвоночные животные; в этом велика также роль муравьев.

Биологи только начинают разбираться в специализированных механизмах, ставящих муравьев в число основных факторов распространения растений по земному шару. В самом деле, растения, расселяющиеся при посредстве муравьев, встречаются в различных экосистемах на всех материках кроме Антарктиды. Сейчас известно свыше 3000 видов цветковых растений из 60 семейств, распространяющихся таким путем, и список этот все пополняется.

Между растениями и муравьями, разносящими их семена, складывается истинный мутуализм, т. е. взаимовыгодные отношения. Мутуализм возник независимо в столь многих группах растений, что, видимо, можно говорить о сильном, многократно повторявшемся в ходе эволюции давлении отбора, способствовавшем его появлению. Процессу естественного отбора, связанного с мутуализмом между растениями и животными, эволюции межвидовых отношений такого рода и создаваемым ими экологическим преимуществам и посвящена эта статья.

Есть два различных механизма распространения семян растений при участии муравьев. Первый обусловлен несовершенством поведения муравьев-жнецов, которые собирают в большом количестве семена и перетаскивают их в свои гнезда, а затем по-

едают. Эти насекомые часть семян теряют по дороге, а часть складывают в подземные кладовые, но потом туда не наведываются. Такие семена прорастают и растение появляется в новых местах.

Поскольку муравьи все-таки поедают больше семян, чем роняют или неудачно прячут, описанный механизм оказывается куда выгоднее для муравьев, нежели для растений, которые лишаются основной массы семян. Поэтому разнос семян муравьями-жнецами следовало бы отнести к побочным эффектам питания семенами, а не к мутуализму. Действие этого механизма ограничивается почти исключительно засушливыми областями.

Нас будет интересовать второй механизм распространения семян, принципиально отличный от первого и имеющий гораздо большее значение в природе. В этом механизме участвуют растения, у которых развиваются так называемые элайосомы — жиросодержащие образования, прилегающие к семенам или прикрепленные к нему. Элайосомы служат приманкой для муравьев, и те уносят семена вместе с элайосомами к себе в гнездо. Там обитатели колонии съедают элайосому, а семя выбрасывают, не нанося ему ущерба.

При этом растению не приходится жертвовать своими семенами ради пропитания муравьев. Такие отношения, получившие название мирмекохория (от греч. «мирмекс» — муравей и «хоре» — продвигаюсь, распространяюсь), по-видимому, можно считать истинным мутуализмом, так как они выгодны и муравьям, таскающим семена, и растениям, образующим элайосомы.

В ходе эволюции элайосомы в качестве приманки для муравьев многократно появлялись в различных семействах растений. Они весьма обычны для растительности влажных лесов Европы и восточной части Север-

ной Америки, сухих кустарниковых сообществ Восточной Австралии, а также растительных сообществ на юге Африки.

Чаще всего в семействе лишь некоторые виды распространяются с помощью муравьев. Например, в огромном роде осок *Carex* только у нескольких видов известны элайосомы, обеспечивающие, как было показано, разнос семян муравьями. Многие другие виды того же рода расселяются с помощью воды или позвоночных животных. Среди растений рода *Trillium*, отличающихся крупными цветками, у ряда видов семена снабжены элайосомами и распространяются муравьями, тогда как у других форм плоды мясистые и расселение совершается при посредстве позвоночных. Эти примеры, взятые из филогенетически очень далеких групп, показывают, что мирмекохория может возникать независимо в рамках отдельного рода.

ПЕРВЫМ мирмекохорию подробно исследовал ботаник Йохан Рутгер Сернандер из Уппсальского университета в Швеции; в 1906 г. он опубликовал обзор мирмекохорных растений европейской флоры. Применяя количественный экспериментальный подход, Сернандер установил большое значение мирмекохории для большинства европейских типов рас-

РАСТЕНИЕ *TRILLIUM PETIOLATUM* обладает рядом особенностей, побуждающих муравьев разносить его семена. Цветок расположен необычно близко к земле, что позволяет муравьям легко достать семена. На семенах имеются богатые жирами придатки, называемые элайосомами, которые весьма привлекательны для муравьев. Они относят семена с элайосомами к себе в гнездо, где съедают элайосому, а само семя выбрасывают, после чего оно может прорасти.





РАСТЕНИЕ *DICENTRA CUCULLARIA* (слева) в конце весны роняет снабженные элайосомами семена из коробочек (в середине). Справа показаны 4 семечка с элайосомами

(внизу) и 4 семечка, извлеченные из мусорной камеры муравейника. Хотя элайосомы последних съедены, семена могут прорасти в богатой почве.

тельности. Результаты множества его полевых опытов с различными видами растений показали, что при возможности выбора муравьи предпочитают семена с элайосомами.

Хотя изучение растений-мирмекохоров началось в Европе, ботаники скоро обследовали растительность и других континентов. Постепенно к списку мирмекохоров добавились растения Северной и Южной Америки. В Европе и Северной Америке большинство их составляют травянистые растения влажных листопадных лиственных лесов (первым заметил эту закономерность еще Сернандер). В Латинской Америке муравьи разносят семена многих трав, эпифитов и лиан тропического дождевого леса.

Мирмекохоры особенно многочисленны в Австралии и на юге Африки, где они представлены главным образом жестколистными кустарниками, произрастающими на аридных почвах, бедных питательными веществами. В 1975 г. Р. Берг из Университета в Осло опубликовал результаты своих исследований, согласно которым в Австралии около 1,5 тыс. видов из 87 родов растений распространяется при участии муравьев. В специфических растительных сообществах Южной Африки, именуемых «финбош», встречается более тысячи мирмекохорных видов. Ведущиеся сейчас исследования живого мира тропиков, несомненно, значительно пополнят этот список.

Таксономическому разнообразию растений с элайосомами соответствует и широчайший ассортимент растительных тканей, превратившихся в структуры для привлечения муравьев.

У ряда видов, например у *Dicentra cucullaria*, элайосома образуется из разросшегося участка оболочки семени. У других видов, в частности у цветущих весной печеночниц, произрастающих на востоке Северной Америки, элайосомы происходят из части стенки завязи, окружающей семя. В роде *Carex* элайосомы возникают из ткани прицветника, облегающего завязь. Известны случаи, когда элайосомами становятся и некоторые другие органы цветковых растений.

Разнообразие происхождения элайосом — хороший пример конвергентной эволюции, демонстрирующий, как различные по форме и функциям структуры могут преобразовываться в процессе естественного отбора и приобретать одинаковое с экологической точки зрения назначение. В случае элайосом растительные ткани, первоначально игравшие роль защиты от насекомых-фитофагов или иных факторов, претерпев биохимические и структурные изменения, превратились в пищевые приманки для муравьев.

Элайосомы состоят из сильно видоизмененных клеток, содержащих крупные вакуоли — окруженные мембраной полости, заполненные смесью различных питательных веществ. Изучив широкий круг растений-мирмекохоров, А. Бжезински из Мюнхенского университета установил, что в элайосомах содержится богатый набор жиров, жирных кислот и прочих необходимых животным веществ. Так что муравьи могут использовать элайосомы в качестве пищи.

Большинство муравьев всеядны: они едят насекомых и различный ма-

териал растительного и животного происхождения, который находят на поверхности почвы. Должно быть, элайосомы и прикрепленные к ним семена химически имитируют животные ткани, что побуждает муравьев хватать их.

Элайосомы, возможно, включают и иные химические компоненты, вызывающие фуражировочные поведенческие реакции муравьев. Д. Маршалл из Университета в Нью-Мексико и ее коллеги выделили из элайосом европейской душистой фиалки (*Viola odorata*) специфическое вещество — полярный липид 1,2-диолеин, являющийся аттрактантом для муравьев. Сходное соединение было обнаружено в элайосомах двух австралийских кустарников — *Acacia myrtifolia* и *Tetradlea stenocarpa*.

Значение этих веществ для муравьев пока не вполне ясно, однако их присутствие у мирмекохорных растений на противоположных сторонах земного шара говорит о том, что здесь имела место конвергентная эволюция. Кроме того, подобное сходство наводит на интересное предположение, что элайосомы могут вызывать у муравьев не только реакцию собирания корма, но и другие врожденные типы поведения. Так, известно, что олеиновая кислота побуждает некоторых муравьев выносить из гнезда погибших особей. Возможно, элайосомы, содержащие это вещество, уносятся муравьями по той же причине.

ПОМИМО пищевых приманок — элайосом — мирмекохорные растения иногда имеют и другие морфологические приспособления, облег-

чающие попадание семян в места, посещаемые муравьями. У некоторых растений стебли и побеги, несущие плоды, столь тонки и гибки, что при созревании семян склоняются почти до земли, оказываясь на пути фуражирующих муравьев.

Другие растения претерпели более глубокие морфологические изменения. К примеру, у осоки *Carex umbellata* цветonoсный побег очень сильно укорочен и семена (вместе с окружающими их тканями) созревают у самой земли, так что все время пребывают на том уровне, где муравьи ищут свой корм.

Еще резче выражены морфологические изменения у *Trillium petiolatum*, произрастающего на западе Северной Америки. Большинство видов рода *Trillium* имеет один цветок и три листа, расположенные на верхушке высокого (до 30 см) стебля. А у *T. petiolatum* крупный заметный цветок образуется совсем близко к земле, и там т. е. в доступном для муравьев месте, вызревают семена, снабженные элайосомами. Кроме того, если бы у *T. petiolatum*, как у прочих видов того же рода, листья росли мутовкой под цветком, они оказались бы прямо на поверхности грунта. Однако у этого вида листья хотя и прикрепляются к стеблю в обычном месте, т. е. под цветком, но листовые пластинки сидят на конце длинных черешков, приподнимающих листья над цветком так, чтобы они располагались более удобно для фотосинтеза. Короче говоря, типичная для рода *Trillium* «архитектура» растения обращена в свою противоположность. Чтобы дать разумное эволюционное объяснение такой формы *T. petiolatum*, следует предположить, что распространение семян муравьями обеспечивает огромные преимущества.

Для более эффективного распространения семян у мирмекохоров могут также изменяться сроки их созревания. В зонах с умеренным климатом у большинства таких растений семена и элайосомы созревают уже ранней весной. В это время трупы насекомых, часто составляющие основу рациона муравьев, встречаются гораздо реже, чем летом, когда численность насекомых многократно возрастает. Таким образом, растения, у которых зрелые элайосомы появляются весной, будут испытывать меньшую конкуренцию за внимание фуражирующих муравьев, и семена их будут переноситься чаще, чем летом или осенью.

Преобладание весенних мирмекохоров можно объяснить действием естественного отбора, который благоприятствовал раннему созреванию

семян и элайосом. Разумеется, высокой интенсивности метаболизма лесных травянистых растений ранней весной могут способствовать и другие факторы — в частности, обилие солнечного света на уровне грунта до распускания крон деревьев. Не исключено, что особенности фуражировки муравьев составляют лишь дополнительный фактор давления отбора, усиливающий развитие растений-мирмекохоров ранней весной.

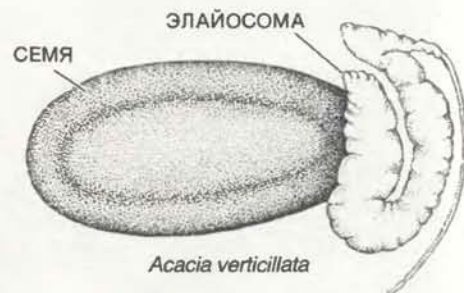
МУРАВЬИ, собирающие семена, составляют довольно «разношерстную» группу. Многие из них, судя по ряду признаков, явно должны быть плотоядными. К. Горвиц из Университета в Майами показал, например, что на юге Мексики семена *Calathea* переносят муравьи из родов *Odontomachus* и *Pachycondyla*, у которых мощные жала и крупные мандибулы, позволяющие справляться с живой добычей. Тем не менее эти муравьи очень активно собирают семена и относят к себе в гнездо, где отделяют от семян элайосомы и скормливают их личинкам. Может статься, какие-то химические соединения, содержащиеся в элайосомах, являются для муравьев таким же стимулом, каким обладают животные-жертвы.

Семена разносят и представители многих других родов. В лесах умеренной зоны Европы и Северной Америки это обычно *Formica*, *Myrmica* и *Aphaenogaster*; на вересчатниках юго-востока Австралии наиболее заметную роль играют виды родов *Rhytidoponera*, *Pheidole* и *Iridomyrmex*. Даже такие типично зерноядные муравьи-жнецы, как *Messor*, *Pogonomyrmex* и *Veromessor*, в определенных условиях, как выяснилось, служат разносчиками семян.

При мирмекохорном способе расселения растению прямой смысл привлекать как можно больше разных муравьев. Как правило, в одном и том же месте встречается довольно много видов муравьев, так что если растение обладает способом привлечения только для одного из них, оно этим явно лишается многих выгод. В действительности среди тысяч известных науке мирмекохорных видов растений нет ни одного, о котором можно было бы с уверенностью сказать, что он ориентирован на какой-то один вид муравьев.

Точно так же нет и доказательств специализации какого-либо вида муравьев к одному определенному виду мирмекохорного растения. Такое отсутствие специализации резко контрастирует с широко распространенной в тропиках видоспецифичностью взаимоотношений между насекомыми и

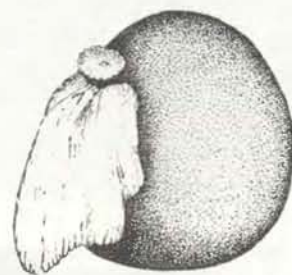
СЕМЕНА С ЭЛАЙСОМАМИ



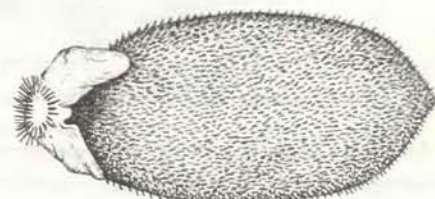
Acacia verticillata



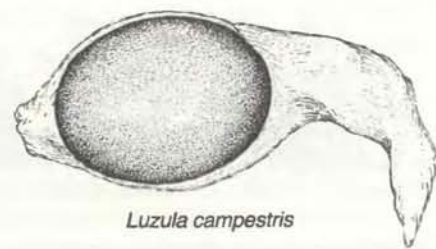
Viola nuttallii



Corydalis aurea



Polygala vulgaris



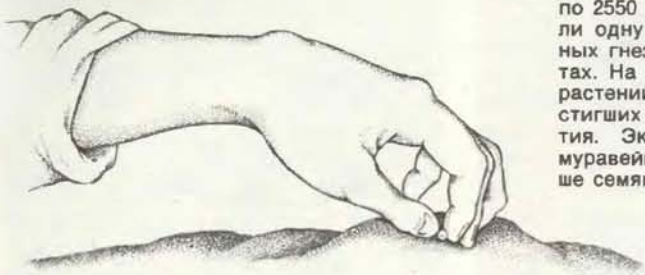
Luzula campestris



Lamium album

КАКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ДАЕТ ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН НА МУРАВЕЙНИКЕ?

ПОСАДКА СЕМЯН



Две группы семян *Corydalis aurea* по 2550 штук в каждой высаживали одну на поверхности муравьиных гнезд, другую — в иных местах. На диаграмме показана доля растений той и другой групп, достигших различных стадий развития. Экземпляры, выросшие на муравейниках, дали гораздо больше семян.

ПОЯВЛЕНИЕ ПРОРОСТКОВ



РАСТЕНИЯ, ПЕРЕЖИВШИЕ ЗИМУ



РАСТЕНИЯ, ДАВШИЕ СЕМЕНА



НА
МУРАВЕЙ-
НИКАХ

100

65

33

ВНЕ
МУРАВЕЙ-
НИКОВ

67

29

5

ОБЩЕЕ КОЛИЧЕСТВО ОБРАЗОВАВШИХСЯ СЕМЯН

НА
МУРАВЕЙ-
НИКАХ — 20,448 ТЫС.

ВНЕ
МУРАВЕЙ-
НИКОВ — 10,718 ТЫС.

растениями, что часто имеет огромное значение для опыления. В связи с этим явление мирмекохории следовало бы считать результатом эволюции растений, а не козволости растений и насекомых. С «точки зрения» муравьев элайосома, должно быть, пред-

ставляет собой все тот же корм, который надо притащить домой, только в особой упаковке.

Почему именно муравьи распространяют семена? Ведь там, где растут мирмекохоры, как правило, встречаются и представители мно-

жества других групп насекомых. Однако чтобы обеспечить эффективное расселение растения требуются такие насекомые, которые перемещали бы семена на значительное расстояние, не повреждая их. Этому требованию отвечают лишь общественные насекомые, которые относят корм в свое гнездо, а не поедают его на месте. Обычно рабочие особи обследуют и обирают некоторую территорию вокруг гнезда (муравейника), а затем тащат туда все съедобное для выкармливания личинок. Вот почему эволюция социального поведения у муравьев преадаптировала их (т. е. заранее сделала пригодными) для эффективного распространения семян.

У муравьев есть и другие особенности, подходящие для роли распространителей семян. В большинстве местообитаний муравьи принадлежат к наиболее многочисленным насекомым; они интенсивно ищут корм на поверхности почвы в течение всего периода вегетации растений; обнаружив новый источник пищи, муравьи мобилизуют других рабочих особей, чтобы собрать как можно больше корма; если попадает место, особенно богатое кормом, они могут даже переселиться туда всем гнездом. Все эти черты поведения выгодны мирмекохорным растениям, стремящимся распространить свои семена.

Поскольку мирмекохория встречается по всему миру в самых разных местообитаниях, экологи задумались над тем, нет ли каких-либо общих закономерностей в эволюционных преимуществах, получаемых растениями благодаря этому явлению. И вот недавно ряд полевых и лабораторных экспериментов выявил, каким образом привлекательность семян для муравьев повышает выживаемость и плодовитость мирмекохорного вида растений.

Расширение границ ареала — вот основная польза для растения от распространения семян муравьями. Часто муравьи относят семена всего на метр-другой, однако зарегистрированы перемещения и на расстояние 70 м. Так благодаря муравьям растения получают возможность заселить новые территории. Рассеивание популяции уменьшает вероятность ее вымирания из-за локальных изменений местообитаний. Это преимущество может обеспечить любой вид муравьев независимо от его гнездостроительных повадок.

Благодаря муравьям могут также возрасти шансы на выживание семян, поскольку они уносятся от родительского растения и его тень не будет подавлять развитие проростков. Один из авторов данной статьи, а



РАБОЧИЕ ОСОБИ муравьев *Aphaenogaster rudis* подносят личинок к семенам волчьей стопы канадской (*Sanguinaria canadensis*), чтобы личинки могли съесть элайосомы.

В чем состоят особые преимущества элайосом как корма для муравьев, до сих пор точно не известно.

именно Хендл, провел следующий опыт. Семена осоки *Carex pedunculata*, оставленные под родительским растением, давали проростки лишь с тремя листьями, а из семян, удаленных из-под него, за то же время развивались проростки, имевшие в среднем по 89 листьев. Более того, перемещенные семена оказались гораздо более плодovitыми: лишь они дали растения, зацветшие уже на следующее лето.

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ семян муравьями снижает конкуренцию не только между проростками и материнским растением, но и между растениями разных видов. Так, в опытах Хендла с тремя видами *Carex* (из которых один был мирмекохором), произраставшими в одном местообитании, мирмекохорному виду мешало присутствие других осок, и он хорошо рос лишь особняком.

Поскольку местных муравьев интересовали только семена с элайосомами, они, естественно, забирали семена осоки-мирмекохора в свои гнезда. Благодаря этому мирмекохорный вид получал возможность монополизировать в данном местообитании те участки, где было много муравейников (например, в гнилой древесине). Здесь ему не приходилось конкурировать с другими видами *Carex* за про-

странство, свет, питательные вещества и прочие основные ресурсы. Мирмекохория была бы эффективна и в присутствии представителей многих других родов, проростки которых конкурируют за «место под солнцем».

Еще большие потери, нежели от конкуренции, семена и проростки несут из-за поедания их животными, в частности птицами и мелкими грызунами, для которых семена составляют основу рациона. Кроме того, как известно любому садоводу, улитки и слизняки тоже губят проростки.

В ряде районов земного шара изучалась возможность того, что пребывание семян в муравейниках сберегает их от поедания по крайней мере некоторыми зерноядными животными. По данным исследований, проведенных в лесах Западной Виргинии и в субальпийских лугах шт. Колорадо, семена, помещенные на небольшие площадки, огражденные от проникновения муравьев, практически неизбежно поедались в течение суток. Если же доступ муравьям не перекрывался, семена с элайосомами быстро попадали в их подземные хранилища. Тернбелл из Университета Маккуори в Австралии показала, что у *Viola nuttallii*, произрастающей в Колорадо, сезонная и суточная динамика выско-

бождения семян соответствует периодам максимальной активности муравьев.

Пожалуй, особенно интересна ситуация с поеданием семян в вересковых сообществах и редколесьях Австралии, где преобладающим элементом растительности являются жестколистные кустарники (склерофиллы), а мирмекохорные виды довольно многочисленны, как и зерноядные животные. Парадоксально, что основные зерноядные виды здесь — муравьи. Судя по результатам одной из последних работ Л. Хьюз (также из Университета Маккуори), в таком сообществе судьба упавшего семени зависит от того, кто первый найдет его — «полезный» муравей, переносящий семена, или же «вредный», поедающий их. Если у семени имеется элайосома, то больше вероятность, что «полезный» муравей подберет его раньше «вредного».

Еще одну угрозу представляют собой пожары. Особенно велика их роль в австралийских и южноафриканских экосистемах с преобладанием кустарников. Однако у растений этих сообществ существует целый ряд приспособлений для переживания пожаров. Многие виды, и в их числе некоторые мирмекохоры, не просто устойчивы к огню, а нуждаются в пожарах для



ГНИЮЩИЕ СТВОЛЫ ДЕРЕВЬЕВ часто заселяются муравьями. Растения, показанные на этой фотографии, появились из семян, принесенных муравьями в свое гнездо. Большинство среди них составляет осока *Carex pedunculata*, но есть также фиалки и печеночницы.

своего размножения. Данные, полученные рядом австралийских исследователей, убедительно свидетельствуют о том, что перемещение в гнезда муравьев предохраняет семена от летального перегрева при пожарах в кустарниковых сообществах. Но некоторые семена из числа разносимых муравьями не способны прорасти без определенного сублетального нагревания. Раскопки муравейников показали, что семена оказываются зарыты на разную глубину. Такое расположение в «зернохранилищах», вероятно, выгодно растениям, поскольку благодаря этому в каком-то из слоев наверняка сохранятся семена, не испытывавшие смертельного перегрева, но нагретые достаточно сильно, чтобы прорасти.

В отличие от птиц и млекопитающих, разбрасывающих попавшие к ним семена почти случайным образом по всей территории, муравьи относят их в строго определенные места своей колонии; эта поведенческая особенность тоже повышает выживаемость семян. Так, в умеренно увлажненных лесах муравьи часто гнездятся в гниющих стволах и пнях, поднимающихся над уровнем грунта. Подобные места менее подвержены затоплению при весеннем паводке и тем весьма удобны и для муравьев, и для семян.

КАК и в любом другом животном (и человеческом) сообществе, в колонии муравьев накапливаются отбросы. Муравьиные «мусорные свалки» содержат остатки добычи, экс-

кременты, тела погибших особей и массу иного материала (о назначении которого догадаться подчас невозможно), который муравьи подбирают и неизменно притаскивают домой. Для прорастающих семян и проростков, особенно мирмекохорных видов, попадание на подобную свалку может оказаться очень полезным.

В органических отбросах часто велико содержание питательных веществ, необходимых для роста растений (поэтому садоводы устраивают компостные кучи, а фермеры вносят навоз в почву плантаций). В гнездах муравьев концентрация органических веществ, азота, калия и фосфора часто бывает выше, чем в окружающей почве. Таким образом, отбросы муравьиной колонии могут предоставить проросткам пусть небольшой, зато готовый к употреблению запас компоста, столь необходимый растению на ранних стадиях развития, особенно чувствительных к условиям внешней среды.

Выживанию проростков способствуют также физические свойства почвы, на которой расположено муравьиное гнездо, и соседних с ним участков. Сооружение муравейника часто делает почву более рыхлой и лучше аэрированной, повышает ее способность удерживать воду. Как полагают некоторые исследователи, главное, что дает растению муравейник, — это поступление к проростку необходимого количества воды в период, когда его корни еще слишком малы, чтобы самостоятельно обеспечить водоснабжение растения.

Итак, ясно, что муравьи могут существенным образом влиять на экологические условия развития проростков. Чтобы оценить роль мирмекохории в эволюции, были проведены полевые эксперименты, в которых прослеживали и сравнивали судьбу двух групп семян: одни семена были унесены в гнездо муравьями, а другие посеяны в том же местообитании вручную случайным образом. В числе первых опытов такого рода изучались два мирмекохорных вида фиалок на юге Англии. По прошествии 3 лет, когда семена проросли и появились проростки, оказалось, что все выжившие растения принадлежали исключительно к группе, прошедшей через муравейник.

Недавно аналогичный эксперимент был проделан с двухлетним растением хохлаткой золотой (*Corydalis aurea*), которое дает семена на второй год. Ф. Ханзава из Гриннел-колледжа обнаружил, что выживаемость проростков, взошедших на муравейниках и вне их, одинакова. Однако среди проростков первой группы доля переживших зиму и достигших репродуктивного возраста была выше. Это привело к тому, что в следующем поколении разница в общем количестве семян, образованных растениями первой и второй групп, оказалась весьма значительной: урожай семян с растений, прошедших через муравейник, получился вдвое больше, чем в контрольной группе.

Поскольку в первом поколении число семян в разных группах было строго одинаковым, очевидно, что популяция золотой хохлатки, эксплотируемая муравьями, будет расти намного быстрее, нежели в отсутствие муравьев. А быстро растущая популяция имеет больше шансов одержать победу в конкуренции с другими растениями за питательные вещества, жизненное пространство и прочие ресурсы. Таким образом, данные Ханзава говорят о том, что на эволюционный потенциал растительных популяций влияют экологические условия распространения семян, в том числе присутствие муравьев.

СЛЕДОВАТЕЛЬНО, мирмекохория несомненно дает некоторым видам растений целый ряд преимуществ. Но пока не установлено с определенностью, что же конкретно выигрывают в процессе этого взаимодействия муравьи. Скажем, известно, что фуражирующие муравьи активно разыскивают элайсомы, быстро отгрызают их от семян и скармливают личинкам. Но как такое поведение влияет на скорость роста муравьиной колонии, еще предстоит выяснить.

Заслуживает внимания и тот факт, что не все муравьи участвуют в распространении семян. Когда с какого-то растения осыпаются семена, лишь небольшая часть из множества видов муравьев, населяющих данное местообитание, проявляет интерес к элайосомам. Должно быть, среди муравьев есть определенная специализация, но до сих пор неизвестно, какова ее природа — поведенческая, морфологическая, пищевая или еще какая-нибудь.

Вот почему распространение семян муравьями можно считать важной моделью для изучения широкого круга взаимодействий между растениями и животными, которые представляются в определенном смысле асимметричными. Растения явно выработали специальные приспособления, чтобы иметь дело с муравьями (наиболее заметным среди адаптивных признаков являются элайосомы), а вот в чем заключаются адаптации, приобретенные муравьями, — далеко не столь очевидно.

Хотя в качестве механизма распространения семян мирмекохория и оправдывает себя, в то же время она не вполне надежна. Элайосомы привлекательны для муравьев самых разных групп. Однако, как показали опыты с хохлаткой золотой, в гнездах некоторых видов муравьев проростки никогда не появляются. По-видимому, эти муравьи безвозмездно пользуются элайосомами, вероятно, уничтожая семена, прикрепленные к ним, или проростки.

Помимо таких муравьев-расхитителей в любом местообитании найдется с десяток других факторов, влияющих на успех или провал мирмекохории как механизма распространения семян. Порой жилища муравьев затопляют дожди; их популяцию может подорвать грибковая эпизоотия или бурная деятельность хищников. При избытке иных источников корма элайосомы могут оказаться не столь уж привлекательны для муравьев. Если нескольких видам растений приходится конкурировать за обслуживание их муравьями, последние, может быть, пренебрегут семенами с элайосомами наименьшего размера.

Поскольку эффективность распространения семян муравьями колеблется в широких пределах, Х. Кашмен из Университета Маккуори и Дж. Эддикотт из Университета пров. Альберта (Канада) предположили, что мирмекохория представляет собой условный мутуализм. В тот или иной момент в данном месте этот механизм в зависимости от преобладающих условий может работать не очень эффективно. Однако если соблюдены все условия, выгоды от мирмекохо-

рии как для растений, так и для муравьев оказываются очень существенными. И выгоды эти настолько велики, что давление отбора сохраняет признаки, необходимые для поддержания соответствующих типов поведения.

Коль скоро список известных мирмекохорных растений все время уве-

личивается, можно надеяться, что и знания о роли этого механизма расселения растений в мировой биоте будут расширяться. Дальнейшие исследования преимуществ, создаваемых мирмекохорией растениям и муравьям, помогут прояснить также мутуалистические взаимоотношения и их эволюционные последствия.

Наука и общество

Тайны микромира

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ данные эксперимента, проводимого в СССР, по-видимому, подтверждают предположение о том, что Солнце испускает гораздо меньше неуловимых частиц, называемых нейтрино, чем предсказывает современная теория. Этот результат, если он подтвердится, может привести к пересмотру представлений, существующих в физике элементарных частиц, астрофизике и космологии. «Он может опрокинуть все теории», — говорит Дж. Эллис из Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН) вблизи Женевы.

Существует три типа нейтрино, соответствующие трем частицам, известным как лептоны — электрону, тау-лептону и мюону. С тех пор, как нейтрино были обнаружены в 1956 г., они стали играть роль некоего объединяющего фактора в моделях взаимодействия частиц и эволюции звезд.

То, что с этими моделями не все в порядке, физики впервые заподозрили в 70-х годах, когда детектор, установленный в шахте шт. Южная Дакота, зарегистрировал менее 1/3 того числа нейтрино, которое, как полагают, излучает Солнце. (Размещая детекторы под землей, удается уменьшить число ложных сигналов, вызываемых другими типами космического излучения.) Когда в конце 80-х годов это открытие было подтверждено в эксперименте на детекторе, установленном в Японии, дефицит солнечных нейтрино превратился в одну из главных загадок физики (см. статью: Джон Н. Бакал. Проблема солнечных нейтрино, «В мире науки», 1990, № 7).

Некоторые исследователи, однако, отмечая, что детекторы в Южной Дакоте и Японии чувствительны только к определенным высокоэнергичным нейтрино, ставили вопрос: существу-

ет ли дефицит более распространенных низкоэнергичных нейтрино. Чтобы ответить на этот вопрос, советские и американские ученые, объединившись, построили недавно детектор низкоэнергичных нейтрино на Северном Кавказе в СССР. В январе этого года появились первые результаты советско-американского галлиевого эксперимента (SAGE).

В июне на конференции «Нейтрино-90», проведенной в ЦЕРНе, исследователи сообщили о результатах первых четырех месяцев наблюдений. Дефицит солнечных нейтрино, зарегистрированный в эксперименте SAGE, возможно, еще больше, чем по данным с других детекторов. Согласно стандартной солнечной модели, в эксперименте SAGE за это время должны были быть зарегистрированы около 14 солнечных нейтрино, однако обработка данных показала, что наиболее вероятное значение импульса от германия-71, обусловленного солнечным нейтрино, равно 0.

Если такая тенденция сохранится и дальше, считает А. А. Старобинский из Института теоретической физики им. Л. Л. Ландау АН СССР в Москве, это приведет к «коренным изменениям в наших представлениях о нейтрино». Одно из заманчивых предположений состоит в том, что электронные нейтрино, которые в настоящее время удается регистрировать, прежде чем достигают Земли, превращаются в тау- или мюонные нейтрино. Такой эффект предсказывается в некоторых теориях Великого объединения, описывающих все силы, управляющие поведением вещества. Глубоким следствием этих теорий, по замечанию Старобинского, является то, что нейтрино по крайней мере одного типа обладают массой, возможно, даже достаточной для объяснения существования «темного» (невидимого) вещества, которое, как полагают многие космологи, играет определяющую роль в эволюции Вселенной.

Тенденции глобального потепления

Анализ данных наблюдений на суше и на море подтверждает, что за последние сто лет климат на нашей планете потеплел на 0,5°C. Вопрос о дальнейшем потеплении остается открытым

ФИЛИП Д. ДЖОУНС, ТОМ М. Л. УИГЛИ

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ данные, собранные за последние сто лет, позволяют предположить, что на Земле становится теплее. Так ли это на самом деле? Имеется много факторов — от изменений в конструкциях термометров до появления городских «островов тепла», — которые могут влиять на данные измерений и тем самым создавать эффект кажущегося потепления.

Но даже если на протяжении последних ста лет температура действительно увеличилась, есть ли основание считать, что потепление будет продолжаться? Компьютерные модели предсказывают, что продолжающиеся уже два столетия выбросы газов, задерживающих излучаемое Землей тепло, приведут в ближайшие 50—75 лет к повышению средней температуры на земном шаре на 1—4°C. Такие модели, однако, лишь довольно грубо описывают мириады сложных физических процессов, происходящих в атмосфере и океане, и не могут служить доказательством того, что эмиссия парниковых газов существенно изменит земной климат.

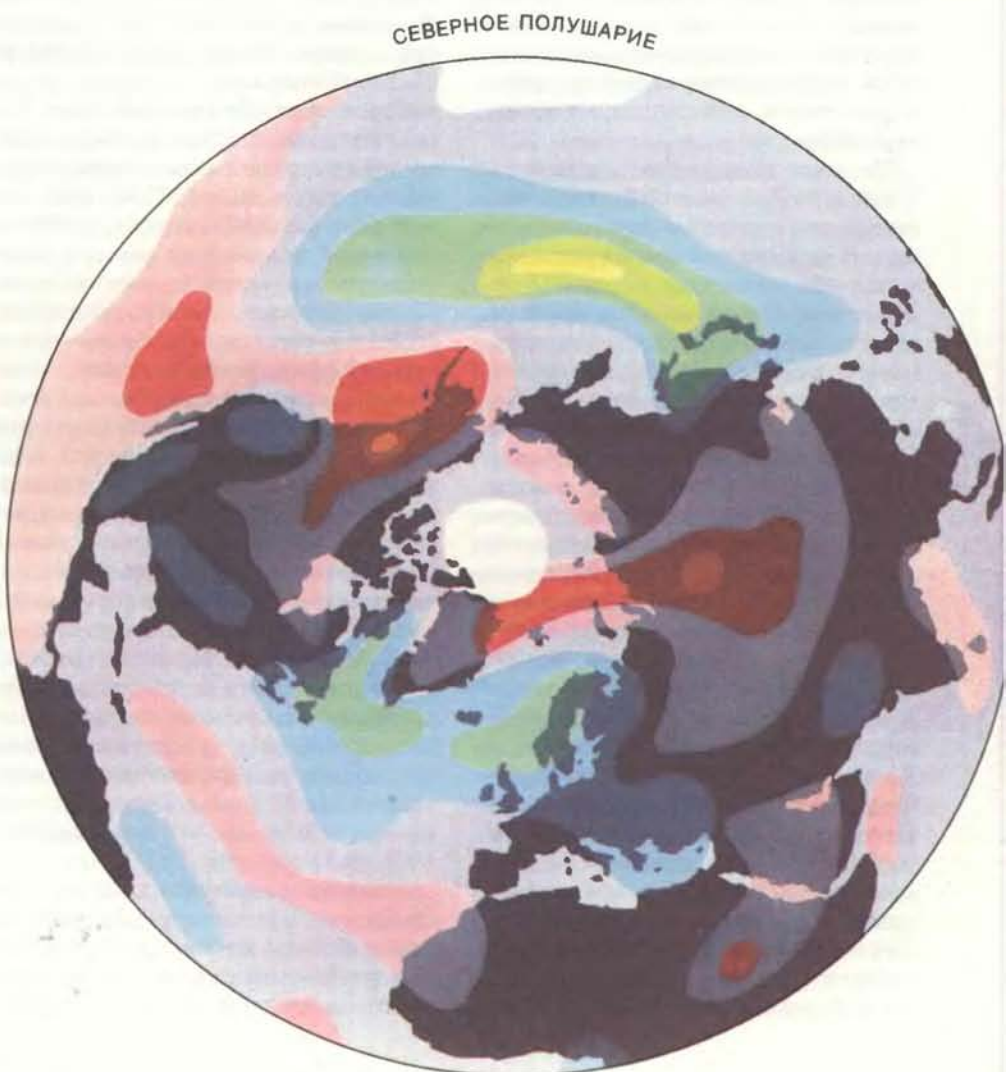
Недавно мы закончили продолжавшуюся 10 лет работу по анализу изменения средней температуры. Анализ сопровождался коррекцией данных измерений, выполнявшихся как на суше, так и на море, и был ориентирован на исключение возможных систематических ошибок. Наша работа показала со всей ясностью, что мировой климат, хотя и чрезвычайно изменчивый в масштабах нескольких десятилетий, в целом за последние сто лет стал теплее. Неуклонное повышение температуры было нарушено кратковременным похолоданием в 1940—1970 гг., после которого потепление возобновилось, не обнаруживая уже никакого отступления.

Найти причины глобального потепления климата труднее, чем обнаружить само явление. Хотя повышение температуры согласуется с гипотезой

тезой парникового эффекта, существуют и другие, разнообразные факторы, такие как вулканические извержения и океанские течения, которые влияют на климат, затушевывая «сигнал» парникового эффекта. Устранить эту неоднозначность должны помочь данные, которые будут собраны в следующие 10—20 лет (когда, согласно прогнозам, потепление значительно усилится).

АРХИВНЫЕ ЗАПИСИ температуры — вот что дает решающие

сведения о том, насколько потеплел климат в Северном и Южном полушариях, после того как в результате промышленной революции в атмосфере существенно повысилась концентрация диоксида углерода и других парниковых газов. К сожалению, собрать такие записи трудно. В наши дни измерения температуры на земном шаре ведутся с помощью Мировой службы погоды — глобальной объединенной сети национальных метеорологических служб. В прошлом измерения выполнялись в основном



отдельными наблюдателями, работавшими без всякой координации.

Примерно 10 лет назад, осознав проблему глобального потепления, мы и наши коллеги из Отдела исследований климата в Университете Восточной Англии приступили к работе по проекту, предусматривавшему сбор и анализ — причем в окончательном виде — всех доступных архивных данных наблюдений температуры. Финансовую поддержку нам оказывало Министерство энергетики США, а научнику — Раймонд Брэдли из Масачусетского университета в Амхерсте и Генри Диас из Лаборатории природных ресурсов Национального управления по исследованию океана и атмосферы (НОАА).

Работа оказалась непростой. Лишь немногие из тех исследователей, кто в XVIII и XIX столетиях проводил систематические метеорологические наблюдения, могли представить себе, насколько важными окажутся их данные для ученых, которые спустя много лет будут пытаться разгадать загадку изменений климата. Не удивительно поэтому, что оставленные нам в наследство данные измерений отрывочны и противоречивы. Тем не менее количественно оценивая раз-

личного рода неопределенности и устраняя их, мы смогли нарисовать достаточно правильную картину того, что же случилось с земным климатом за те 300 лет, в течение которых ведутся инструментальные метеорологические наблюдения.

САМЫЕ РАННИЕ наблюдения мало полезны, поскольку они выполнялись только в западной части Европы. Более того, самые ранние наблюдения температуры либо не сохранились, либо дошли до нас в обобщенной форме. Мы могли бы лишиться и того, что имеем, если бы не усилия Генриха Вильгельма Дове — немецкого метеоролога, который старался собрать, в основном путем переписки с учеными, как можно больше метеоданных.

Компиляция данных, сделанная Дове, была очень важна, однако сегодня значение этих данных ограничено, поскольку они не охватывают внутренние области Африки, Азии, Южной Америки и Австралии. С 1850 г. национальные метеорологические службы стали прилагать усилия к тому, чтобы согласованно собирать и сохранять данные наблюдений температуры; записи температуры,

которые стали вести с того времени, гораздо более полны.

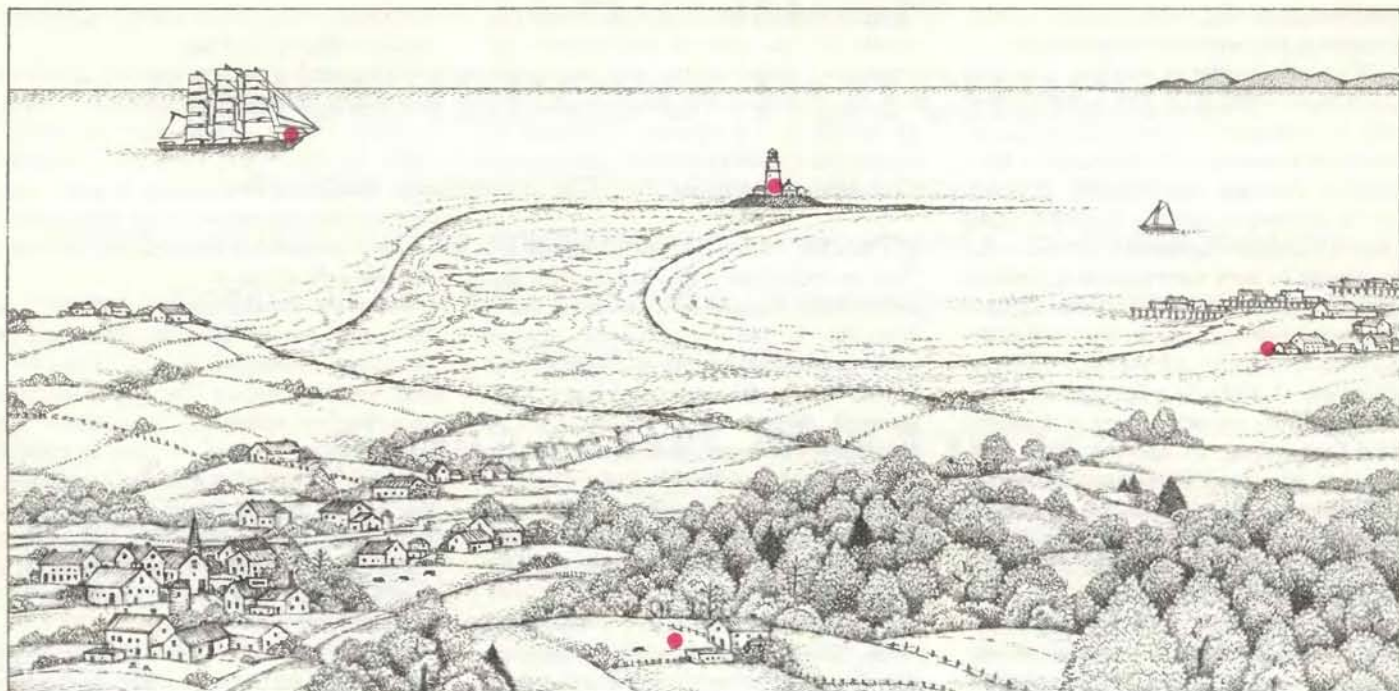
Постепенно сеть станций наблюдения распространялась по всему миру; к концу 1950-х годов она «накрыла» даже Антарктику. (В этой «экспансии» бывали и некоторые паузы: так, явление замерзания ртути задержало начало измерений в северных районах России и Канады.)

Выявить тенденцию в изменении температуры на земном шаре стали пытаться примерно 30 лет назад. Однако вначале этому мешала немногочисленность точек наблюдений — их было около сотни, — для которых имелись опубликованные данные. Мы в ходе своего анализа «пролистали» более 3 тыс. наборов данных, в значительной части неопубликованных, которые могли быть подвергнуты анализу.

Создав довольно большой реестр, мы затем приступили к его сокращению. Важнейшим требованием была однородность материала: записи температуры должны были отражать только изменения погоды от дня к дню и длиннопериодные изменения климата. Флуктуации, объясняемые иными причинами — перемещением в другое место станций наблюдения, некорректным расчетом среднемесячной температуры, а также изменением методики измерений, времени наблюдений или местных условий, — существенно влияют на надежность данных. Эффекты, связанные с окружающими условиями, — это наиболее вредоносный фактор неоднородности данных, поскольку они не только уменьшают точность оценок, но и вносят систематическую ошибку. Например, рост городов и поселков приводит к появлению островов тепла, и



ТЕНДЕНЦИЯ К ПОТЕПЛЕНИЮ климата неодинакова в разных регионах; на это указывают данные, собранные с 1967 по 1986 г. И в Северном (слева) и в Южном (справа) полушариях в большинстве регионов произошло потепление, но местами — особенно в северо-восточной части Тихого океана и в Атлантике — наблюдалось похолодание. Если предсказания правильны, то в ближайшие десятилетия глобальное потепление ускорится.



ИЗМЕНЯЮЩИЙСЯ ЛАНДШАФТ влияет на измерения температуры, так что при анализе данных может возникнуть ложный сдвиг температуры. В XIX веке, например, (слева) города в большинстве своем были невелики и не оказыва-

ли существенного влияния на климат в прилегающих к ним районах. Сегодня (справа) городские «острова тепла» непосредственно влияют на климат и повышают температуру, регистрируемую на близлежащих метеостанциях. Пере-

измерения вблизи таких мест дают завышенную температуру.

Мы определяли однородность данных, сравнивая записи на каждой станции с данными ближайших станций, находящихся от нее в десятках или сотнях километров. Скачки или медленные изменения температуры, зарегистрированные на одной станции, но не отмеченные на соседних, рассматривались чаще всего, как свидетельство неоднородности. Процедура гомогенизации данных (приведение их к однородному состоянию) работает хорошо во всех случаях, кроме тех, когда ближайшие к выбранному месту станции наблюдения находятся в сотнях километров и дальше или когда данные измерений на всех станциях подвергались одинаковому искажению, например из-за роста городов.

На основе таких сравнений мы приняли одни данные, подправили другие, исключив из них скачки путем добавления или вычитания соответствующих поправок, и отвергли примерно 10% данных, так как их нельзя было скорректировать с достаточной степенью надежности. Мы также исключили из рассмотрения некоторые станции, на которых наблюдения температуры закончились до 1950 г. В результате получилась база данных, содержащая 1584 станции в Северном полушарии (из 2666 первоначальных) и 293 в Южном (из 610).

По данным этих станций мы рас-

считали средние значения температуры в регионах и полушариях. Эта задача не была такой простой, как может показаться. Одним из серьезнейших источников ошибок является нестабильность существования самих станций: в течение какого-то времени одни станции появляются, другие исчезают. Если вместо станций, расположенных в более теплых местах (например, в долинах), строят станции, расположенные в более холодных местах (например, на склонах холмов), в рядах измерений появляется ложное повышение температуры.

Простейший способ исключить такие ложные изменения — это выразить температуру на всех станциях в виде отклонений от средних значений за «эталонный» период (1950—1970 гг.), для которого имеются надежные глобальные данные. (Средние значения для некоторых станций, где измерения в указанный период не велись, оценивались по записям эталонного периода, относимся к соседним станциям.)

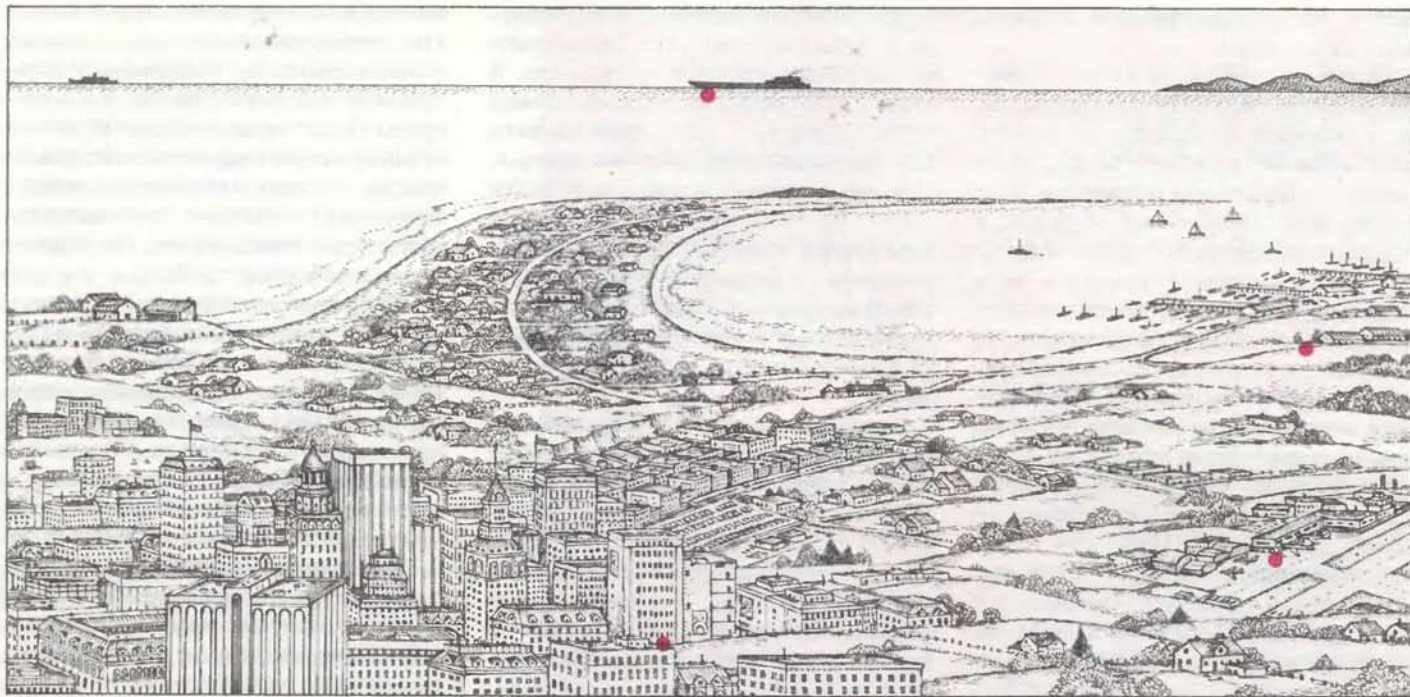
Затем мы обработали данные, чтобы получить средние по площади — среднюю температуру в каждом узле сетки с ячейкой размером 5° широты и 10° долготы (примерно 550 × 1100 км на экваторе). Некоторые районы содержали много станций, данные по которым осреднялись с целью получить значение в единственной точке — узле сетки. В других районах среднее значение вычислялось только по одной записи. Из этих цифр мы, нако-

пили средние значения температуры для каждого полушария. (При таком подходе исключается систематическая погрешность, которая может быть вызвана наличием в каких-то местах большого количества станций наблюдения.)

Из наших расчетов следовало два немедленных вывода: во-первых, стало ясно, что глобальный климат существенно меняется от года к году, и, во-вторых, мы подтвердили, что за время, прошедшее с конца 19-го столетия, климат на Земле потеплел на 0,5°С.

НЕСМОТЯ на мучительные усилия по гомогенизации анализируемых записей, остался нерешенным целый ряд вопросов, касающихся их надежности. Можно ли сравнивать более ранние средние значения, полученные для гораздо меньшего числа станций, со средними значениями, относящимися к более поздним временам? Можем ли мы быть уверены в том, что исключили систематическую погрешность, связанную с тепловым влиянием городов? И наконец, насколько правильно описывать климат планеты, используя данные измерений на суше, если две трети этой планеты покрыто водой?

Чтобы определить, не делает ли «разреженность» записей XIX века ненадежными оценки средних значений, мы рассчитали новые средние для некоторого подмножества стан-



мещение метеостанций из пригородов в более удаленные районы, например в аэропорты, может создать при обработке данных измерений ошибку противоположного знака. Надежность и представительность данных измерений над

океанами с течением времени также менялась. По мере увеличения размеров судов температура воздуха измерялась все выше над водой (где воздух холоднее), в результате возникал ложный вклад в среднюю температуру.

ций погоды. Эти средние воспроизводили более редкое расположение станций, типичное для XIX века. Величина расхождения между средними значениями, построенными по подмножеству данных, и реальными значениями позволяет предположить, что оценки температуры для годов, предшествовавших 1880 г., в полумину менее точны, чем такие же оценки для годов, следующих за 1920 г. Те же самые расчеты и данные показывают в противоположность этому результату, что средние значения температуры для десятилетий — более важные для выявления длиннопериодных изменений, — определяются вполне точно. Мы располагаем достаточным количеством данных, чтобы вычислить средние значения температуры за 10-летние периоды с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$, начиная с 1850 г. в Северном полушарии и с 1880 г. в Южном.

С целью проверить надежность нашего метода для исключения систематической ошибки, вызванной влиянием тепла городов, мы сравнили наши среднегодовые средние значения для всех США с расчетами Томаса Карла из Национального центра климатических данных в Ашвилле, шт. Северная Каролина, который использовал данные, собранные главным образом в сельской местности. Наши расчеты для всей территории США дали лишь на $0,1^{\circ}\text{C}$ большую температуру, чем у Карла, из чего можно заключить, что предпринятая нами коррекция сыгра-

ла свою роль в ослаблении эффектов теплового влияния городов.

Хотя остаток в $0,1^{\circ}\text{C}$ может быть связан с небольшой систематической ошибкой — увеличением температуры из-за влияния городов, допустимо и другое объяснение. Тщательное сравнение наших данных с записями температуры в сельских районах в СССР, восточной части Китая и на востоке Австралии продемонстрировали лишь небольшое — на $0,0-0,05^{\circ}\text{C}$ за столетие — превышение температуры, рассчитанной по нашим данным, из чего следует, что расхождение между нашими результатами и оценками Карла объясняется частично влиянием каких-то иных факторов.

ИЗМЕРЕНИЯ температуры, о которых до сих пор шла речь, велись на суше, которая занимает лишь одну треть земной поверхности. Тем не менее есть основания думать, что данные по суше могут обеспечить хорошие оценки вариаций температуры в полушарии в целом на отрезках времени продолжительностью в десятилетия и столетия. Верхний слой океана обладает гораздо большей способностью запастись теплом, чем атмосфера или тонкий слой земной коры, который влияет на температурные изменения в масштабах столетия и менее. Отсюда следует, что изменения температуры на суше должны быть близки к изменениям температуры

над океаном. Благодаря ветрам, дующим между сушей и морем и обеспечивающим хорошую тепловую связь между двумя этими частями планеты, всякая разница между ними должна быстро исчезать.

В самом деле, сильнейший «параллелизм» данных измерений на суше и на море дает возможность проверить значимость и повысить надежность оценок, полученных по одним только измерениям на суше. В этой области климатологи должны быть благодарны капитану ВМС США Мэттью Маури. В 1830-х и 1840-х годах он впервые проделал работу, которая помогла стандартизовать методы измерения температуры воды и воздуха на морских судах. В значительной мере в результате его деятельности в 1853 г. в Брюсселе было подписано международное соглашение по проведению измерений, а также сбору и обмену морскими метеорологическими данными.

Начиная с этого времени ведущие морские державы — США, Великобритания, Франция и другие — стали собирать морские журналы, содержащие данные морских метеонаблюдений. За последние 20 лет информация, содержащаяся в этих журналах (примерно 80 млн. измерений одной только температуры воды) была перенесена в два компьютеризованных банка данных. Это Репрезентативный набор данных по океану и атмосфере, составленный NOAA и другими ведомствами США, и отдельная компи-

ляция Метеорологической службы Великобритании.

Подобно данным по суше, данные по морю нуждаются в коррекции, учитывающей изменение техники измерений и другие эффекты. До 1940-х годов температура поверхности воды измерялась следующим образом: с борта судна в море бросалось ведро, с помощью которого морскую воду поднимали на палубу; затем выжидали несколько минут, пока термометр не придет в тепловое равновесие с водой и после этого измеряли температуру воды. Однако с начала 1940-х годов температурные измерения стали выполнять на трубе, через которую забиралась вода для охлаждения судовых двигателей. Несмотря на то что измерения с помощью ведра продолжают выполняться частично и в наше время, а измерения в заборной трубе проводились и до 1940 г., переход от одной методики к другой был довольно резким.

Сравнительный анализ показал, что измерения в заборной трубе дают в целом более высокую — на $0,3-0,7^{\circ}\text{C}$ — температуру, чем измерения на открытом воздухе с помощью брезентового ведра. Эта раз-

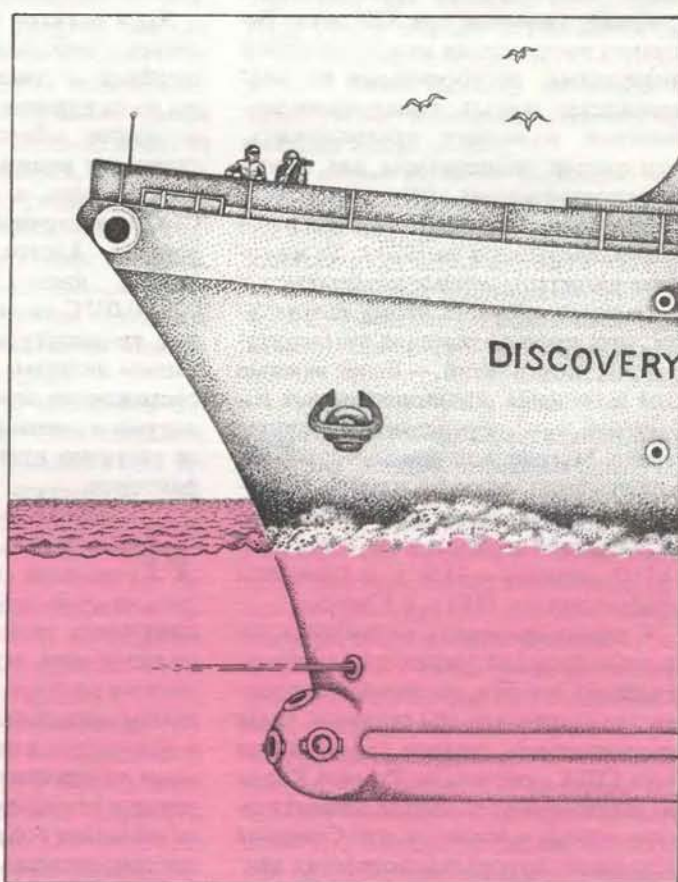
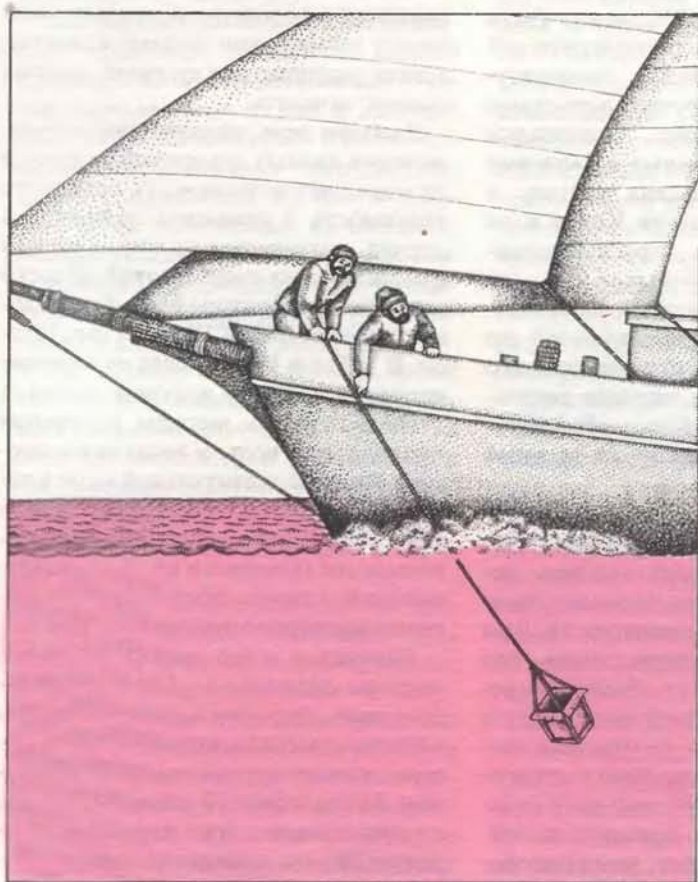
ница примерно соответствует полному потеплению климата, выявленному по данным измерений на суше. В связи с этим возникает настоятельная необходимость откорректировать эту неоднородность морских данных. Однако в судовых журналах отметки о том, каким способом — в заборной трубе или с помощью ведра — производились измерения температуры, стали появляться только с 1970-х годов, поэтому коррекция превращается в достаточно проблематичную задачу.

Кроме того, не все измерения ведром одинаковы. Мокрое ведро охлаждается в результате испарения, когда его вытаскивают из воды и поднимают на палубу. Величина охлаждения зависит от погоды и теплоизоляционных свойств ведра. В целях стандартизации измерений температуры в брюссельском соглашении 1853 г. было оговорено использование деревянных ведер с хорошими теплоизоляционными свойствами, однако в XIX веке на флоте продолжали пользоваться ведрами из брезента, жести и других материалов. В период с 1900 по 1940 г. на большинстве судов использовались ведра из брезента, который

является плохим изолятором тепла, что приводило к значительному охлаждению воды за время, проходящее между отбором пробы и измерением. После второй мировой войны стали пользоваться ведрами из пластмассы, которая задерживает тепло; измерения с помощью таких ведер согласуются с измерениями, производимыми в заборной трубе.

Измерения температуры морского воздуха также нельзя считать однородными. Наиболее важная причина этого — увеличение средних размеров судов, а значит, и высоты палубы, где производятся измерения. Температура воздуха обычно быстро падает с высотой, так что увеличение высоты измерений должно приводить к появлению ложного отрицательного компонента в изменении температуры. Кроме того, практически невозможно сказать, находился ли термометр на конкретном судне на солнце или вблизи нагретых частей судна; между тем и то и другое может быть причиной завышения температуры.

Записи температуры, полученные во время второй мировой войны, дают классические примеры различных причин неоднородности данных. В



ЗНАЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ поверхности моря могут быть скорректированы с учетом изменений в технике измерений. До 1940 г. измерения выполнялись в ведре, с помощью которого морскую воду вытаскивали на палубу (слева). Позже термометры стали размещать в заборной трубе, че-

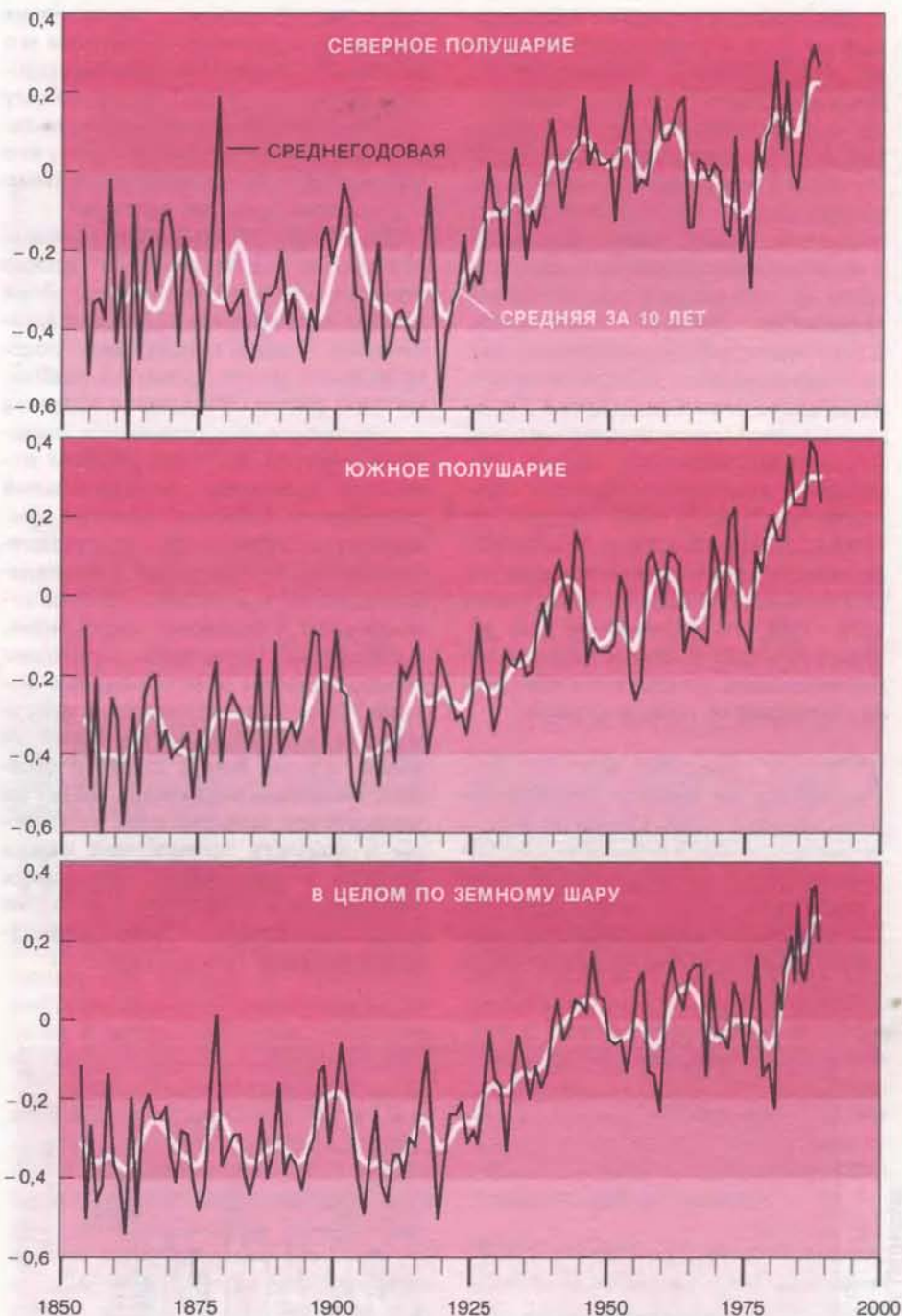
рез которую морская вода поступает на охлаждение судовых двигателей. Из-за того что при испарении вода охлаждается, измерения в ведре могли занижать температуру воды в среднем на $0,7^{\circ}\text{C}$.

тот период термометры, как правило, размещали на мостике, где измерения можно было проводить в относительно безопасности (но где теплые части корабля нагревали воздух). Кроме того, измерения проводились в основном днем, так как ночью для считывания показаний термометра нужен свет, а он был запрещен. В результате значения температуры в военное время были в целом на 1°C выше, чем до и после войны.

На начальном этапе нашего анализа мы корректировали данные измерений на море, сравнивая записи, сделанные вблизи берега, с записями на островах или побережье. Разницу между измерениями на суше и на море мы относили к неоднородности морских измерений и, усредняя эту разницу по многим регионам, получали соответствующие поправки. Этот подход предполагает, что измерения на суше являются однородными; тем не менее поправки, которые дает этот метод, согласуются между собой. Однако необходимое в этом методе осреднение ограничивает его применение: поправки можно рассчитать только для среднегодовых, средних по полушарию значений, а не для локальных средних или для периодов времени порядка месяца.

Поэтому мы прибегли к более изощренной методике коррекции, разработанной Крисом Фолландом и Дэвидом Паркером из Метеорологической службы Великобритании. Этот метод позволяет вносить поправки в старые измерения, учитывая испарение воды в ведре. Величина охлаждения воды из-за испарения зависит от двух факторов: погодных условий и интервала времени между извлечением ведра с водой из моря и проведением измерений. Если преобладающие погодные условия определяются сезонно и местом, где проводятся измерения, то время испарения чаще всего неизвестно и его приходится оценивать по данным.

Чтобы оценить эффект охлаждения воды в ведре, мы выражали температуру поверхности моря для каждого конкретного месяца в виде отклонения от среднего значения для этого месяца, рассчитанного по эталонному периоду 1950—1979 гг. Поскольку сезонные циклы температуры океана оставались примерно одними и теми же на протяжении последних ста лет, в этих отклонениях не должна присутствовать заметная зимне-летняя изменчивость: например, разница между значением температуры в декабре 1890 г. и средним значением для декабря месяца в эталонный период не должна отличаться от разницы между температурой в июне 1890 г. и



ИЗМЕНЧИВОСТЬ КЛИМАТА можно проследить по архивным данным, если рассмотреть среднегодовые и среднедекадные значения температуры на суше и на море в Северном (вверху) и Южном (в середине) полушариях и в целом по земному шару (внизу). На всех трех графиках, однако, очевиден также загиб кривой температуры вверх; даже самые холодные года нынешнего десятилетия были теплее, чем любые (за исключением самых теплых) года в прошлом столетии.

средним значением для июня месяца в эталонный период. Всякая «сезонность» в полученных данных может быть отнесена на счет влияния ведер, использовавшихся для измерений, поскольку величина охлаждения воды зависит от времени года. Какая бы «сезонность» не появилась в ходе такого анализа, мы, таким образом, можем оценить время испарения и внести поправку для всех измерений, выполнявшихся с помощью ведра.

Поправки, рассчитанные путем сравнения с данными измерений на су-

ше и путем оценки величины охлаждения, хорошо согласуются между собой для периода 1900—1940 гг., когда почти на всех судах использовались брезентовые ведра. Неплохое согласие наблюдается и для данных XIX века, если предположить, что тогда использовались в основном деревянные ведра. Если предположить, что при измерениях применялись брезентовые ведра, то средние значения для полушарий по морским данным будут примерно на $0,2^{\circ}\text{C}$ выше, чем «сухопутные» средние.

Тем не менее сравнение в целом данных по суше и морю демонстрирует их замечательный «параллелизм». Даже в масштабе времени, равном году, средние значения по полушарию для суши и моря сильно коррелируют, а для более длинных периодов два набора данных почти полностью согласуются между собой. Всю остаточную неопределенность следует отнести на счет редкого покрытия наблюдениями земной поверхности. В некоторых районах, особенно в южных частях океанов, измерения проводятся редко даже в наше время. Однако результаты последних наблюдений со спутников позволяют думать, что неполное покрытие не является серьезной проблемой. Рой Спенсер из НОАА и Джон Кристи из Алабамского университета оценили температуру по спутниковым данным для периода 1979—1988 гг.; полученные ими результаты очень близки к нашим комбинированным результатам обработки измерений на суше и на море.

СЕЙЧАС, завершив десятилетнюю работу по анализу температурных записей и их корректировке с целью исключения возможных источников ошибок, мы можем однозначно утверждать, что за прошедшие сто лет температура на земном шаре возросла. Вместе с тем остается много

вопросов. Насколько значительна тенденция к потеплению? Какова его причина? Связано ли оно с парниковым эффектом, а если да, то почему оно прерывается периодом похолодания? Насколько важен тот факт, что 1987 и 1988 гг. были самыми теплыми годами в записях температуры?

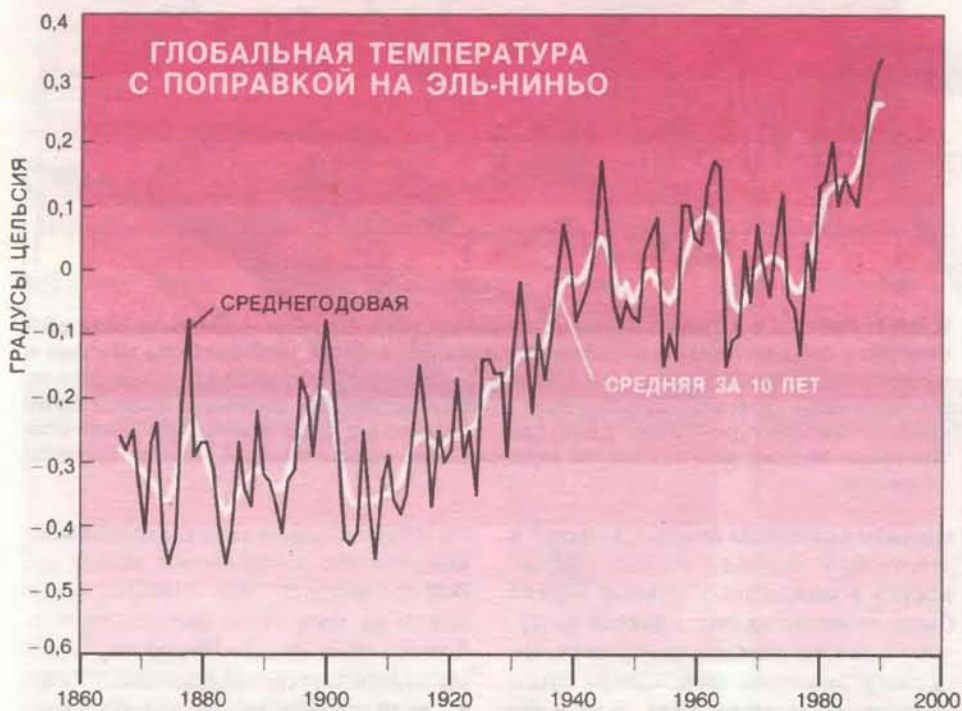
Дать более или менее определенные ответы на такие вопросы можно только после дополнительного сбора данных в течение последующих десятилетий. Однако современные модели климата могут прояснить проблему уже сейчас. Изменения климата определяются внутренними и внешними факторами. К внутренним относятся изменения отражательной способности (альбедо) планеты, вызванные естественными флуктуациями облачного покрова или изменениями ландшафта, а также изменениями атмосферной и океанской циркуляции. Атмосферная циркуляция определяет горизонтальные и вертикальные потоки тепла через атмосферу, и поэтому от нее зависит, как осуществляется обмен теплом между сушей и океаном. Океанская циркуляция влияет на температуру нижнего слоя атмосферы и скорость теплообмена между океаном и атмосферой. Изменения циркуляции в атмосфере и в океане могут быть причиной длиннопериодных изменений температуры.

Внешними факторами, влияющими на климат, могут быть, например, изменения светимости Солнца и другие естественные или искусственные процессы и явления. Например, доля коротковолновой радиации, достигающей тропосферы (нижнего слоя атмосферы, принимающего участие в «формировании» погоды), может изменяться при накоплении в атмосфере промышленных выбросов и при попадании в стратосферу во время вулканических извержений пыли или сульфатов. Промышленные выбросы могут влиять на климат косвенным образом, изменяя альбедо облаков. Увеличение содержания в атмосфере парниковых газов также влияет на климат, поскольку при этом изменяется величина поглощения уходящей длинноволновой радиации.

БОЛЬШИНСТВО межгодовых вариаций климата обусловлено внутренними факторами, включая изменение циркуляции атмосферы. На более длительных отрезках времени — от 2 до 8 лет — вариации климата определяются изменениями вертикальной циркуляции в океане и температуры поверхности воды. Например, явление Эль-Ниньо — Южное колебание (ослабление преобладающих восточных ветров у поверхности, западных ветров на высотах и подъема холодной воды в восточной части Тихого океана) ведет к увеличению частоты штормов в глобальном масштабе и временному падению средней температуры на земном шаре. Потепление 1980-х годов оказывается еще ярче выраженным после внесения поправки на Эль-Ниньо; 1989 г. становится самым теплым годом в ряду, а 1988 и 1987 гг. — вторым и третьим по значению.

Можно ожидать также и значительных климатических вариаций в масштабах десятилетий и более, обусловленных большой тепловой инерцией океанов, которая, накладываясь на короткопериодные флуктуации, четче обрисовывает более продолжительные масштабы. Эффект тепловой инерции океанов можно оценить, внося в соответствующие модели климата случайный «шум», воспроизводящий наблюдаемые высокочастотные (межгодовые) вариации средней глобальной температуры.

Оказывается, что на протяжении столетия результирующие низкочастотные вариации температуры могут достигать 0,2—0,3°C. Другими словами, 50% наблюдаемой величины потепления в этом веке можно отнести на счет естественных «внутренних» вариаций. Равновероятна и противоположная интерпретация, а



ЕСТЕСТВЕННЫЕ ВАРИАЦИИ КЛИМАТА могут маскировать эффект глобального потепления. На рисунке значения глобальной температуры рассчитаны с поправкой на Эль-Ниньо — явление, происходящее в Тихом океане, которое понижает среднюю температуру на земном шаре. Другие естественные события, такие как вулканические извержения (две жирные черточки на нижней оси), могут также в небольших масштабах времени оказывать охлаждающий эффект на климат и таким образом затушевывать проявление глобального потепления.

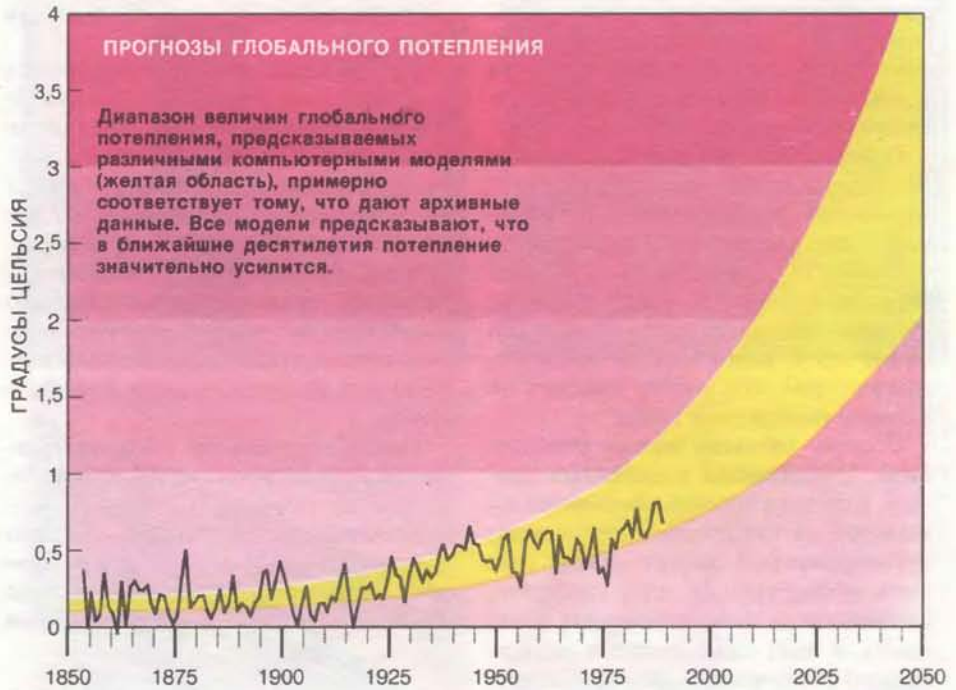
именно, что имело место значительно большее потепление — $0,7-0,8^{\circ}\text{C}$, но оно было частично ослаблено понижением температуры, связанным с внутренними факторами.

Земной климат реагирует и на различные внешние факторы. Один из них — флуктуации излучения Солнца. Последние спутниковые наблюдения показали, что поток солнечной радиации меняется примерно на $0,1\%$ в ходе 11-летнего цикла солнечной активности, что соответствует изменению на $0,24 \text{ Вт/м}^2$ количества радиации, падающей на верхний слой атмосферы. Если бы климат реагировал на эти изменения мгновенно, на планете на протяжении одного солнечного цикла тепло бы и холодало на $0,08-0,24^{\circ}\text{C}$. Тепловая инерция океанов не дает климату реагировать так быстро, поэтому действительное изменение глобальной температуры, вероятно, не превышает $0,03^{\circ}\text{C}$.

Много высказывалось соображений по поводу того, что на более длительных промежутках времени излучение Солнца могло меняться значительно. Продолжительные периоды низкой активности Солнца, такие как минимумы Маундера, Шпёра и Вольфа (в 1645—1715, 1450—1550 и 1280—1350 гг. соответственно), коррелируют с интервалами массового наступания ледников. Выдвигалось предположение, что во время таких событий излучение Солнца ослабевало на $0,2-0,6\%$ и что эти отклонения и были причиной климатических сдвигов. Однако после минимума Маундера никаких длительных периодов аномальной солнечной активности не наблюдалось.

На излучение Солнца могут влиять и изменения радиуса светила, возрастающего и убывающего в течение 80-летнего цикла, однако связь между радиусом и излучением Солнца остается невыясненной. Этот эффект может быть существенным, а может оказаться и пренебрежимо малым. Неопределенность в этом вопросе должны разрешить измерения со спутников, планируемые на ближайшее десятилетие.

В настоящее время влияние Солнца на ход средней температуры на Земле в масштабах столетия остается неопределенным, но, как представляется, оно невелико. Высказываемые еще менее обоснованные предположения касаются явлений, вклад которых по сравнению с вкладом парниковых газов незначителен. Наиболее вероятное уменьшение потока солнечной радиации, ответственное за малый ледниковый период (с середины 16-го по середину 18-го столетия), хотя и намного больше любой вариации, име-



ющей место в наше время, составляет тем не менее всего 1 Вт/м^2 и по своему эффекту эквивалентно 40% вклада парниковых газов.

ВЛИЯНИЕ НА КЛИМАТ вулканической деятельности, по крайней мере в меньших масштабах времени, более очевидно. Вулканические извержения, при которых в стратосферу выбрасывается большое количество пыли и частиц сульфатов, могут вызывать значительное похолодание в небольших масштабах времени. Извержение вулкана Кракатау вблизи острова Ява в 1883 г. привело, вероятно, к охлаждению нижнего слоя атмосферы на несколько десятков долей градуса. Последствия начали ощущаться спустя несколько месяцев после извержения и оставались на измеримом уровне на протяжении двух лет. Извержение вулкана Агунг на острове Бали в 1963 г., хотя оно не было таким мощным и привело к меньшему выбросу пыли в стратосферу, дало большое количество частиц сульфатов и вызвало сходный по величине климатический эффект.

Длиннопериодные проявления вулканических извержений гораздо более спорны. Даже если аэрозоли вулканического происхождения вымываются из стратосферы в течение двух лет, тепловая инерция океана должна модулировать эффекты извержений таким образом, что возникают длинопериодные климатические эффекты. Не исключено, что потепление между 1920-ми и 1940-ми годами частично объясняется «нехваткой» вулканических извержений в указанный период.

Ученые не располагают непрерыв-

ными записями измерений концентрации вулканических аэрозолей — особенно сульфатов — в стратосфере, поэтому надежно оценить их долговременный эффект в изменении климата невозможно. Хотя имеется достаточное количество косвенных данных (регистрация извержений, а также измерения прозрачности атмосферы и концентрации сульфатов в колонках гренландского и антарктического льда), оценки, полученные на основе таких данных, не очень хорошо согласуются между собой. По этой причине трудно сделать определенные выводы относительно влияния вулканической деятельности на длинопериодные изменения климата.

ИНАКОНЕЦ, о парниковом эффекте. В отношении него по крайней мере мы располагаем подробными данными — сведениями о концентрации парниковых газов за последние несколько сотен лет. Начиная с 1765 г. содержание диоксида углерода в атмосфере увеличилось с 280 млн^{-1} до 350 млн^{-1} . Концентрация метана более чем удвоилась: с 800 до 1700 млрд^{-1} , а концентрация оксида азота возросла на 10% : с 285 до 310 млн^{-1} . Концентрация хлорфторуглеродов за последние 30 лет увеличилась практически с нуля до 1 млрд^{-1} .

Компьютерные модели показывают, что изменения глобального радиационного баланса, вызванные возрастанием концентрации парниковых газов, эквивалентны усилению излучения Солнца на 1% . То увеличение содержания парниковых газов в атмосфере, которое уже произошло, может привести к повышению гло-

бальной температуры на $0,8-2,6^{\circ}\text{C}$ (неопределенность оценок объясняется отсутствием ясного представления о механизмах обратной связи в отклике климата на внешние воздействия).

Однако тепловая инерция океана, не позволяющая земному климату мгновенно реагировать на парниковый эффект, ослабила вероятное потепление за последние сто лет примерно на $0,5-1,3^{\circ}\text{C}$. Таким образом, наблюдаемое потепление величиной около $0,5^{\circ}\text{C}$ находится на грани согласия с тем, что можно ожидать от влияния парниковых газов.

Степень согласия между потеплением, отраженным в архивных данных, и предсказаниями «парниковых» моделей не свидетельствует о том, что парниковый эффект можно считать обнаруженным или, наоборот, относительно незначительным. Если иметь в виду существенную естественную изменчивость климата и другие внешние факторы, которые способны влиять на климат, то наблюдаемое потепление можно приписать и причинам, отличным от парникового эффекта. Возможно также, что парниковое потепление было более сильным, но компенсировалось другими флуктуациями климата.

Многие особенности архивных данных по температуре на первый взгляд противоречат гипотезе парникового потепления. В период с 1920 по 1940 г. планета нагревалась быстрее, чем предсказывают модели, а в период с 1940 по 1970 г. произошло похолодание, хотя содержание парниковых газов быстро росло. Данные по полушариям также говорят не в пользу парниковой гипотезы. Поскольку в Южном полушарии океанов больше, чем в Северном, оно должно нагреваться медленнее; между тем в процессе потепления Южное полушарие несколько лидирует. Эти расхождения можно устранить, по крайней мере на качественном уровне, если предположить, что быстрое потепление в начале XX века было вызвано внутренними факторами, а также частично ослаблением вулканической деятельности или изменениями солнечного излучения, а похолодание между 1940-ми и началом 1970-х годов явилось результатом естественной изменчивости, «наложенной» на парниковый эффект.

БОЛЬШИНСТВО неопределенностей, касающихся причин современного изменения климата, никогда не будут устранены, поскольку для этого отсутствуют необходимые архивные данные. В результате мы пока не в состоянии дать однозначную интерпретацию очевидному глобально-

му потеплению, которое произошло в этом веке.

Наблюдаемая величина потепления находится «на нижнем конце» диапазона, предсказываемого моделями парникового эффекта, из чего следует, что парниковый эффект может быть меньше, чем предсказывают модели. Возможно и прямо противоположное, а именно, что парниковое потепление сильнее предсказываемого моделями, но частично затушевывается естественными вариациями климата или антропогенными воздействиями.

Совершенствование моделей, равно как и сбор данных в ближайшие десятилетия помогут уменьшить неопределенность, связанную с ролью парникового эффекта и дать более точный прогноз грядущих изменений климата. Однако на сегодняшний

день попытки объяснить длиннопериодные вариации средней температуры наталкиваются на отсутствие информации о причинах естественной изменчивости климата.

Хотя в политическом аспекте эта ситуация не может нас удовлетворить, она не оправдывает и медлительность в выработке и проведении в жизнь политических мер, направленных на ослабление теплового эффекта парниковых газов, который в будущем приведет к увеличению температуры. Чем дольше мы будем откладывать конкретные действия, тем большие климатические изменения обрушатся на следующее поколение. Бездействие в этом вопросе будет оправдано только в том случае, если ученые убедятся, что парниковый эффект пренебрежимо мал.

Наука и общество

Пластмассы и окружающая среда

СОЗДАНИЕ пластмасс обещало человечеству лучшую жизнь. Теперь же проблема уничтожения отходов превратила пластмассы в страшное зло. Сжигание их грозит загрязнением атмосферы, а захоронение требует значительных площадей полезного пространства. Уже более 600 научных сообществ предложили полностью запретить пластиковые упаковочные материалы. В этой связи изготовители пластмасс заняли более приемлемую с экологической точки зрения позицию, рекламируя общеизвестную теперь концепцию вторичной переработки пластмасс.

Пока что потребность в продуктах вторичной переработки пластмасс намного превышает предложение. В принципе некоторые пластмассы можно путем переработки превратить практически в их начальную форму. Научный сотрудник Совета по защите природных ресурсов города Нью-Йорк С. Хартуэлл сомневается, что насыщение рынка будет достигнуто, даже если 100% пластмасс будет подвергаться вторичной переработке.

В США доля пластмасс в городских отходах достигает 7% (по массе). Эта величина сравнима с долей стекла и стали и намного превосходит долю алюминия. Иными словами, в городских отходах ежегодно скапливается около 13,5 млн. т пластмасс. Промышленность вносит свой вклад и добавляет к этому количеству еще 8,6 млн. т.

Пока что по сравнению с любимыми другими пластмассами в намного большем объеме вторичной переработке подвергается полиэтилентерефталат (ПЭТФ), из которого изготавливают бутылки для газированных напитков. В промышленных кругах утверждают, что 12% ПЭТФ вновь возвращается в производство. Из продуктов вторичной переработки ПЭТФ можно изготавливать множество вещей, в том числе ковровые изделия, дорожные ограждения, теннисные мячи, перевязочный шпатель, теплоизоляционные материалы, даже автомобильные детали. Компания Proctor & Gamble уже поставляет некоторые товары в упаковке из ПЭТФ вторичной переработки.

Стремясь захватить лидирующее положение в этой перспективной сфере деятельности, компании Du Pont и Waste Management создали в Ок-Бруке (шт. Иллинойс) совместное предприятие по вторичной переработке ПЭТФ и полиэтилена высокого давления (ПЭВД; из этого пластика делают, в частности, пакеты для молока). Предприятие уже имеет 2 действующие установки и планирует до 1994 г. ввести в строй еще 3. В общей сложности они ежегодно будут производить 90 тыс. т переработанных пластмасс. В целом перспективы предприятия представляются весьма обнадеживающими, но все же пока это капля в море, если учесть, что ежегодно в отходы выбрасывается 680 тыс. т ПЭТФ и почти 3 млн. т ПЭВД.

Еще более многообещающими кажутся попытки начать крупномас-

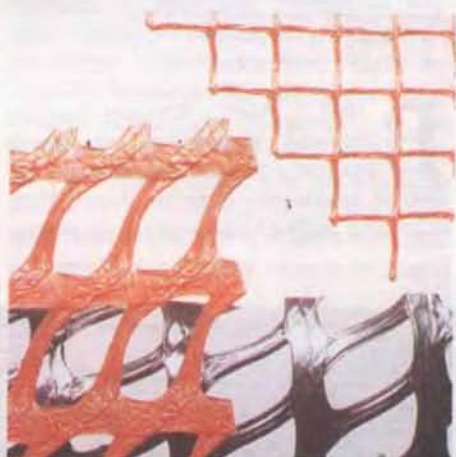
штабную переработку полистирола, из которого обычно изготавливают упаковочные материалы типа пенопласта. Ежегодно в отходы выбрасывается около 2,3 млн. т полистирола. Всего лишь несколько лет назад полистирол совершенно не утилизировался. Несмотря на всю серьезность проблемы охраны окружающей среды и на экономические факторы, сейчас вторичной переработке подвергается удручающе малое количество полистирола (всего лишь 1%). Представители промышленности обещают, что в ближайшем будущем эта ситуация изменится.

В 1989 г. 7 корпораций, включая такие гиганты, как Amaco Chemical, Dow Chemical и Mobil Chemical, создали Национальную компанию по вторичной переработке полистирола (National Polystyrene Recycling Company, NPRC), целью которой является обеспечение к 1995 г. вторичной переработки 25% полистирола. Представитель Совета по полистирольным упаковочным материалам из Вашингтона (округ Колумбия) К. Хьювел настроен оптимистично, поскольку основные источники сырья для вторичной переработки сконцентрированы в больших ресторанах «быстрого приготовления пищи» и столовых предприятий и учреждений. С опытным центром компании NPRC по переработке полистирола в Леоминстере (шт. Массачусетс) сотрудничают Гарвардский университет, Бостонский колледж, компании Wang Corporation, Mc Donald's, ряд больниц и средних школ.

Промышленные предприятия включаются в выпуск изделий из полистирола вторичной переработки. Так, компания Rubbermaid поставляет канторские товары, а Dolco Packaging получила разрешение от Управления по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств на производство упаковки для яиц из полистирола вторичной переработки; это первый пример использования переработанной пластмассы для упаковки пищевых продуктов. Среди других товаров, которые вскоре должны появиться в продаже, следует отметить изоляционные материалы на основе пенопластов и пластиковые контейнеры для мусора.

Решение проблемы вторичной переработки пластмасс сталкивается, однако, с серьезными осложнениями. Полистирольные пакеты и посуда часто покрыты остатками пищи, которые могут загрязнять переработанную пластмассу и являться источником неприятных выделений в процессе переработки. Еще более серьезна проблема объема и громоздко-

ПЛАСТМАССЫ В ГОРОДСКИХ ОТХОДАХ	
Бумага 40%	Полиэтилен низкой плотности 24%
Бытовые отходы 18%	Полиэтилен высокой плотности 19%
Пищевые отходы 12%	Полистирол 14,5%
Стекло 8%	Полипропилен 14,5%
Пласт-массы 7%	Прочие 23,5%
Сталь 7%	
Прочие 8%	



МАСШТАБЫ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ пластмасс пока что невелики. Но на некоторых предприятиях уже сейчас использованные молочные пакеты и бутылки для газированных напитков превращают в другие полезные товары — от ковров до изгородей.

сти сырья, что приводит к высоким транспортным расходам.

Хартуэлл считает, что по этим причинам масштабы вторичной переработки полистирола, вероятно, никогда не достигнут высокого уровня. Ж. Бейи, штатный ведущий научный сотрудник Национального общества Одюбона, добавляет: «Трудно представить, чтобы объем вторичной переработки пластмасс возрастал более чем на 5% в год. Между тем во многих районах количество отходов увеличивается быстрее». Он отмечает также, что компании натолкнулись на неприятные финансовые осложнения, когда начали создавать предприятия по вторичной переработке пластмасс.

До сих пор движущей силой развития вторичной переработки пластмасс являлись политические, а не эко-

номические факторы. Экологические последствия запрещения пластиковых упаковочных материалов весьма спорны; так, в Портленде (шт. Орегон) запрещение посуды из полистирола в ресторанах «быстрого приготовления пищи» привело к тому, что вместо полистирола стали использовать покрытый полиэтиленом картон — материал, который вообще не поддается переработке. Тем не менее общественное мнение именно с политической точки зрения заставляет корпорации принимать меры, способствующие тому, чтобы пластмассы стали более приемлемыми. Бейи сравнивает ситуацию с переработкой пластмасс с положением в Восточной Европе: «Общественное давление настолько велико, что компании просто не в состоянии противостоять ему».

Подписка на журнал

В МИРЕ НАУКИ

принимается во всех отделениях «Союзпечать». Цена одного номера 3 р., цена подписки на квартал — 9 р., на год — 36 р., индекс журнала 91310 по «Каталогу газет и журналов зарубежных стран»,

Искусство майя в копиях

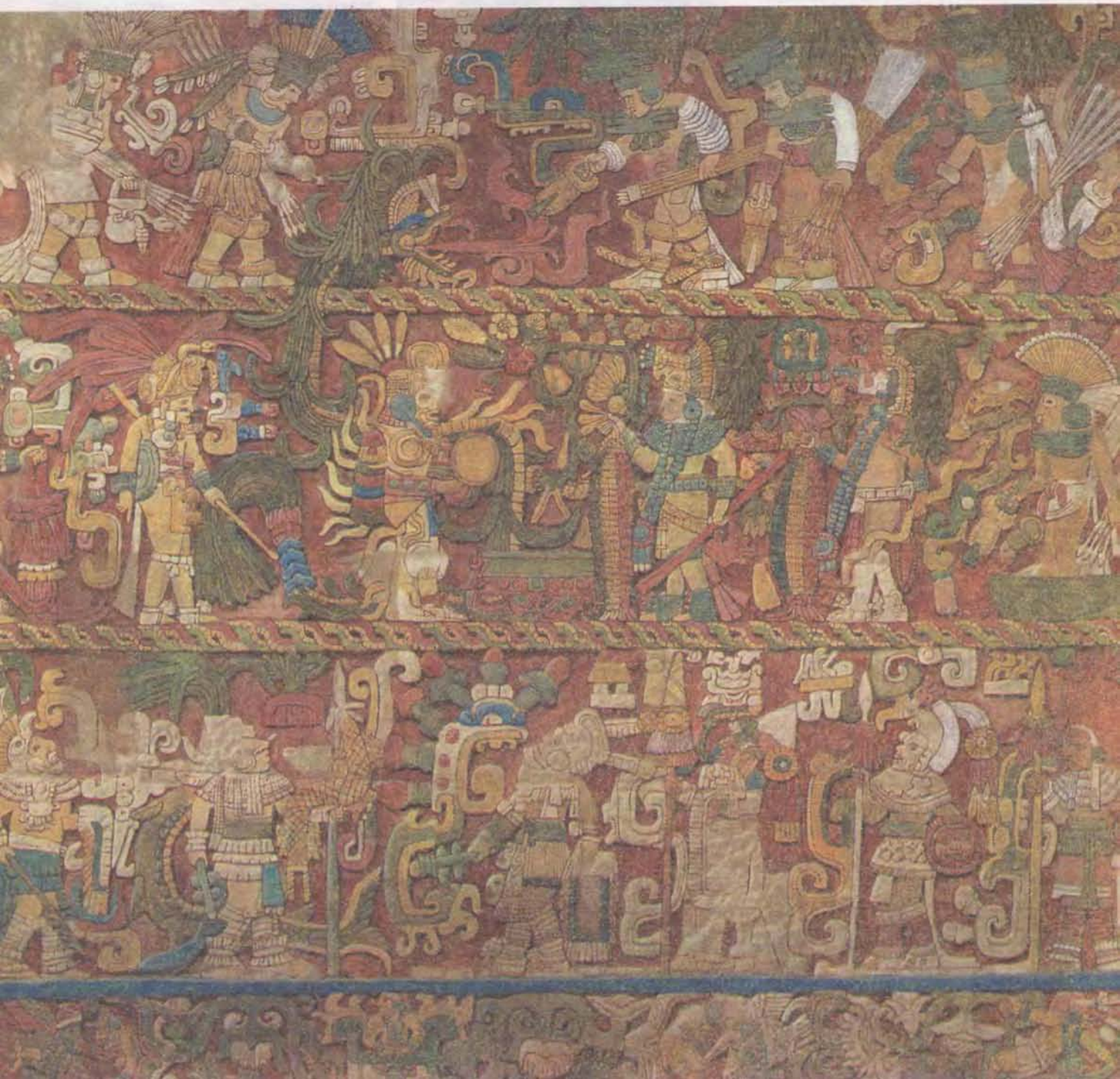
Копии фресок майя становятся важным “археологическим документом” в связи с тем, что местные климатические условия и выбросы промышленных предприятий, загрязняющие атмосферу, ускоряют разрушение самих фресок

ДЖУН КИНОШИТА,

В 1900 г. Адела Кэтрин Бретон впервые появилась на месте археологических раскопок в великом храмовом городе Чичен-Ице, куда она добралась верхом на лоша-

ди. В своем костюме наездницы викторианской эпохи, в панаме, защищавшей ее от юкатанского солнца, поля которой прикрывали ее решительное и еще моложавое лицо, 50-

летняя Бретон выглядела впечатляюще. В течение следующих 8 лет эта англичанка, невзирая на жару, и бюрократические препоны снова и снова возвращалась в Чичен-Ицу, чтобы де-



лать зарисовки каменных рельефов и красочных фресок, которыми были украшены выложенные из известняка стены лежащих в руинах зданий. Для современных майянистов ее труд поистине бесценен. За 80 с лишним лет, прошедших с тех пор, как Бретон последний раз побывала в Чичен-Ице, многие фрески, которые она так старательно зарисовывала в этом и других городах майя, не сохранились. Влажный климат Мезоамерики и палящее солнце сильно повредили краски, особенно лазурную на основе индиго, известную как «синяя майя». Многие фрагменты были похищены туристами или уничтожены вандалами, оставшиеся же изображения подверглись разрушительному воздействию микроорганизмов. Нередко акварели Бретон являются единственным напоминанием об этих исчезнувших памятниках майя. Ее работы были пе-

реданы в дар Музею Пибоди в Гарвардском университете, а также Бристольскому музею и Картинной галерее в Англии, которые в память о Бретон устроили зимой этого года специальную выставку.

Хотя Бретон была не единственной эксцентричной викторианкой, кто путешествовал по свету с этюдником, она обладала удивительной способностью точно передавать краски. «Фрески попросту насыщены информацией, заключенной в красках», — замечает Артур Г. Миллер, профессор истории изобразительного искусства Мэрилендского университета в Колледж-Парке.

Сияющие красками

ОБРАТИМСЯ к ныне почти стертой сцене сражения, которая изо-

бражена на южной стене Верхнего храма Ягуаров в Чичен-Ице. На акварелях Бретон мы видим круглые щиты воинов с ободками красного или синего цвета в зависимости от принадлежности к той или иной воюющей стороне. «Цвет был частью космологических представлений древних мезоамериканцев», — говорит Джордж Е. Стюарт, археолог Национального географического общества.

Например, каждой из основных частей света соответствует свой цвет: востоку — красный, западу — черный, северу — белый, югу — желтый и центру — сине-зеленый. «Цвет костюмов божеств ассоциируется с иностранными признаками», — поясняет Стюарт. «Что касается людей, то цвет мог обозначать их социальный статус или место происхождения. Часто предметы имеют одинаковые формы, поэтому ничего не зная о



УКРАШЕННЫЕ ПЕРЬЯМИ ВОИНЫ на каменном рельефе из Нижнего храма Ягуаров в Чичен-Ице (слева) поклоняются фигуре в маске, за спиной которой видны кольца бога Пернатого Змея. Адела Бретон восстановила цвета, расписывая акварельными красками черно-белые фотографии. В Чичен-Ице Бретон также сделала акварелью копии сцен сражения на внутренних стенах Верхнего храма Ягуаров (справа). Как видно по фотографии (вверху), фрески почти полностью стерты.



цвете, трудно сказать, например, изображен перед вами кусок нефрита или маис".

Как заметила Мерл Грин Робертсон, директор Института доколумбового искусства в Сан-Франциско, не только фрески и скульптурные изображения, но и целые города "сияли красками". В 1973 г. она начала проводить тщательное исследование цвета на памятниках в Паленке. Этот классический город, окруженный густыми влажными лесами и расположенный у подошвы холмов на севере штата Чьяпас в Мексике, достиг своего расцвета в период правления Пакаля Великого (615—683 гг.). Он знаменит своими изящными рельефами из штука и многочисленными иероглифическими надписями.

Используя стандартную таблицу цветов, Робертсон, которую ее коллеги с любовью называют "знаменитой старушкой в теннисных туфлях", стала фиксировать остатки красок, которыми когда-то были раскрашены здания и барельефы. По мнению Робертсон, стены зданий были покрыты снаружи и изнутри насыщенной красной краской. Тела людей изображали красным цветом, а богов — синим.

Когда Робертсон приступила к ис-

следованиям, большая часть окрашенных поверхностей была еще чистой. Но к началу 80-х годов они оказались покрытыми черной коркой, образовавшейся в результате воздействия на известняк влаги, содержащей кислоту. Эта черная корка скрыла под собой остатки краски на рельефах. Робертсон объясняет появление корки воздействием дождей, которые, по ее мнению, связаны с наличием большого числа открытых нефтяных скважин и дымовых труб вблизи городов Коацакоалькос и Кармен, расположенных у побережья Мексиканского залива в 125 км к северу от Паленке.

Робертсон забила тревогу (по поводу пагубного воздействия кислотных дождей) во время исследования, которое она проводила в прошлом году для Национального географического общества. По ее словам, в знаменитом Храме надписей в Паленке черная корка "столь ужасна, что, когда смотришь на них [на надписи], кажется, что перед вами черная поверхность какой-то скульптуры". Сеймор З. Левин, химик из Нью-Йоркского университета, исследующий климатические воздействия на древние памятники в городах майя, согласен с тем, что эта корка является типичным результатом процесса выветривания, вызван-

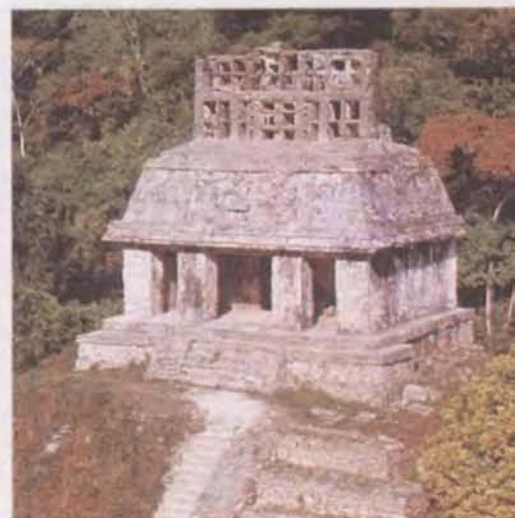
ного кислотными дождями. Однако он добавляет, что "краски разрушаются в большей степени от воздействия микроорганизмов и выщелачивания соли", чем от кислотных дождей.

Исследование, которое Робертсон проводила в Паленке, близилось к завершению, когда произошла катастрофа: началось извержение вулкана Эль-Чичон, бездействовавшего в течение 600 лет. Во время извержения в атмосфере образовалось плотное облако из пепла и капель серной кислоты. Вулкан выбросил на Паленке сотни тонн абразивного пепла, и казалось, над городом пронесся ураган чудовищной силы. Мэри Е. Миллер, майянист из Йельского университета, рассказывает: "Когда начался дождь, он смыл черный налет, а вместе с ним и краску". Через 6 недель после извержения вспоминает она, "город выглядел так, будто его выскоблили жесткой щеткой".

К счастью, к тому времени Робертсон успела сделать достаточное коли-



ХРАМ СОЛНЦА в Паленке был окрашен гематитом в красный цвет и, как показано на реконструкции, выполненной Мерл Робертсон (слева), украшен фризами. Сегодня этот храм, построенный в VII в., выглядит серым на фоне зеленых деревьев (снимок внизу). На снимке сверху Мерл Робертсон приложила пластинку с контрольным тоном к тому месту, где сохранились следы краски на щеке Зак Кук, королевы Паленке.



чество зарисовок, позволивших ей реконструировать первоначальный вид залов в Паленке. “Реконструкции Робертсон очень хороши, — говорит Мэри Миллер. Краски кажутся строгими, и исключительно яркими — именно такими они и были”.

Помимо восстановления утраченных красок на сохранившихся изображениях не менее важной задачей является описание тех фресок, которые еще уцелели. Даже самые известные из изображений майя — фрески в Бонампаке — до сих пор, как утверждают специалисты, не описаны должным образом. Бонампак — город позднеклассического периода, затерянный в лесах в юго-восточной части штата Чьяпас, впервые привлек внимание исследователей после того, как в 1946 г. в нем побывал английский путешественник Джэйлс Г. Хили, которого провели в этот город местные жители.

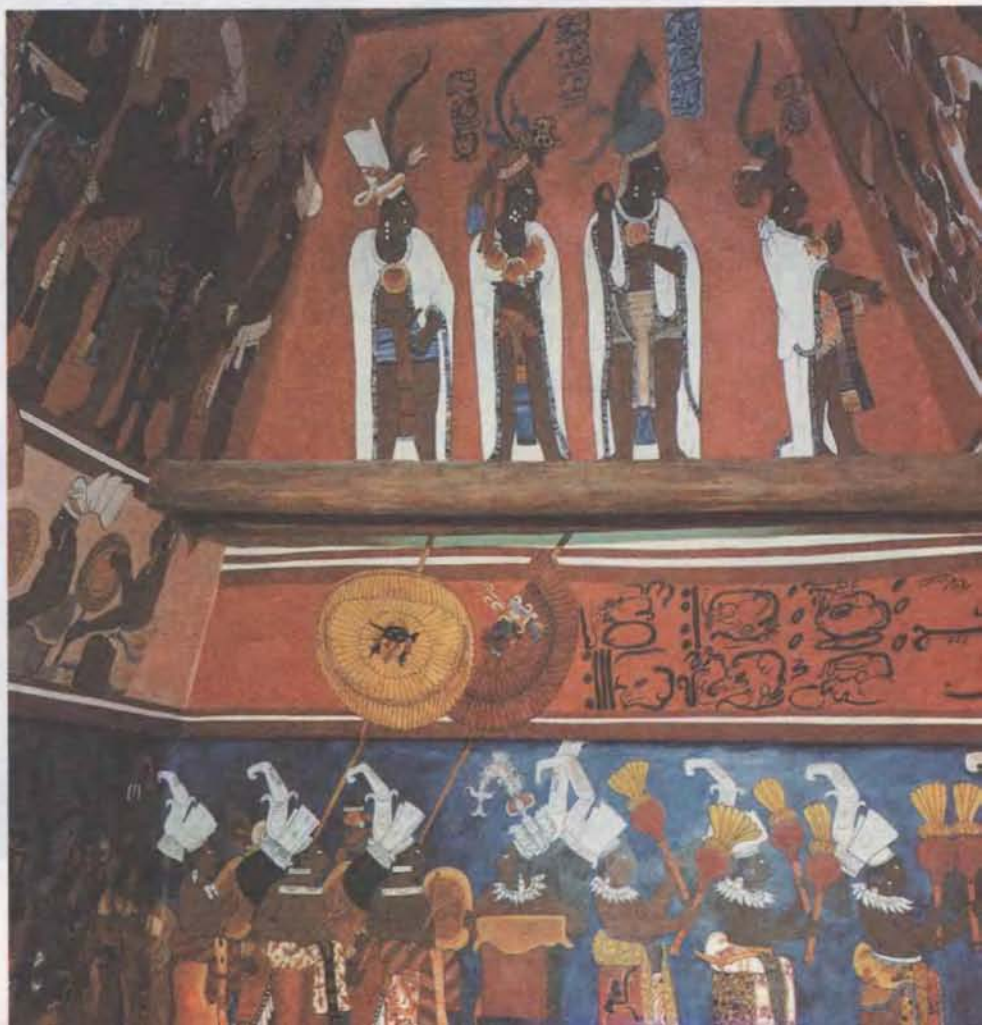
Непреднамеренный ущерб

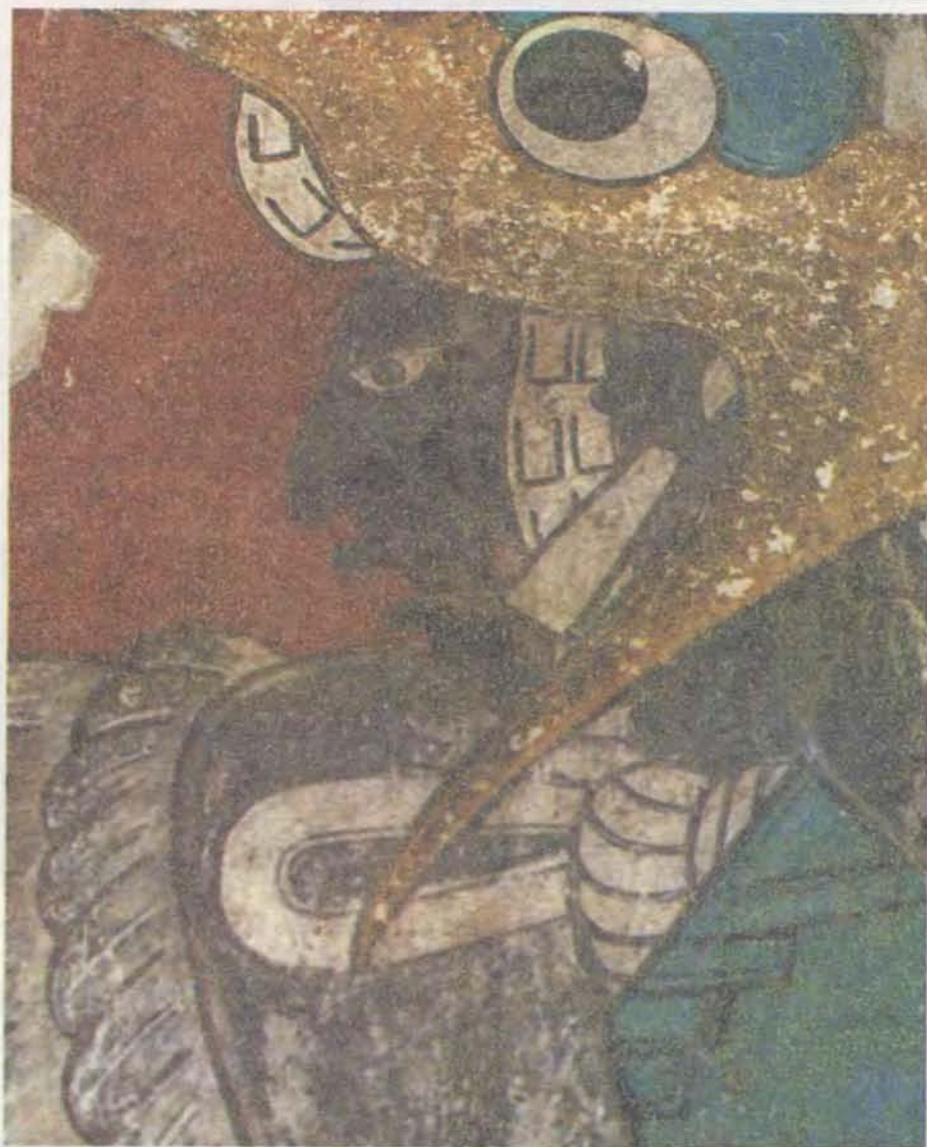
Фрески на внутренних стенах каменных комнат датируются 800 г. На одной из них, выполненной изумительными красками, мы видим сцену кровопролитного сражения, сопровождаемую картинами празднования победы над врагом. В то время когда был открыт Бонампак, считалось, что классические майя были миролюбивым народом, не имевшим письменной истории. Открытия в Бонампаке опровергли это представление и показали, какими майя были на самом деле: воинственным народом, запечатлевшим свою историю в иероглифах. “Бонампак явился водоразделом в исследовании майя”, — замечает Мэри Миллер.

Состояние фресок вызывает большую тревогу у многих ученых. “Город затерялся в глубине влажного тропического леса и в течение 1000 лет, скрытый от света, подвергался действию влаги”, — объясняет Мэри Миллер. “Первое, что было сделано после открытия фресок — это вырублены деревья и над остатками зданий сооружены жестяные крыши. От этого днем становилось очень жарко, а ночью — холодно”. В 60-х годах специалисты по сохранению памятников пропитали стены силиконом, который хоть как-то предохранял краски. Но затем силикон весь стек вниз, и состояние фресок ухудшилось. Кроме того, в качестве предохранительной меры несколько больших трещин на фресках были заделаны цементом, тем самым им был нанесен еще больший ущерб, хотя и непреднамеренный.



ФРЕСКИ БОНАМПАКА. На фотографии сверху: так выглядели фрески до их недавней очистки от слоя карбоната кальция, еще сохранившегося на потолке. В верхнем ряду в белых одеждах изображены представители знати, в нижнем — музыканты, которые бьют в барабан и потрясают погремушками в честь победы, одержанной в сражении. Внизу изображена копия фресок, сделанная Фелипе Давалосом для Флоридского музея естествознания в Гейнсовилле.





Настоятельная необходимость

Несколько лет назад фрески были очищены. Когда с них удалили белый слой карбоната кальция, изображенные сцены предстали во всем своем великолепии. Однако в результате очистки разрушение фресок может ускориться. «Они уцелели прежде всего потому, что были покрыты слоем карбоната кальция», — говорит М. Миллер. Очищенные же фрески в большей степени подвержены воздействию микроорганизмов и постоянно меняющихся температур и влажности. «Очищать их, не обеспечив лучшей защиты, довольно рискованно. Меня беспокоит их будущее», — высказывает свои опасения Миллер.

Вот почему так необходимо «документировать» фрески Бонампака. Некоторые из них уже документированы, включая фотографии, сделанные в 1946 г. Хили, а также Гансом Риттером. Кроме того, существуют четыре панно, одно из которых представляет собой удивительную по своей детализации полномасштабную реконструкцию первой комнаты храма. Она бы-

ИЗОБРАЖЕНИЕ ВОИНА в костюме птицы на стене дворца в Какаштле (вверху). Эти фрески были созданы художниками майя, которых нанимала знать в этом городе ольмек-шикаланков, расположенном в 500 км западнее территории майя.



ла выполнена в середине 70-х годов Филипе Давалосом для Флоридского музея естествознания в Гейнсвилле.

Однако, как бы ни были хороши некоторые из этих реконструкций, — особенно в исполнении Давалоса — ни одна из них, как считают ученые, не является полной. На всех реконструкциях, за исключением той, которая сделана Давалосом, “иероглифы похожи на спагетти”, — говорит Стюарт. “Рисовать все это очень сложно. Мне потребовался год, чтобы научиться писать в стиле майя”. А вот что говорит по этому поводу Бретон в письме своему коллеге Альфреду М. Тоззеру: “Чтобы копировать их [произведения искусства майя], требуется не столько художественное мастерство, сколько особая способность видеть их так, как их видели древние американцы”.

Согласно Стюарту, фрески Бонампака в целом никогда не были должным образом засняты или зарисованы. Однако, возможно, эта ситуация вскоре изменится. В осуществлении этого проекта заинтересован Роберто Гарсиа Молл, новый директор Мексиканского национального института антропологии и истории. Эту инициативу поддерживает и Мэри Миллер, по словам которой “документирование важнее, чем реставрация”.

Новые фрески продолжают находить повсюду в Мезоамерике. В прошлом году, когда мексиканские археологи раскопали лестницу в Какаштле, разрушенном дворцовом комплексе в 100 км восточнее Мехико, они обнаружили две прекрасно сохранившиеся фрески на стенах по обеим сторонам лестницы. Вместе с двумя другими фресками, обнаруженными в середине 70-х годов в Какаштле, новая находка — одна из наиболее значительных в Мезоамерике. Как считает Эллен Т. Бэрд из Университета шт. Небраска в Линкольне, эти фрески были созданы между 655—835 гг. ольмеками-шикаланками, пришедшими, вероятно, с побережья Мексиканского залива. Эти фрески — “уникальное сочетание майяского и центрально-мексиканского стилей”, — говорит Бэрд.

Скорее всего, как полагал ныне покойный Дональд Робертсон из Туланского университета, смешение стилей произошло из-за того, что правители Какаштлы нанимали художников майя. Художники рисовали в своем стиле, но писали иероглифы в соответствии с пожеланиями их патронов. Мэри Миллер восхищена тем, как древние художники изобразили бога майса на недавно обнаруженных фресках: среди зеленых листьев майса видны желтые початки с нарисован-



НА ОЧИЩЕННЫХ ФРЕСКАХ краски блекнут под действием света. Вверху показаны фотографии фрагмента фресок в Какаштле, где изображена сцена сражения. Судя по этим снимкам, сделанным в разное время (левый — в 1978 г., правый — в 1989 г.), более всего поблекла краска индиго (“синняя майя”), тогда как красная краска (на основе гематита) оказалась наиболее устойчивой. В Тулуме часть фрески (внизу) была повреждена, а затем покрылась черным налетом под действием веществ, загрязняющих атмосферу. Левый нижний снимок сделан в 1966., правый нижний — в 1985 г.

ными на них человеческими лицами.

Мексиканские археологи построили большой навес над местом раскопок, однако фрески, раскопанные в середине 70-х годов, значительно поблекли. К счастью, они были скопированы мексиканскими исследователями. Фрески, обнаруженные недавно в Какаштле, были сфотографированы прошлой зимой при содействии Национального географического общест-

ва. Как считает Мэри Миллер, они находятся в столь прекрасном состоянии, что фотографических копий может быть вполне достаточно. Другие, хуже сохранившиеся фрески, возможно, придется копировать от руки. “Многим это кажется ужасно старомодным, однако глаз может увидеть то, что не способен “заметить” объектив фотоаппарата”, — говорит Мэри Миллер.

Кропотливый труд

«Главное сейчас — это скопировать то, что еще сохранилось», — замечает Артур Миллер. Однако желающих заняться этой кропотливой работой немного. У него самого работа с фресками в Тулуме, постклассическом (XV—XVI вв.) комплексе на восточном побережье Юкатана, заняла 4 года. «В этом деле требуется упорство, опыт и усердие, — говорит Артур Миллер. Романтического здесь мало».

Адела Бретон, несомненно, согласилась бы с этими словами. Когда «срисовываешь фрески, мозг, и нервы, а также глаза и рука постоянно напряжены», — писала она одному из своих знакомых. Действительно, одна из причин, почему фрески Бонампака никогда не были полностью скопированы, возможно, заключается в том, что художники быстро «выдыхаются». Копии фресок во второй и третьей комнатах, сделанные Давалосом, уже почти не идут в сравнение с его же копиями фресок в первой комнате. Художница, работавшая в Мехико с одной из копий фресок Бонампака, начала с третьей комнаты, но,

судя по всему, на ней и остановилась, потеряв терпение.

Получение хороших копий становится неотложной задачей, поскольку индустриализация наносит большой ущерб многим городам майя. В Тулуме стены зданий черны от копоти; причина — туристические автобусы. От посещения каменных комнат туристами (туризм — один из главных источников поступления в страну иностранной валюты) в них повышается влажность и остаются споры растений, которые пускают корни на стенах. Нефтяные скважины и дым из труб Национальной нефтяной компании Remex способствуют выпадению кислотных осадков. «Сохранению памятников мешают интересы экономики», — говорит Артур Миллер. По его мнению, следует изготовить копии фресок и установить их на место оригиналов, а последние поместить в музей.

Даже при надлежащих мерах предосторожности невозможно предотвратить разрушение древних памятников, особенно фресок. «Обнаружив фрески, вы можете их документировать», — говорит Стюарт. Вот почему мы хотим скопировать их навсегда».

Granada BioSciences, занимающейся разведением скота. Для этой фирмы и других компаний, число которых все увеличивается, генетически модифицированные, или, как их называют, трансгенные животные сулят в будущем большую выгоду.

Хотя подобные работы находятся пока еще на раннем своем этапе и результаты их противоречивы, ряд небольших компаний предпринимает усилия в этом направлении: Transgenic Sciences, DNX, GenPharm International, Embrex. Фирмы Du Pont, Merck, Genentech и Genzyme тоже разрабатывают программы получения трансгенных животных.

Манипуляции с генами имеют широкие перспективы. Те, кто занимается разведением скота, надеются, что возможность вводить животным новые гены позволит быстрее осуществлять традиционные селекционные программы, т. е. создание пород, обладающих мясом улучшенного качества и повышенной устойчивостью к заболеваниям. Человеческие гены вводят лабораторным животным, чтобы создать модели заболеваний человека. Трансгенные козы, кролики и мыши служат также в качестве живых фабрик, производя в составе своего молока нужные в фармацевтике белки.

Самый скорый результат применения трансгенных животных даст, вероятно, в медико-биологических исследованиях. Вместо того, чтобы искать в природе естественную имитацию болезней человека или вызывать такие состояния у лабораторных животных хирургическим либо медикаментозным путем, можно создавать животных, являющихся моделями того или иного заболевания, путем введения им тех генов, которые обуславливают его у человека. Так, на мышах изучают многие раковые заболевания, а также вирусные инфекции, например гепатит. Мышиные модели разработаны для ряда врожденных генетически обусловленных расстройств, в частности мышечной дистрофии Дюшенна и рассеянного склероза.

В ближайшее время будут созданы усовершенствованные модели заболеваний, причиной которых (или по крайней мере главным фактором) является один-единственный ген — таких, как рак молочной железы и рак кишечника. Медики очень заинтересованы в моделях болезни Альцгеймера и синдрома приобретенного иммунодефицита, но в этих заболеваниях имеют значение многие сложно взаимодействующие гены. Такие случаи пока выходят за пределы реальных возможностей. Как заметил один из

Наука и общество

Жестокий прогресс?

ЧЕТВЕРКА телят, резвящихся на ранчо близ Хьюстона (шт. Техас), выглядит и ведет себя, как все телята на свете. Но внешность обманчива. Каждое из этих животных несет

чужеродные гены, задача которых — заставить организм быстрее расти и не накапливать избыток жира. Эти гены были введены в коровьи эмбрионы Б. О'Малли с коллегами из Медицинского колледжа Бэйлора. Их исследования финансировались фирмой



КОРОВЫ НА ЗАКАЗ: первый в США генетически модифицированный скот несет «пересаженные» гены, благодаря которым животные быстрее растут и имеют более постное мясо. (Фотография К. Смита.)

ведущих сотрудников фирмы Transgenic Sciences в Вустере (шт. Массачусетс) Дж. Шерблом, нельзя настроить ген, словно радиоприемник.

С целью получения трансгенных лабораторных животных для медицинских исследований Национальные институты здоровья в мае нынешнего года заключили контракт с фирмой DNX в Принстоне (шт. Нью-Джерси), согласно которому создается и начинает действовать Национальная организация по развитию трансгенных разработок. Это предприятие, обладая патентом на наиболее широко применяемые методы введения генов в эмбрионы животных, поможет получать трансгенных мышей для исследовательских целей.

Примерно сотня исследователей в год будет платить DNX по 750 долл. за создание трансгенных мышей, несущих нужный ген. Остальную часть действительной стоимости таких моделей, которая составляет 7—10 тыс. долл. в расчете на 1 ген, намерены оплачивать Национальные институты здоровья. «До сих пор ученые полагались на друзей и коллег из других учреждений, имеющих необходимые средства и оборудование, — говорит Дж. Шиндлер из Национального института здоровья и развития детей. — Было бы хорошо, если бы общественность финансово поддержала необходимую экипировку этого предприятия, в котором заинтересованы очень многие».

Правительство тоже принимает участие в обеспечении использования трансгенных животных в онкологических исследованиях. В Национальном институте экологического здравоохранения в Ресерч-Трайэнгл-Парк (шт. Северная Каролина) ведутся испытания мышей, несущих различные гены, которые считаются связанными с определенными раковыми заболеваниями. Цель этих работ — выяснить, более чувствительны такие животные к канцерогенам по сравнению с нормальными особями или нет. «Мы делаем крупную мишень для химических агентов», — объясняет Р. Теннант, руководящий в этом институте исследованиями по клеточной и генетической токсикологии.

Мыши, несущие «гены рака», получены в лаборатории Ф. Ледера в Гарвардском университете; в апреле 1988 г. на них был выдан первый в США патент на трансгенных высших животных. Если проверочные исследования дадут хорошие результаты, фирма Du Pont, имеющая лицензию на животных, полученных Ледером, рассчитывает продавать их по цене 50 долл. за особь.

Несколько биотехнологических

компаний используют трансгенных животных, чтобы получать человеческие белки для лекарственных препаратов. Здесь усилия сосредоточены в основном на том, чтобы нужные гены включились в клетки молочной железы, и тогда желаемые вещества будут выделяться с молоком. Смысл идеи превращать крупных животных в фармацевтические «фабрики» не в том, чтобы получить то или иное вещество в принципе, а в том, чтобы получить его дешевле, чем это удастся при помощи бактерий или культур клеток. В фирме Pharmaceutical Proteins в Эдинбурге (Шотландия) пытаются при помощи овец производить факторы свертывания крови, необходимые больным гемофилией. Компания Genzyme в Бостоне планирует использовать коз для получения гормона роста и интерферона. В Transgenic Sciences занимаются кроликами — отчасти потому, что чиновники Управления по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств США (FDA) «знакомы» с этими животными как с лабораторными.

Пожалуй, наиболее отдаленная перспектива — генетическая модификация сельскохозяйственных животных. С этим направлением связаны и самые серьезные этические проблемы. В ранних экспериментах по введению чужеродных генов, осуществленных в Пенсильванском университете, были созданы в высшей степени жалкие живые существа. На научно-исследовательской станции министерства сельского хозяйства США в Белтсвилле (шт. Мадисон) живут родившиеся шесть лет назад потомки первых свиней, несущих ген, обуславливающий избыточный синтез гормона роста; сейчас они еле вмещаются в свои стойла. Мясо этих животных, как и ожидалось, постное, но они страдают от артрита, летаргии и пониженной половой потенции.

Как заявляет Шерблом из фирмы Transgenic Sciences, эта проблема решается, если ген гормона регулируется, а не постоянно находится в активном состоянии, так что его продукт образуется непрерывно. По его словам, результаты ведущихся в фирме экспериментов на мышах свидетельствуют о том, что механизм синтеза гормона можно контролировать. Эти эксперименты будут повторены на свиньях. «Человечество наверняка не перестанет употреблять в пищу мясо, и надо постараться, чтобы это мясо было хорошим», — сказал Шерблом.

При всем том эксперименты, сбившиеся с пути истинного, породили важные этические вопросы. Можно

ли считать терпимым качество жизни мыши, постоянно дергающейся из-за паркинсонизма? Правомочно ли отягощать животное опухолями? «Тут много неясного и нельзя разделить все на черное и белое, — рассуждает декан Ветеринарной школы Университета Тафта Ф. Лоу. — Если вы сильно изменили мышь или свинью, не значит ли это, что они тем самым лишились своей сущности? Впрочем — по крайней мере, пока — нет реальной возможности изменить столько генов, чтобы стоило говорить о потере подопытным животным своей сущности». На последнее замечание циники резонно возражают, что долго ждать не придется.

Этика и защита прав животных — не единственные плацдармы критики переноса генов. Семейные фермы обеспокоены тем, что расходы на генетически модифицированных животных выбьют у них почву из-под ног. Специалисты по дикой природе предвидят осложнения, связанные с тем, что трансгенные животные могут убежать и внедряться в дикую природу. Физиолог В. Парсел, который изучает «суперсвинью», принадлежащую министерству сельского хозяйства США, охарактеризовал нынешнее состояние разработок по трансгенным животным так: «Года три как изобретен еще только аэроплан, но нам уже хочется с имеющимися знаниями соорудить «Боинг»».

Фирма Granada BioSciences рассматривает создание вышеупомянутых телят как шаг по верному пути. Если эти животные останутся здоровыми и мясо их окажется высокого качества, то лет за десять выяснится, какие выгоды и недостатки имеет разведение трансгенных животных.

УВАЖАЕМЫЕ ПОДПИСЧИКИ!

По всем вопросам доставки журнала «В мире науки» просим обращаться в Центральное агентство зарубежных изданий «Союзпечать».

129110 ГСП Москва, Безбожный пер., д. 19, корп. 16
тел. 280-89-87, 280-90-88, 280-88-11.



Наука вокруг нас

Наблюдения ультрафиолетовой радиации Солнца



ФОРРЕСТ М. МИМЗ

БОЛЬШАЯ ЧАСТЬ ультрафиолетовой радиации, идущей от Солнца к Земле, никогда не достигает поверхности нашей планеты из-за толстой, хотя и разреженной оболочки бледно-голубого газа, называемого озоном. Не будь этого химического щита, ультрафиолетовые лучи обрушивались бы на Землю с таким неистовством, что все живое на планете погибло бы. Поскольку человеческая деятельность, а также некоторые природные явления вроде извержений вулканов вызывают изменения в составе атмосферы, важно вести мониторинг — непрерывные наблюдения содержания озона и потока ультрафиолетовой радиации и фиксировать их вариации.

Благодаря многочисленным наземным станциям и нескольким спутникам ученые много узнали о плотности и распределении озона в атмосфере. Вместе с тем им не достает аналогичной сети станций, чтобы следить за ультрафиолетовой радиацией, проникающей сквозь слой озона. Если не считать приборов, находящихся в распоряжении Смитсоновского института и некоторых других организаций, единственной сетью станций для мониторинга ультрафиолетовой радиации можно считать примерно два десятка счетчиков Робертсона-Берджера.

Эти приборы разработаны для детектирования ультрафиолетовой радиации в определенном интервале длин волн — такой, которая вызывает эритему (покраснение кожи), а затем и солнечный загар. Наиболее быстро эритема возникает при воздействии на кожу ультрафиолетовой радиации с длиной волны около 300 нм. Эта величина попадает в диапазон, отвечающий ультрафиолету-В: от 280 до 320 нм.

Начиная с 1974 г. с помощью сети из восьми счетчиков Робертсона-Берджера ведутся измерения среднего потока ультрафиолета-В. С 1974 по 1985 г., согласно измерениям, этот поток уменьшался примерно на 0,7%

в год. Поскольку содержание стратосферного озона над сетью станций наблюдения в период с 1978 по 1985 г. падало на 0,3% в год, можно было ожидать, что поток ультрафиолета-В будет увеличиваться.

Измеренное уменьшение потока, возможно, было связано с тем обстоятельством, что все счетчики Робертсона-Берджера располагались в городских районах. Независимые исследования показали, что в некоторых сельских районах счетчики регистрировали на 5—7% больший поток ультрафиолета-В, чем в городах. В ходе другого исследования было обнаружено, что с 1981 г. в удаленных районах Швейцарских Альп поток ультрафиолета-В возрос. Итак, не вкраплены ли в результаты исследований 1974—1985 гг. систематическая ошибка, вызванная загрязнением городского воздуха, в котором часто содержатся различные газы и частицы, поглощающие или рассеивающие ультрафиолетовые лучи?

Именно в эту область любители могут внести ощутимый научный вклад. Затратив не так уж много усилий, вы можете построить ультрафиолетовый радиометр для ежедневного измерения потока ультрафиолета-В. Сравнивая свои наблюдения с наблюдениями исследователей из других районов, можно получить важную информацию о том, как загрязнение воздуха влияет на поток ультрафиолета-В, достигающий поверхности Земли.

Прежде чем приступить к постройке радиометра, необходимо понять, как распространяется ультрафиолетовая радиация в атмосфере. Часть радиации рассеивается, остальная же проникает через атмосферу. Сумма рассеянной и прямой радиации называется полной радиацией.

Полная радиация представляет большой интерес для изучения разрушительных эффектов, оказываемых ультрафиолетом как на живые организмы, так и на некоторые материалы, например краски и пластмассы.

Измерения полной радиации полезны и для выяснения влияния на ультрафиолет-В облаков. (Отметим, что счетчики Робертсона-Берджера измеряют именно полную ультрафиолетовую радиацию.)

Измерения прямой радиации дают ценную информацию о поглощающих и рассеивающих агентах в земной атмосфере. Если иметь в виду задачу сравнения эффектов загрязнения воздуха по относительной величине потока ультрафиолета-В в двух или нескольких местах, то из-за непредсказуемой природы облаков и наличия таких препятствий, как строения или деревья, измерения прямой радиации предпочтительнее измерений полной радиации.

Итак, на что должен нацелиться любитель: на полную или на прямую радиацию? Недавно я обсуждал этот вопрос с Джоном Э. Фредериком из Отделения геофизических наук в Чикагском университете. Фредерик разработал компьютерную модель, которая позволяет предсказывать поток ультрафиолета-В на земной поверхности для целого ряда различных условий. Он высказал предположение, что вначале любителю лучше заняться измерениями прямого ультрафиолета-В, поскольку он в меньшей степени подвержен влиянию различных переменных факторов, «загрязняющих» измерения полной радиации. Исходя из этого, я решил дать описание приборов, предназначенных для регистрации прямого ультрафиолета-В.

Ультрафиолетовый радиометр нуждается в детекторе и в устройстве, которое бы «отбирало» нужные длины волн. Сигнал детектора усиливается и передается на цифровой вольтметр, самописец или на компьютеризованную систему сбора данных.

Длину волны можно «отбирать» либо с помощью монохроматора, либо с помощью интерференционного фильтра. Монохроматор обеспечивает удобный, но дорогостоящий метод измерения ультрафиолета-В на отдельных длинах волн в широком диапазоне. Оптический интерференционный фильтр дает гораздо более дешевый и компактный способ «вырезания» достаточно узкой полосы в спектре. Кроме того, сквозь интерференционные фильтры к детектору проходит гораздо большее количество радиации.

Вместе с тем интерференционные фильтры для ультрафиолета-В пропускают радиацию с несколько более широкой полосой длин волн, чем монохроматоры. Кроме того, интерференционный фильтр пропускает некоторое количество радиации из обла-

стей, лежащих за пределами характерной для него полосы пропускания, что может приводить к значительным ошибкам в измерениях. Ультрафиолетовый детектор, который отсекает вторичные полосы фильтров, называют «зашоренным».

Некоторые радиометры, которые я разработал и построил, являются зашоренными. Один из них сделать относительно легко, поскольку используемый в нем детектор содержит и интерференционный фильтр, и усилитель. Детектор (DFA-3000) производится фирмой EG&G Judson. Один детектор стоит 125 долл. Калиброванный детектор, стоящий на 75 долл. дороже, дает возможность проводить измерения потока ультрафиолета-В в абсолютных единицах. Но даже с помощью некалиброванного детектора вы можете вести мониторинг относительного потока ультрафиолета-В.

Применение детектора DFA-3000 существенно облегчает постройку радиометра, однако его фильтр пропускает низкоамплитудную компоненту красного света, которая располагается гораздо ближе к пику в спектральном отклике детектора, чем те длины волны ультрафиолета, которые нас интересуют. Когда Солнце стоит высоко в небе, уровень «красного» сиг-

нала может достигать 10% сигнала детектора. (Ниже я опишу простой метод коррекции этого эффекта.)

Из электронных компонентов для превращения детектора DFA-3000 в 300-нм радиометр нужны лишь сопротивление, потенциометр (переменное сопротивление) и две 9-вольтовых батареи (см. рисунок внизу слева). DFA-3000 содержит кремниевый фотодиод и операционный усилитель. При облучении поверхности диода генерируется слабый электрический ток. Усилитель преобразует сигнал тока в сигнал напряжения, равный произведению силы тока на сопротивление, обозначенное на рисунке R1.

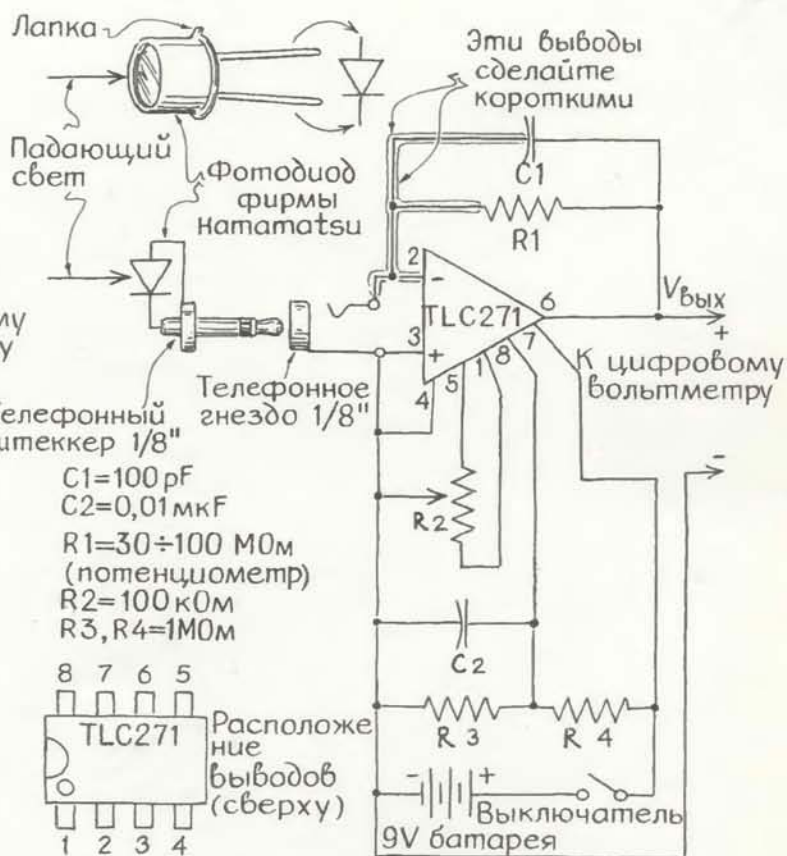
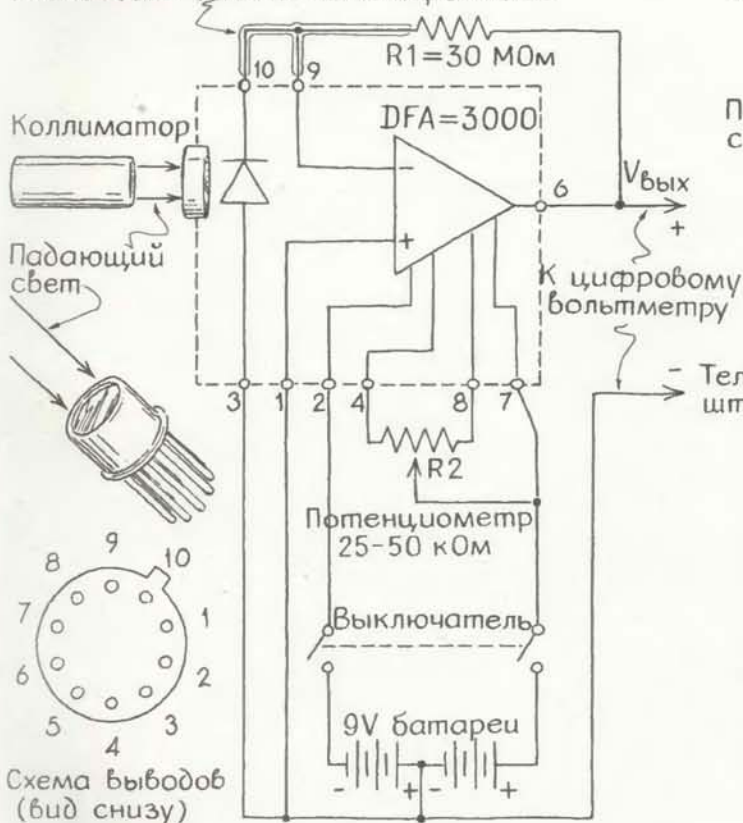
Поскольку ток, генерируемый фотодиодом, может быть меньше 10 миллионных долей ампера, R1 должно быть равно примерно 10 миллион Ом (10 МОм), чтобы выходной сигнал составлял около 1 В. Я нашел, что в качестве R1 можно взять три сопротивления по 10 МОм, соединенных последовательно. Кое-кто из читателей, возможно, захочет увеличить R1, поскольку к северу от широты, на которой проживаю я (29°35' с. ш.), поток ультрафиолета-В ослабевает. Специалисты из фирмы EG&G Judson полагают, что можно использовать сопротивление

до 200 МОм. Однако при очень больших сопротивлениях нужно принимать тщательные меры, чтобы исключить фальшивые сигналы, порождаемые утечкой тока между «входом» детектора (9) и «землей» (1). Тонкий слой пыли, влаги или масла может открыть путь току, который приведет к ошибке в измерениях.

Готовый радиометр я вставил в пластмассовую коробку карманного размера. Если у вас нет опыта сборки электронных схем, вам будет легче работать с коробкой большего размера. Имейте в виду, что коробка должна быть непроницаемой для света. Если свет попадет в коробку, он создаст ложный сигнал, так как основная детектора может не быть абсолютно непрозрачным.

Поскольку мой детектор помещался в маленькой коробке, передо мной стояла задача вставить туда и потенциометр, регулируемый миниатюрным винтом. Сопротивления к детектору я подсоединил путем навивки тонкой проволокой, обматываемой вокруг выводов с помощью специального инструмента. Если вы желаете, можете припаять к выводам обычную проволоку. Важно, чтобы соединения между входом усилителя (вывод 9), фотодиода (вывод 10) и R1 были короткими и прямыми. Чтобы обес-

Эти выводы должны быть короткими



Как подсоединить ультрафиолетовый детектор DFA-3000 фирмы EG&G

Схема «слепого» радиометра, работающего в диапазоне ультрафиолета-В

печать контакт с батареями, используйте пару зажимов. Тщательно осмотрите проволочные соединения, прежде чем подсоединять батарею к цепи.

Собранное мною устройство имеет



Детектор в медной муфте

два выхода в виде гнезд: в них вставляются щупы миниатюрного цифрового универсального измерительного прибора (мультиметра). Возможно, вам захочется разместить радиометр и цифровой вольтметр в одной коробке большего размера.

Поскольку радиометр сконструирован так, чтобы измерять прямую солнечную радиацию, необходим коллиматор, который ограничивает поле зрения прибора. В качестве него на детектор следует надеть трубку с внешним диаметром 1 см. Если детектор свободно движется в трубке, обмотайте его липкой лентой. Покрасьте трубку изнутри ровным слоем черной эмали. Трубка длиной около 90 мм, полностью надвинутая на детектор, создаст поле зрения около 4°.

Прежде чем установить трубку-коллиматор, очистите поверхность фильтра, поскольку пыль и жиры поглощают ультрафиолет-В. Отпечатки пальцев следует смыть этиловым спиртом, а затем высушить поверхность фильтра с помощью бумаги, используемой для протирки линз. Пыль следует сдувать струей чистого сжатого воздуха.

Построенный радиометр прост в обращении. Вначале взгляните в коллиматорную трубку. Если вы увидите отражение зрачка вашего глаза, детектор центрирован правильно. Если нет, выровняйте трубку. После подсоединения вольтметра и включения питания, закройте отверстие коллиматора и отрегулируйте потенциометр, чтобы выходной сигнал стал равен нулю. (Повторяйте эту операцию перед каждой серией измерений.) Теперь направьте трубку на Солнце, расположив ее так, чтобы тень от нее исчезла. Ваш детектор смотрит прямо на Солнце. Запишите значение напряжения и выполните другое измерение. Вскоре вы обнаружите, что даже в ясный день сигнал флуктуирует, иногда значительно. Особенно это заметно около полудня, а также всякий раз, когда небо закрыто облаками или в воздухе присутствует дым или пыль.

В показаниях прибора содержится ошибка, поскольку детектор реагирует на красный свет, «просачивающийся» через фильтр. Ошибку можно исключить простым способом: после каждого считывания показаний проведите второе измерение, поставив на входе в коллиматорную трубку фильтр, задерживающий ультрафиолетовые лучи. Для этой цели пригоден ультрафиолетовый фильтр, применяемый фотоаппаратами.

Если ваш детектор не калиброван, вычитите второе показание (В) из первого (А) и вы получите исправленное

значение напряжения, которое вы можете сравнивать с результатами других измерений.

Если в вашем радиометре использован калиброванный детектор, вы можете вычислить абсолютную спектральную яркость на длине волны 300 нм в ваттах на квадратный метр (Вт/м²). Обычные фильтры, поглощающие ультрафиолет, отражают примерно 8% падающего на них излучения из других областей спектра. Таким образом, в отсутствие фильтра эта «неультрафиолетовая» часть радиации примерно равна величине В, деленной на 0,92. Поскольку активная площадь DFA-3000 равна 9,9 мм², величину сигнала детектора нужно умножить на 101 000, чтобы получить значение в расчете на квадратный метр. В полном виде формула имеет следующий вид:

$$\frac{A - (B/0,92)}{R1 \times Dr} \times \frac{101\,000}{F}$$

где Dr — калиброванный отклик детектора, а F — полоса пропускания фильтра. (Полоса пропускания — это количество нанометров между двумя точками, где пропускание фильтра падает до половины максимального значения.) Идеальный фильтр имел бы полосу пропускания меньше нанометра.

Мой детектор имеет чувствительность 0,04 А/Вт и полосу пропускания 10,4 нм. В ясный августовский полдень обычные показания радиометра таковы: 1,50 (А) и 0,116 (В) вольт. Подставляя эти величины в приведенную формулу, имеем

$$\frac{1,50 - (0,116/0,92)}{30\,000\,000 \times 0,04} \times \frac{101\,000}{10,4}$$

что равно 0,011 Вт/м² · нм. Не забывайте, что это прямая ультрафиолетовая радиация. На тех широтах, где я живу, диффузная часть, обусловленная рассеянием на молекулах воздуха, составляет по крайней мере еще 30% от этой величины.

Если хотите, вы можете написать программу для расчета этой формулы на компьютере. Еще лучше написать программу, которая бы позволяла совершать вычисления, записывать время и дату проведения измерений и в графическом виде изображать результаты измерений, выдавая все это на ленту печатающего устройства.

Можно также построить ультрафиолетовый радиометр, используя диод из фосфида галлия. Эти детекторы в отличие от кремниевых не реагируют на красную часть спектра и таким образом позволяют вести по-настоящему «зашоренные» измерения. Диоды

на фосфиде галлия выпускаются фирмой Hamamatsu Corporation. Детектор G1961 (27,45 долл., имеет эффективную площадь поверхности $1,0 \text{ мм}^2$). Детектор G1962 (35 долл.) размещен в корпусе большего размера и имеет площадь поверхности $5,2 \text{ мм}^2$. В течение некоторого ограниченного времени с учетом вероятного интереса американских читателей нашей рубрики фирма Hamamatsu будет калибровать G1962 на 300 нм за дополнительную плату в 75 долл.

Наиболее дорогой компонент «зашоренного» радиометра — оптический фильтр. Высококачественные фильтры выпускаются фирмой Barr Associates. Фирма делает фильтры только на заказ, поэтому, если вы не связаны с каким-либо институтом, который может оформить заказ, вам придется поискать эту вещь в другом месте.

Фирма MicroCoatings выпускает фильтры диаметром $12,5 \text{ мм}$, пропускающие радиацию на 300 нм , с полосою пропускания 10 нм . Его стоимость — 77 долл., весьма умеренная для интерференционного фильтра. Фирма Twardy Technology, Inc. продает фильтр диаметром 25 мм с теми же характеристиками за 210 долл.

Наиболее важным моментом при постройке слепого радиометра является размещение детектора и фильтра в светонепроницаемом корпусе. Если у вас есть доступ на какой-нибудь завод, вы можете сделать корпус сами. В противном случае можно вставить $12,5$ -миллиметровый фильтр и детектор в медный фитинг или муфту (см. рисунок на с. 82). Двухполюсная телефонная вилка вставляется в одну из крышек муфты и закрепляется с помощью резинового уплотнительного кольца. Выводы детектора вставляются в гнездо светодиода, припаянного к контактам телефонного штеккера. Можно, впрочем, припаять детектор непосредственно к телефонному штеккеру. (Вывод катода должен соединяться с кончиком штеккера.) В том и другом случае некоторые муфты могут вместить лишь детекторы в миниатюрных корпусах.

Фильтр, защищенный парой уплотнительных колец, вставляется во вторую крышку. Коническая крышка подходит лучше других, но ее труднее найти. Если фильтр и уплотнительные кольца не оставляют достаточно места для резьбы крышки, замените одно уплотнительное кольцо бумажной прокладкой. Навинтите крышку на муфту до конца, но не прикладывайте усилий, чтобы не раздавить фильтр. Если нужно, зафиксируйте крышку с помощью капли клея. Следите за тем, чтобы при сборке фильтр

не загрязнился.

В зависимости от размеров детектора коническая крышка создаст поле зрения около 10° . Чтобы уменьшить его до 4° или меньше, к отверстию в крышке необходимо подсоединить коллиматорную трубку. Для этой цели можно взять медную трубку, припаяв ее или приклеив. Покройте трубку изнутри ровным слоем черной эмали.

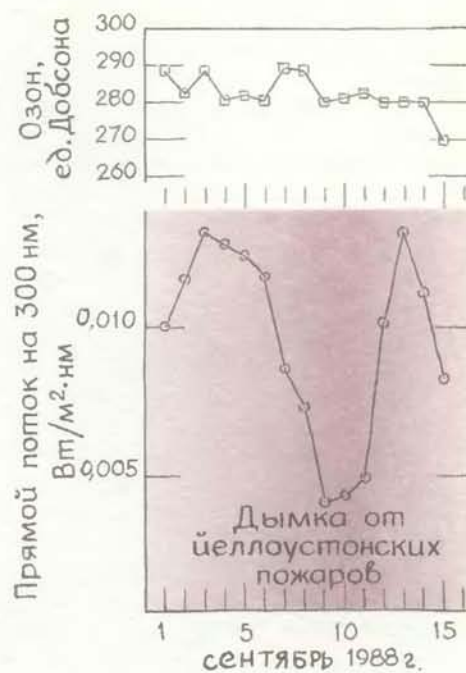
Соединение из детектора и фильтра я помещаю в воздухопроницаемый пластмассовый контейнер, и туда же кладу один-два пакета силикагеля, играющего роль поглотителя влаги. Влагопоглотитель помогает сохранить фильтры, портящиеся от длительного воздействия водяного пара.

Поскольку детектор, фильтр и усилитель входят в радиометр по отдельности, собрать его труднее, чем прибор, в котором все эти компоненты объединены в одно целое. Тем не менее его электрическая цепь функционально идентична цепи первого прибора; убедиться в этом можно, обратившись к схеме на с. 81.

Важным преимуществом этого радиометра является то, что он потребляет очень маленький ток. Поскольку для его питания достаточно одной 9-вольтовой батареи, он легко помещается в компактный кожух. В прилагаемой схеме используется операционный усилитель TLC271CP. Можно использовать и другие операционные усилители, но только с небольшим током смещения. Обратите внимание на описание, выпускаемое фирмой-производителем, поскольку они могут подсоединяться каждый на свой манер.

Усилителю TLC271CP может повредить статическое электричество, поэтому, встраивая его, не касайтесь его выводов. Этой опасности можно избежать, если к цепи припаять восьмиполюсное гнездо интегральной схемы. Вставьте усилитель в гнездо после того, как собрана цепь, но до того, как включено питание.

Слепые радиометры работают во многом так же, как прибор, описанный выше, за одним исключением: его выходной сигнал не падает ниже нуля, поскольку питание цепи осуществляется лишь от одной батареи. Следовательно, при закрытом коллиматоре нужно настроить потенциометр так, чтобы сигнал просто упал до нуля. Формула, приведенная для системы с детектором DFA-3000, поможет рассчитать поток ультрафиолета и в этом случае. Фирмы, выпускающие фильтры, должны давать информацию о длине волны, соответствующей пику пропускания фильтра, и о его пропускании в про-



Наблюдения солнечной ультрафиолетовой радиации

центах. В проспектах фирмы Hamamatsu, приведена площадь детектора и график типичной чувствительности в зависимости от длины волны.

Регулярные измерения прямой ультрафиолетовой радиации Солнца могут дать ценные сведения независимо от того, используется ли при этом калиброванный или некалиброванный детектор. Старайтесь всегда проводить измерения в солнечный полдень. Для получения необходимой информации о времени наступления солнечного полудня можно обратиться к любому стандартному астрономическому справочнику.

Редко бывает так, чтобы максимум в показаниях ультрафиолетового радиометра, приходился бы точно на полдень. В действительности сигнал все время колеблется, и связано это с тем, что радиация на 300 нм ослабляется и рассеивается компонентами атмосферы. По этой причине одно измерение нужно проводить по крайней мере в течение 5 мин.

На протяжении двух лет практически каждый день я измерял прямую солнечную радиацию на четырех длинах волн на участке ультрафиолета-В и шести дополнительных длинах волн. Я обнаружил, что прямая солнечная радиация на 300 нм существенно ослабляется туманом, дымкой, и следом самолета. Летом 1988 г. я наблюдал, как уменьшался поток ультрафиолета-В, когда дым пожаров из Йеллоустонского парка распространился по территории Техаса.

Прохождение холодного фронта,

при котором происходит повышение атмосферного давления в большинстве случаев связано с уменьшением потока ультрафиолета-В, даже когда атмосфера исключительно чистая и сухая. Данные измерений озона со спутников и мои ежедневные наблюдения подтверждают, что такое явление связано с увеличением толщины слоя озона примерно на 15%, а иногда и больше. Низкое барическое давление, по крайней мере в центральной части Техаса, обычно связано с уменьшением толщины слоя озона. Когда в сентябре 1988 г. неподалеку от места, где я живу, проходил ураган Гилберт, мой радиометр зарегистрировал значительное увеличение потока ультрафиолета-В при видимом Солнце. Несколько недель спустя я получил дан-

ные от Арлина Крюгера из Годдардовского центра космических полей, указывающие на то, что в тот период произошло резкое уменьшение толщины слоя озона.

Возможно, мои выводы неприменимы к тому месту, где живете вы, и это одна из причин, по которой было бы хорошо, если бы вы вели собственные измерения. Например, можете ли вы измерить и объяснить увеличение потока ультрафиолета-В, вызываемое снегом, или уменьшение потока, вызываемое степными пожарами или быстрым приближением шквала? Если проводить измерения в двух близко расположенных полосах области ультрафиолета-В, можно рассчитать толщину слоя озона в атмосфере.

Наука и общество

Черепашья история

МОРСКИЕ черепахи, сновавшие в Моканских водах на много миллионов лет раньше, чем появились млекопитающие, славятся своими поразительными воображением миграциями. Лишь только черепаха вылупляется из яйца, она ползет к полосе прибоя и уплывает в открытое море; впоследствии она может кормиться в тысячах километров от родного пляжа. Достигнув максимальных размеров, на что уходит около 30 лет, черепаха предпринимает обратный путь к месту гнездования, чтобы оставить по-

томство. Затем этот грандиозный миграционный цикл повторяется с периодичностью в несколько лет.

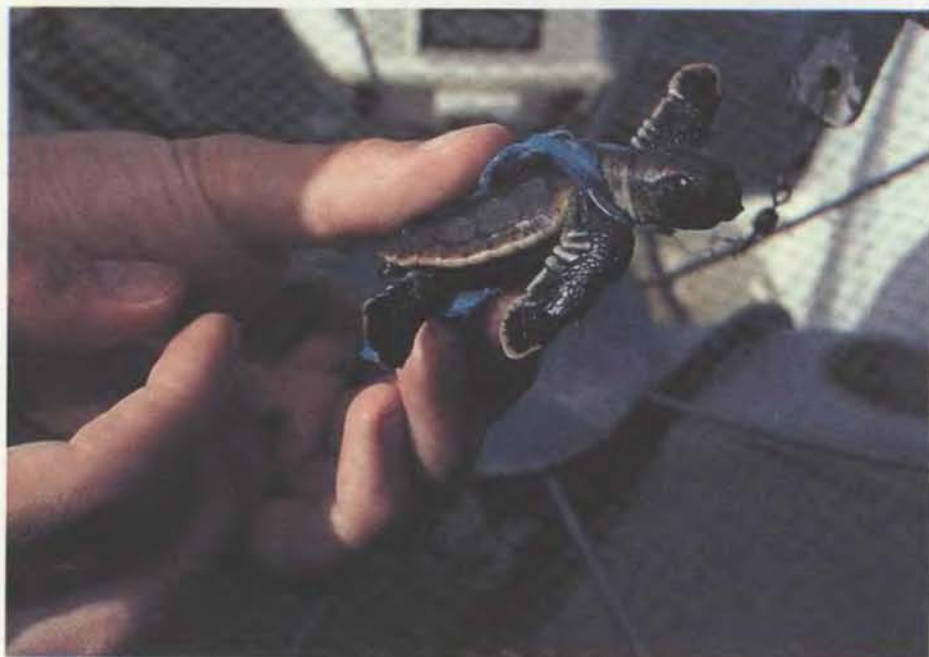
Народная мудрость издревле гласит, что взрослая черепаха-самка всегда возвращается туда, где появилась на свет, но доказательств тому не было. И вот, похоже, получены убедительные свидетельства этого утверждения; более того, предлагаются обоснованные объяснения механизма навигации во время долгих путешествий. Сообщения о таких исследованиях поднимают и тревожный вопрос о том, что существование морских черепах в опасности.

Фактические данные, свидетельствующие, что самки зеленой («суповой») черепахи возвращаются для гнездования на родные пляжи, представлены в журнале «Science» Б. Боуэном из Университета шт. Джорджия и его коллегами А. Мейлан и Дж. Эвайсом. Они проанализировали черепашью митохондриальную ДНК (клеточные органеллы, называемые митохондриями, наследуются только по материнской линии; в митохондриальной, как и в любой другой ДНК медленно накапливаются мутации) и оказалось, что образцы митохондриальной ДНК из популяций, гнездящихся в разных местах, существенно различаются. Это означает, что самки редко меняют участок гнездования. Если бы они откладывали яйца далеко от того места, где вылупились сами, то ДНК разных популяций перемешивались бы. «Географическое разделение — сильное доказательство гипотезы о гнездовании в родных местах», — считает Боуэн.

Подтверждение того, что черепахи действительно возвращаются в родные места, заострило вопрос о механизме их навигации. М. Салмон из Атлантического университета шт. Флорида, а также К. Ломанн и Дж. Уинекен из Иллинойского университета в Эрбана-Шампейн нашли ключ к ответу на этот вопрос. Морские черепахи вылупляются из яиц, которые откладываются на пляжах, по ночам, и известно, что первое инстинктивное действие только что появившейся на свет особи — двигаться в направлении самого светлого участка горизонта, т. е. к морю.

Однако оставалось загадкой, каким образом черепахи определяют нужный курс после того, как покидают берег. В результате экспериментов, в которых только что вылупившихся черепашек выпускали в море в различных местах и затем наблюдали за их поведением, Салмон с коллегами установили, что зеленая, кожистая и головастая черепахи для ориентации используют движение волн. Решающим доводом здесь было следующее: в лаборатории только что вылупившиеся особи головастой черепахи направлялись в искусственные волны даже в темноте. Как утверждает Салмон, морские черепахи, впервые покинувшие берег, ориентируются главным образом «по волнам».

Но этим навигация морских черепах не исчерпывается. Ломанн в условиях лаборатории искусственно изменял направление магнитного поля и показал, что новорожденные особи головастой черепахи ориентируются по магнитному полю. Как и у некоторых других животных, реагирующих на магнитное поле, у головастой черепа-



МОРСКАЯ ЧЕРЕПАХА, только что вылупившаяся из яйца, одета в специальную упряжку для экспериментов по изучению ориентации, которые ведут М. Салмон и К. Ломанн. (Фотография Т. Смойера.)

хи в мозгу содержится намагничивающееся вещество — магнетит. Ломанн полагает, что морские черепахи, подобно голубям, ориентируются скорее всего как по магнитному полю, так и по другим факторам. По его мнению, морские черепахи используют магнитное поле не только для определения направления. Поскольку угол наклона магнитного поля Земли изменяется с широтой и поскольку силовые линии магнитного поля насквозь пронизывают сушу и океаны, возможно, что морские черепахи по магнитному полю определяют направление на север и собственное местоположение. Сейчас ведутся эксперименты с целью проверить эту гипотезу.

По словам Боуэна, последние данные указывают на то, что следует усилить меры по сохранению морских черепах. Коль скоро колонии этих животных не смешиваются, истощение природных популяций в результате охоты (масштабы которой весьма значительны, в частности в Перу и особенно в Мексике, где Боуэн был свидетелем безудержного браконьерства ради черепаших панцирей, кожи и яиц) не может быть компенсировано за счет охраняемых популяций.

Кроме того, по оценкам Национального совета по научным исследованиям США, ежегодно около 40 тыс. морских черепах гибнет в сетях для ловли креветок. Все пять видов, встречающихся в США, включены в список животных, находящихся под угрозой исчезновения. В прошлом году принят закон, согласно которому дрейфующие сети должны быть снабжены приспособлениями, позволяющими морским черепахам спастись. Это, вероятно, сократит их гибель. Однако один вид, а именно атлантическую ридлею, похоже, уже слишком поздно спасать. В основном месте гнездования этих черепах — Ранчо-Нуэво в Мексике — численность популяции составляет менее 1% от уровня 1947 г.

Часы на древесном срезе

КОГДА в 1970 г. археолог Дж. Коулз начал раскопки 1800-метровой деревянной дороги, погребенной в торфяном болоте на юго-западе Англии, он предполагал, что это очень древнее сооружение. Радиоуглеродный анализ подтвердил его предположение. Оказалось, что находка принадлежит к периоду неолита (поздний каменный век, приблизительно 4000 г. до н. э.) и является наиболее древней из всех донныне найденных дорог.

Однако результаты радиоуглеродно-

го анализа, допускающего большую погрешность, не удовлетворили Коулза. Дж. Хиллам из Шеффилдского университета, М. Бейли из Королевского университета в Белфасте и их коллеги определили более точно возраст находки. Согласно их заявлению, эта дорога, известная как «Дорога Суита», была построена из деревьев, поваленных зимой 3807—3806 гг. до н. э.

Хиллам и Бейли опубликовали результаты своего исследования в журнале «Antiquity». Они получили их путем подсчета и сравнения колец на древесном срезе. Каждому такому кольцу соответствует год жизни дерева, а толщина кольца отражает условия его роста в данном году. Следовательно, если два дерева имеют сходную последовательность тонких и толстых колец, можно предположить, что деревья росли в одно и то же время при одинаковых природных условиях.

Прежде всего надо было построить общую хронологию колец деревьев, срубленных для постройки этой дороги. Дендрохронологи составили индивидуальные графики последовательностей колец для каждого дерева, а потом, совместив соответствующие графики этих зависимостей, получили общую картину. Затем они соотнесли этот общий график с точной 7000-летней древесной хронологией, составленной по результатам анализа деревьев, произраставших в Европе между 5289 г. до н. э. и 1983 г. н. э. Оказалось, что деревья, использованные для постройки «Дороги Суита», росли в период 4202—3807 гг. до н. э.

Более тщательное исследование древесины показало, что строители дороги срубили деревья после окончательного

осеннего формирования колец 3807 г. до н. э., но до весеннего возобновления их роста в 3806 г. до н. э. Коулз и его жена Брайони, принимавшая участие в раскопках «Дороги Суита», предполагают, что строители заготовили деревья в холодные месяцы, а ранней весной 3806 г. до н. э., когда вода начала убывать, проложили дорогу через болото.

Хронология «Дороги Суита» заполняет собой ранее существовавший пробел в более общей хронологии Англии, которую разрабатывают в настоящее время. Она также позволяет уточнить возраст многих реликтов периода неолита, найденных в Англии. Чета Коулзов показала, что дорога служила лишь около 10 лет, после чего болото затопило ее и она оказалась погребенной в слое торфа (см. статью Дж. М. Коулза «Самая древняя дорога в мире», «В мире науки», январь, 1990 г.). Очевидно также, что все найденные рядом предметы материальной культуры были сделаны либо до 3806 г. до н. э., либо в течение следующего десятилетия. (Аналогично можно датировать любые подобные находки.) Таким образом, отмечают Коулзы, осколки чаш, найденные рядом с дорогой, свидетельствуют о том, что изготавливать круглые чаши в Англии начали еще в период неолита, не позднее 3796 г. до н. э.

Еще более удивил ученых найденный ими каменный топор, сделанный в Альпах. Ведь это доказывает, что предметы, изготовленные в сердце Европы, проникали в западную Англию и до 3796 г. до н. э. По словам Коулза, раньше в эту дату почти никто бы не поверил.



ДРЕВНЯЯ ДОРОГА, найденная в торфяном болоте в 1970 г.

Книги

Жизнь муравьев;
эволюция человечества;
информационная революция в Индии



ФИЛИП MORRISON

Берт Хеллдоблер, Эдвард О. Уилсон.
МУРАВЬИ

THE ANTS, by Bert Hölldobler and Edward O. Wilson. Harvard University Press, 1990 (\$ 65).

ЭТО роскошное издание родилось как долгожданный итог изучения группы животных, с которой люди, с одной стороны, постоянно сталкиваются прямо в своих жилищах, а с другой — явно недостаточно знакомы,

если говорить об ее изученности, даже в самых густонаселенных районах планеты. После того как около столетия назад увидел свет классический труд Уильяма Мортон Уилера «Муравьи» (Wheeler W.M. "Ants"), последующие общие работы об этих насекомых не отличались ни свежестью взгляда, ни полнотой. Новая книга Хеллдоблера и Уилсона — настоящий прорыв в этой застойной ситуации.

Здесь отражены буквально все ас-

пекты, способные заинтересовать читателя — будь то биолог, социолог или просто любознательный обыватель: эволюция, систематика, жизненный цикл, химическая экология, распознавание сородичей, организация сообществ, симбиоз (перечисление можно продолжить и дальше). Предметом особого интереса авторов являются бродячие муравьи, муравьи-листорезы, жнецы и ткачи; каждой из этих групп посвящена отдельная глава. Из последней главы читатель узнает, как собирать и разводить муравьев, как наблюдать за их жизнью; все это очень кстати, поскольку подобные сведения незаменимы для тех, кто хочет изучать муравьев, но не имеет соответствующего опыта, да и профессиональным энтомологам небезынтересны.

Размеры книги под стать ее грандиозному замыслу: этот монументальный том весом 3 кг с лишним содержит 732 страницы большого формата, набранные в два столбца и изобилующие рисунками и графиками. Охватив на удивление обширный материал, авторы подвергли его весьма скрупулезному отбору; однако там, где нужны детали, информация дается самая подробная. Их труд обобщает содержание свыше 15 тыс. книг и статей, опубликованных за последние 300 лет, а также ряд современных работ, еще не вышедших из печати. В библиографическом разделе, занимающем 64 страницы, перечислено более 2,5 тыс. названий; прочие ссылки вошли в таблицы и т. п. Таким образом, монография Хеллдоблера и Уилсона представляет собой не только бесценный свод знаний, но и основную «путеводитель» по важнейшим литературным источникам. Немаловажен и эстетический аспект; с этой точки зрения книга — настоящее произведение искусства; от первой до последней страницы текст сопровождаются многочисленными иллюстрациями — от тщательно подобранных репродукций из других изданий до оригинальных рисунков и фотографий (в том числе полученных при электронной микроскопии), качество которых, как правило, выше всяких похвал.

Индивидуальные наклонности авторов удачно дополняют друг друга. Сотрудник Вюрцбургского университета Хеллдоблер специализируется по микроморфологии, физиологии и поведению муравьев при обслуживании преимагинальных стадий, а также по изучению других обитателей муравьиных гнезд. Уилсон, работающий в Гарвардском университете, основное внимание уделяет экологии муравьев, систематике, эволюции и социальным принципам их существования.



МУРАВЬИ-ЛИСТОРЕЗЫ *Atta sexdens* разрезают стебель растения на кусочки, чтобы унести их в свое гнездо.



АФРИКАНСКИЕ МУРАВЬИ-ТКАЧИ *Oecophylla longinoda* сооружают гнездо. Рабочие особи выстроились вдоль краев листа, который будет скреплен с другим листом с помощью шелковых нитей, выделяемых личинками.

Невзирая на широту обобщения данных и на то, что труд этот, безусловно, станет авторитетным руководством в своей области, перспективы его влияния на изучение насекомых представляются мне неоднозначными и вызывают некоторые опасения. Я не сомневаюсь, что в морфологических, физиологических и социальных исследованиях он послужит надежной стартовой площадкой и стимулом для начинающих осваивать эту область (тем более — для собирающихся ею заняться), которую авторам удалось подать столь привлекательно. А вот для специалистов, интересующихся систематикой, роль такой книги в ближайшие годы может оказаться не слишком полезной. И дело здесь, как ни забавно, вовсе не в глубине или широте охвата материала, а в самих размерах книги. В последнее время систематика муравьев вступила в период доселе невиданного по масштабам пересмотра сложившихся взглядов. Помещенные в книге таблицы для определения таксономических групп вобрали в себя массу самых свежих достижений. Принятая здесь система, несомненно, куда совершеннее, нежели классификация, предложенная Уилером в 1922 г. (основы которой заложены итальянским энтомологом Карло Эмери), давно вызывавшая горькое разочарование у каждого, кому приходится определять муравьев. Однако как бы ни были хороши и сами новые ключи, и сопровождающие их рисунки, но они помещены в фолиант столь чудовищного объема, что почти невозможно вообразить себе человека, который мог бы воспользоваться им, сидя за микроскопом или склонясь над муравейником.

Не отпугнет ли громада тома потенциальных любителей муравьев, отважатся ли они вступить в единоборство с его страницами, видя как быстро столь приятная внешне книга теряет свой роскошный облик, захватанная листаящими ее пальцами?

Самое очевидное решение — напечатать определительные таблицы со всеми иллюстрациями к ним отдельной книжкой, форматом поменьше и сброшюрованной с помощью спиральки, так чтобы можно было плоско класть ее, развернув на любом нужном месте, и читать, не придерживая руками. Если издатель и в самом деле решит напечатать такое руководство по систематике, то у меня будет к нему одно пожелание: пусть он сперва дожидется завершения ряда крупных таксономических ревизий, над которыми сейчас работают специалисты. Есть поучительный пример того, как могут быть парализованы таксономические исследования, если классификация публикуется раньше времени и застывает в недоконченном виде, превращаясь в глазах ученых в некий современный стандарт; так было с «Каталогом Американского орнитологического союза».

При всем том книга «Муравьи» — настоящий шедевр, достойный всяческого восхищения.

*Уильям Л. Браун-младший,
Корнеллский университет*

*Ричард Г. Клейн. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ЧЕЛОВЕКА: БИОЛОГИЧЕСКАЯ И КУЛЬТУРНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ
THE HUMAN CAREER: HUMAN BIOLOGICAL AND CULTURAL ORIGINS, by*

Richard G. Klein. University of Chicago Press, 1980 (\$ 39.95).

В этом обзоре семейства гоминид, к которому принадлежим и мы с вами, палеоантрополог из Чикагского университета повествует о происхождении и развитии человека с учетом новейших данных. Книга написана очень живо и увлекательно. Вас не покидает ощущение, что вы окунулись в чудесный и загадочный мир, хотя автор и дает понять, что по ископаемым останкам наших далеких предков далеко не всегда можно сделать однозначные выводы.

Том объемом в 500 страниц содержит прекрасные иллюстрации, включая карты и подробные рисунки, облегчающие восприятие материала. Автор избегает неподтвержденных гипотез и суждений, основанных на недостаточных или плохо проверенных данных; напротив, он как бы приглашает читателя дать собственную оценку той или иной теории. Поскольку в палеоантропологии весьма затруднительно поставить эксперимент, а находки чаще всего делаются чисто случайно, то область деятельности палеоантрополога скорее напоминает зал суда, чем физическую лабораторию.

Описанные автором методы исследования не слишком разнообразны: ископаемые остатки дают представление о внешнем облике наших предков; найденные предметы и орудия труда позволяют кое-что узнать об их образе жизни; внеядерная ДНК, выделенная из клеток крови ныне живущих людей, дает возможность проследить генетическую родословную человека.

В одной из глав книги рассказывается о самых древних предшественниках человека. Ветвь млекопитающих, от которых произошли приматы, берет свое начало в конце мелового периода (около 80 млн. лет назад). Эти небольшие млекопитающие, напоминающие белок, обитали на деревьях. По строению челюстей и зубов они несомненно относятся к приматам. Существенно позже появились лемуры и долгопяты. И наконец, от 5 до 10 млн. лет назад, в эпоху позднего миоцена, от линии протошимпанзе, вероятно, отделилась линия проточеловека, хотя находок, сделанных на африканском континенте, пока слишком мало, чтобы достаточно полно «осветить это событие».

Ископаемые остатки самого древнего гоминида (австралопитека) насчитывают 3,8 млн. лет. Они были извлечены из известняковых расщелин и пещер в нескольких местах Южной Африки, а также из пластов вулканического пепла, которыми выстелены рифтовые впадины вплоть до Африканского рога. Хотя ученые еще не пришли к единому мнению относительно генеалогического древа человека, ясно, что в его эволюции можно выделить два адаптивных пути: один из них отмечен увеличением размеров зубов и челюстей, что необходимо для пережевывания грубой растительной пищи, а другой — увеличением черепа и появлением орудий труда. Оба пути вели тем не менее к переходу большей частью на мясную диету, чему способствовала не только охота, но и употребление в пищу остатков пиришеств крупных хищников.

Кости животных и орудия ископаемых людей часто находят вместе по берегам рек (например, в Олдувайском ущелье) или озер (одно из них — озеро Туркана в Кении), и это не случайно. И хищники, и люди часто селились в пещерах, вымытых водой. Поэтому лишь немногие из убитых животных, остатки которых часто находят в этих местах, — дело рук наших предков. По тому, каким образом эти обитатели Олдувайского ущелья скалывали куски кремня, палеоантропологи пришли к выводу, что они были в основном правшами и, следовательно, уже отошли от шимпанзе, которые не отдают заметного предпочтения какой-либо из сторон. Трудно удержаться от искушения использовать этот факт как свидетельство появления у человека асимметрии мозга, но тем не менее он подкрепляется также результатами исследования черепов ископаемых людей того времени.

Климат на Земле в эпоху появления наших первых предков становился все более засушливым. В последующие

2 млн. лет леса постепенно сменились травяным покровом, и приматы, спустившись с деревьев, научились передвигаться на двух ногах по образовавшейся саванне. Эти существа были обитателями тропиков; ни на африканском, ни на каком-либо другом континенте следы ранних гоминид не обнаружены вне тропического пояса. Несмотря на то что значительно южнее, близ мыса Доброй надежды, найдены ископаемые остатки сотен тысяч позвоночных той же эпохи, среди них нет ни одного гоминида.

Первым несомненным свидетельством переселения гоминид за пределы Африки служит находка каменных орудий (возраст которых составляет более 1 млн. лет) в Иордании. С тех пор были найдены многочисленные следы обитания гоминид на территории Старого Света: от Марокко на западе и до Пекина, Таиланда и острова Ява — на востоке. Яванский и пекинский человек вместе с несколькими другими типами примитивного человека были объединены в вид *Homo erectus*. Самые древние из костных остатков (1,8 млн. лет) обнаружены на озере Туркана, а самые молодые и лучше всего сохранившиеся (от 400 до 500 тыс. лет) — на Яве и в Китае. Картина, однако, остается весьма приблизительной: «В общей сложности один образец ископаемого человека... составлен по кусочкам, из остатков, возможно, одной сотни особей... обнаруженных в полусотне... различных мест».

Следует отметить, что при всем пространственном и временном разнообразии находок, сделанных палеоантропологами, каменные орудия довольно «однообразны»; это свидетельствует о том, что человеческая культура развивалась относительно медленно. И все же человек постепенно расселялся по земле и даже приспособился к более суровому климату. Последние 100 тыс. лет человеческой истории (которым посвящены 2 главы книги) ознаменованы появлением в Европе загадочных неандертальцев и обнаружением костных остатков многих полусовременных людей, походивших более на своих будущих потомков, чем на предшественников, обитавших как в Африке, так и вне ее.

Начало последнего действия в эволюции нашего вида относится ко времени, когда около 40 тыс. лет назад в Юго-Западной Франции появился кроманьонец. Это был важнейший момент в истории развития человека, характеризующийся непрерывным возрастанием сложности изготавливаемых им орудий. Капканы, гарпуны, палочки со счетными зарубками и художественные изделия из кости, олень-

оленевого рога и даже кремня появились впервые именно тогда. Великолепная роспись, украшающая стены пещеры в Кантабрийских горах, была создана 15 тыс. лет назад. Человек научился также строить жилища и целые поселения. Одно из таких поселений обнаружено близ села Долни Вестонице в Моравии. Возраст его составляет примерно 27 тыс. лет. Здесь была найдена печь, в которой обжигались фигурки людей и животных. Среди человеческих фигурок одна имеет характерную особенность: ее голова наклонена влево. А рядом найдено захоронение женщины с признаками височно-челюстной деформации костей — заболевания, вызывающего частичный паралич лицевых мышц. Кого не тронет эта грустная фигурка — возможно, самый первый из человеческих портретов!

Все это удивительное наследство несомненно оставлено нашими сородичами — представителями современного типа *H. sapiens sapiens*, обладавшими развитым мозгом. Таким образом, развитие по экспоненте началось очень давно. Продолжается оно и сейчас; за последние 40 тыс. лет численность населения Земли увеличилась на 3—4 порядка величины. Мы не знаем, когда эта кривая роста выйдет на свое плато, ясно одно — рано или поздно это должно произойти.

Арвинд Сингхал, Эверетт М. Роджерс. ИНФОРМАЦИОННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ В ИНДИИ

INDIA'S INFORMATION REVOLUTION, by Arvind Singhal and Everett M. Rogers. Sage Publications, Inc., 1989 (\$ 28; paperback, \$ 14).

Телевизионная революция в Индии началась в 1975 г. Черно-белые изображения стали передаваться на землю через американский спутник, который «висел» над территорией Индии в течение одного года. К антеннам-тарелкам, принимавшим сигналы со спутника, были подключены так называемые общественные телевизоры. В каждой из 2400 деревень, разбросанных по шести «языковым областям» Индии, имелся один такой телевизор. В телепрограммах освещались вопросы здравоохранения, сельского хозяйства, среднего образования и проводились дискуссии по правам землевладельцев и женщин. Наибольшей популярностью эти программы пользовались среди бедных деревенских жителей.

В 1983 г. произошел резкий переход от постепенного пути развития телевидения в Индии к более интенсивному. В этот год был выведен на

орбиту первый спутник связи, принадлежавший правительству страны, который обеспечивал прием телевизионных сигналов цветного изображения на обширной территории Индии. В настоящее время 90% населения страны живет в пределах «зоны обслуживания» одним из 400 телевизионных ретрансляторов, построенных правительством. Однако цветное телевидение доступно еще не всем: стоимость одного цветного телевизора составляет половину годового заработка фабричного рабочего. Многие индийцы берут на некоторое время телевизоры и видеомagneтофоны на прокат. Тем не менее число телевизоров в стране растет и в настоящее время составляет 15 млн. (примерно один телевизор на 6 семей). Предполагается, что к 2000 г. аудитория телезрителей в стране достигнет почти 400 млн. человек. Другая тенденция состоит в том, что правительственная телевизионная сеть в Индии становится все более коммерческой. С 1980 г. ее доходы от показа рекламы возросли в 4 раза. Сейчас это единственное в стране «учреждение», достигшее самокупаемости. Несомненно, что калейдоскопическая Индия все быстрее обретает черты «общества потребления». Авторы книги приводят любопытные данные, полученные в ходе исследования, проведенного ими в 1987 г. Например, когда по телевизору начала широко рекламироваться лапша 2-минутного приготовления под названием «Мэгги», ее стала покупать треть городских телезрителей, хотя в Индии лапша считается сугубо китайским продуктом.

В Индии большинство телезрителей живет сейчас в городах и относится к среднему городскому классу. Они смотрят разнообразные программы, но большинство отдадут предпочтение развлекательным программам в постановке «индийского голливуда». Например, огромную аудиторию телезрителей собирает у телеэкрана сериал (104 получасовых серии), поставленный по сказкам древнеиндийского эпоса. В течение 30 минут на экране разворачивается пышное зрелище, сопровождаемое песнями и танцами.

Читатель узнает и о тех людях, кому принадлежит ведущая роль в развитии телеиндустрии в Индии. В одной из глав рассказывается об авторе сценария первой индийской «мыльной оперы». Главные действующие лица в ней — два брата, продававшие компьютерные диски, зараженные вирусом, и индо-американский магнат, который финансирует промышленные предприятия в развивающихся странах.

Авторы книги высказывают свои

соображения относительно роли средств распространения информации в развитии общества. Когда-то считалось, что такие источники информации, как телевидение, могут влиять на развитие общества на всех его уровнях, вплоть до таких областей, как рисоводство. Однако в 80-х годах утвердилась иная точка зрения: на смену однородным средствам распространения информации должны прийти структуры с обратной связью, для которых характерна индивидуализация информации во времени и пространстве.

Вот один из примеров реализации таких структур. В одном из небольших городов Индии три поколения женщин из близлежащих деревень продавали овощи, расположив свои лотки прямо на тротуарах. Но вот полиция стала «гонять» их под предлогом, что они мешают движению пешеходов. Представители Ассоциации женщин, работающих не по найму, засняли на видеомagneтофон действия полиции. Записи показали, что женщины с их лотками не мешали движению пешеходов. Ознакомившись с этими видеозаписями, представители муниципалитета разрешили женщинам торговать овощами на прежнем месте.

В книге подробно рассказывается о развитии вычислительной техники в Индии, при этом авторы отмечали значительное увеличение числа хорошо оплачиваемых рабочих мест в стране, связанных с обработкой информации. Анализируются также причины, вызвавшие «утечку мозгов», в результате которой 6000 индийских инженеров-электриков уехали работать в США в Силикон-Вэлли.

Обширный материал, представленный в книге, дает возможность читателю не только познакомиться с развитием информационных средств в одной из крупнейших развивающихся стран мира, но и сравнить этот процесс с аналогичным, хотя и более интенсивным, процессом в западном мире.

Морин Кодилл, Чарльз Батлер. СИСТЕМЫ С ЕСТЕСТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ NATURALLY INTELLIGENT SYSTEMS by Maureen Caudill and Charles Butler. The MIT Press, 1990 (\$ 19.50)

Аналогично тому, как полутона компьютерных изображений являются результатом тщательного и трудоемкого подбора черных точек, математические вычисления Алана М. Тьюринга основаны на двоичной логике битов, означающих «да» или «нет». Эта аналогия наводит на интересную мысль о том, что всякое ко-

нечное знание можно представить в виде цепочки решений, связанных друг с другом многократно повторяющейся процедурой пошагового вычисления.

В то же время ни один художник никогда не «сканирует» наблюдаемую сцену бит за битом, так как это делает видеокамера, для того чтобы изобразить сцену на своей картине. Принцип редукации, каким бы универсальным он ни был, — это еще не все, что содержится в знании. Хотя наше повседневное мышление теоретически и можно свести к очень длинным цепочкам информации, в нем никогда явно не проявляются скрытые детали, так же как в стакане воды не видны атомы жидкости.

Легко читаемая книга двух авторов, содержащая множество математических рассуждений без единой формулы, еще раз свидетельствует о появлении и быстром развитии новой дисциплины. Я имею в виду новый класс систем обработки информации, допускающих погрешности, использующих «нечеткую» логику и обладающих способностью к обучению на примерах. О таких системах говорят как о «системах с естественным интеллектом» — природа их интеллекта близка к интеллекту человека.

Названные метафорически нейронными сетями, эти системы искусственного интеллекта обладают некоторым общим, хотя и нечетко выраженным, сходством с нейронными структурами мозга. Однако иногда этот термин приводит к недоразумениям: дело в том, что эти сети вовсе не должны иметь реального сходства с биологическими системами. Они были сконструированы не как модели мозга (этим занимаются нейробиологи), а как машины, построенные на основе общих принципов, подсказанных живыми системами.

Процессорные элементы, находящиеся в узлах машины, называются нейронами (неологизм, придуманный авторами для обозначения искусственных нейронов). Подобно нейронам, нейроды просты, но многочисленны и имеют множество соединений. На эти соединения (синапсы) могут воздействовать некоторые условия, например частота использования их в прошлом. Скажем, память главным образом реализуется на синапсах. Нейроды совсем не обязательно должны быть цифровыми устройствами или иметь последовательный принцип действия; они не срабатывают просто в пошаговой манере, а приспособляются в глобальном смысле к сложному пространственно-временному потоку.

Авторы тщательно разъясняют

ключевые понятия, предлагают исторический экскурс в область нейронных сетей и описывают последние приложения этой технологии. Их открытый неформальный стиль типичен для добротной технической журналистики; здесь есть и удачные шутки, и дополняющие изложение фрагменты, которые либо подчеркивают значение тех или иных положений, либо развлекают читателя сведениями анекдотического характера. Тем не менее абстрактные рассуждения не всегда выдержаны в стиле, понятном профессионально неподготовленному читателю, и, к сожалению, в книге недостает системы внутренних ссылок.

Девятнадцать глав этой книги сгруппированы в 5 разделов. В первом разделе приводится обзорное описание предмета и вводится понятие трехшаговых поведенческих реакций нейрода. Нейроды, по-видимому, принимают сигналы из многих мест и затем формируют результирующий вход, который в определенной степени суммирует поступающие сигналы. Суммарная величина может быть либо простой линейной суммой полученных сигналов, либо более сложной функцией, вычисляемой при помощи различных манипуляций с весовыми коэффициентами, с учетом порогов срабатывания и задержек. Индивидуальные нейроды в конечном итоге забывают историю того или иного конкретного сигнала и передают лишь общий результат следующему нейроду. Принимающий нейрод в свою очередь генерирует соответствующий собственный выходной сигнал, передавая его другим нейродам. Нейроды могут быть сконструированы по-разному, но до сих пор большинство их моделей выполняли математические операции, которые традиционно ассоциируются с цифровыми вычислительными машинами.

Во втором разделе представлены хитроумные структуры памяти на нейронных сетях, разработанные на протяжении последних 15 лет. Это ассоциативные запоминающие устройства, элементы которых связаны друг с другом не по адресам, а непосредственно по содержимому. Описано несколько типов памяти, в том числе устройства, построенные на конкурирующих фильтрах; в последних нейроды конкурируют друг с другом, чтобы усилить свой собственный выход за счет других, обучаясь в процессе работы методом проб и ошибок и становясь более конкурентоспособными.

Третий раздел посвящен обучению. В нем содержится целый ряд весьма интересных сетевых концепций. Здесь представлены идеализированные мо-

дели, разработанные в результате изучения условных рефлексов животных. Некоторые из этих моделей дают целые последовательности фаз обучения. Приведено также краткое, но достаточно информативное описание первой нейронной обучающейся машины, сконструированной в конце 50-х годов Фрэнком Розенблаттом в Корнеллском университете.

Раздел IV посвящен описанию конструкции сетей. Некоторые разумные системы, например, содержат три слоя нейронов: слой для входа, слой для выхода и по крайней мере один скрытый слой между двумя крайними, который передает информацию в обоих направлениях. Полнота описания всех конструкций достигается за счет использования как текста, так и диаграмм; однако их усвоение требует внимательного изучения.

Раздел V изобилует примерами практических приложений нейронных сетей, большинство из которых были разработаны в конце 80-х годов. Четыре сети рассмотрены подробно. Среди них: система оценивания стоимости кредита под недвижимое имущество; рука робота, способная адаптироваться к грузам различного веса; анализатор сигналов звукового радара; сеть, способная обучаться «вождению» на моделируемом в компьютере шоссе. В результате стиль вождения, демонстрируемый сетью, зависит от обучающего человека. Человек, склонный к осторожному вождению, может приучить систему к плавной смене полосы, и напротив, агрессивный водитель сделает сеть «лихачем». Анализатор сигналов радара, впрочем, не требует такого обучения. После нескольких попыток он уже проводит различие между такими объектами, как, скажем, камень или цилиндр, выводя хитроумную систе-

му категорий отражаемого сигнала.

Ни одна из приведенных в книге так называемых интеллектуальных технологий, наверное, не потрясет мир, но недорогие экспертные системы имеют реальную перспективу, и их значение с каждым днем возрастает. Более важным является то, что нейронные сети заставляют нас по-новому взглянуть на интеллектуальные машины. В отличие от экспертных систем, основанных на применении правил и руководствующихся в своих решениях списком критериев, нейронные сети не придерживаются строгих критериев. Подобно тому как люди сначала совершают поступки, а затем уже размышляют над своими действиями, возможно, и нейронную сеть можно объединить с основанной на правилах системой, дополнив ее тем самым подходящим набором критериев.

Тем не менее можно с определенной долей уверенности утверждать, что даже если в один прекрасный день какая-нибудь мощная нейронная сеть проявит по-настоящему разумное поведение, никто не сможет четко объяснить, почему именно сеть пришла к тому или иному решению, точно так же, как мы не знаем заранее, каким образом отреагирует наш приятель, наделенный воображением, на ту или иную ситуацию. Возможно, эти машины и будут думать, но прежде, чем они этого достигнут, они перестанут выглядеть машинами. Таким образом, по-видимому, удастся избежать неприятного нам парадокса. Хотя эта маленькая книжка полна всевозможных подробностей, она представляет собой превосходное введение в захватывающую перспективу искусственного интеллекта, воплощенного в машинах.

Наука и общество

На пути к дальнейшей миниатюризации

ЕСЛИ ехать на север от Нью-Йорка по утопающему в зелени шоссе «Таконик-стейт-паркуэй», то на пути встречается городок Ист-Фишкилл с населением около 23 тыс человек. Здесь вы не найдете никаких впечатляющих исторических памятников; самая большая постройка в городе — продовольственный магазин «Гранд-Юнион». Но строящийся здесь фирмой IBM исследовательский центр по рентгеновской литографии — весьма важный объект, на который полупро-

водниковая промышленность США возлагает большие надежды. К концу года фирма планирует завершить сооружение электронного накопительного кольца, которое будет генерировать необходимое для этих целей рентгеновское излучение. Исследователи надеются, что к середине 1991 г. с помощью новой технологии им удастся формировать интегральные микросхемы нового поколения, отличающиеся наличием чрезвычайно мелких элементов и высокой плотностью упаковки.

Другие предприятия, производящие полупроводниковую продукцию,

с интересом наблюдают за успехами фирмы IBM. Рентгеновская литография получает все большее признание как метод изготовления интегральных схем высокой степени сложности, используемых, например, для динамических запоминающих устройств с произвольной выборкой (ЗУПВ), способных хранить более 256 млн. бит (Мбит) данных на одном кремниевом кристалле размером не более ногтя на большом пальце руки. Используемые в настоящее время методы литографии, основанные на применении света видимого диапазона, едва ли позволят достичь и 64 Мбит.

Хотя рентгеновская литография уже на протяжении почти 20 лет является предметом исследования американских ученых, технология эта пока находится в зачаточном состоянии. «Рентгеновская литография как технологический метод должна стать легко реализуемой, простой в использовании, надежной и недорогой, не говоря о многом другом», — указал М. Любин, президент фирмы Hampshire Instruments в Рочестере (шт. Нью-Йорк), одной из немногих американских фирм, предпринимающих шаги к выпуску рентгеновского оборудования.

В настоящее время рентгеновская литография и дорога, и сложна в применении, а суммарные инвестиции в развитие этой технологии в США отстают от японских. В течение последнего десятилетия капитальные вложения фирмы IBM в работы по рентге-

нолитографии составили около 500 млн. долл. Остальная часть вложений в эту технологию в США за указанный период значительно уступает той сумме, которую выделила фирма IBM. (В 1990 финансовом году объем финансирования исследовательской программы по развитию рентгенолитографии, принятой два года назад Агентством по научно-исследовательским разработкам в области обороны (DARPA), составил 30 млн. долл.) По словам Э. Тоби, консультанта из Бурлингтона (шт. Массачусетс), в Японии вложения в ту же область превышали американские в два раза. Практически все японские фирмы, специализирующиеся на производстве полупроводниковой продукции, ведут исследования в области рентгенолитографии. В недавнем докладе министерства финансов США указывалось, что благодаря солидным инвестициям, которые в настоящее время делает Япония в совершенствование технологии производства полупроводниковых изделий, включая рентгенолитографию, эта страна «в начале 90-х годов будет занимать первое место в мире в области производства и сбыта электронной аппаратуры».

Оптическая технология и рентгенолитография имеют много общего. И тот и другой методы предполагают использование фотошаблонов, на которых вытравляется рисунок схемы, который затем путем просвечивания переносится на кремниевую подлож-

ку. Кремниевые подложки в виде дисков, которые впоследствии нарезаются примерно на 100 пластин (кристаллов) каждая, покрываются светочувствительным материалом, называемым фоторезистом. Затем подложка облучается видимым светом или рентгеновским излучением через шаблон. В соответствии с рисунком на шаблоне облучению подвергаются лишь те участки резиста, которые шаблон оставляет открытыми. При последующей обработке подложки в специальном растворе (травителе) резист на засвеченных участках вытравляется, и на подложке остается копия схемы, имевшаяся на шаблоне. В окончательном виде каждый кристалл будет иметь слоистую структуру, состоящую из 20 схемных слоев.

По мере того как конфигурация схем становится все более плотной, свет видимого диапазона все труднее использовать для нанесения рисунка схемы, подобно тому, как тупой карандаш для проведения тонких линий. Несколько лет назад разработчики схем считали, что оптическая литография окажется бесполезной; как только элементы в рисунке схемы достигнут размера 0,5 мкм. (В кристаллах динамических ЗУПВ, которые могут хранить 4 млн. бит информации и которые являются новейшей продукцией на рынке, схемные линии имеют толщину около 0,8 мкм.) Но применение новых составов резистов и эксимерных лазеров, излучающих на более коротких волнах в диапазоне да-

МЕТОДЫ ЛИТОГРАФИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ МИКРОСХЕМ

	ОПТИЧЕСКИЙ (ПРОЕКЦИОННЫЙ)	ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ (ПРЯМОЙ)	РЕНТГЕНОВСКИЙ (ЛАЗЕРНЫЙ)*	РЕНТГЕНОВСКИЙ (СИНХРОТРОННЫЙ)
ЭКСПОНИРУЮЩАЯ СИСТЕМА	 <p>ИСТОЧНИК ОБЪЕКТИВ ШАБЛОН ПОДЛОЖКА</p>	 <p>ПУШКА ОТКЛОНЯЮЩАЯ СИСТЕМА ШАБЛОН ПОДЛОЖКА</p>	 <p>ИСТОЧНИК ОТРАЖАТЕЛЬНЫЙ КОЛЛИМАТОР ШАБЛОН ПОДЛОЖКА</p>	 <p>ЩЕЛЬ ШАБЛОН ПОДЛОЖКА</p>
ДЛИНА ВОЛНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ, НМ	436 365 248 (дальний ультрафиолет)	ПУЧОК 25-50 ТЫС. эВ	2,2-0,8	1,1-0,8
МИНИМАЛЬНЫЙ РАЗМЕР ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ, МКМ	0,65 0,50 0,35	0,15	0,15	0,15
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, ПОДЛОЖЕК/Ч	40 40 20	4	20-40	40

Источник: данные фирмы Hampshire Instruments

* в стадии разработки



СИНХРОТРОН, генерирующий рентгеновское излучение для производства интегральных микросхем, сооружается в настоящее время фирмой Oxford Instruments для IBM.

лекого ультрафиолета, позволило расширить возможности оптической технологии и сделать ее пригодной для нанесения линий толщиной до 0,35 мкм, т. е. такой, которая необходима для изготовления кристаллов запоминающих устройств емкостью 64 Мбит; опытные образцы таких кристаллов были представлены в июне этого года фирмой Hitachi.

Рентгеновское излучение, имея более короткие длины волн, окажется вполне подходящим для нанесения линий шириной 0,25—0,2 мкм, которые, как ожидается, будут типичными в схемах запоминающих устройств на 256 Мбит. Кроме того, используя рентгеновское излучение, можно получать более четкий рисунок схемы, чем при использовании света оптического диапазона, потому что более коротковолновое рентгеновское излучение остается хорошо сфокусированным на более длинных расстояниях.

Генерирование рентгеновского излучения такой мощности, которая необходима для изготовления микросхем, — задача не простая. Для этих целей исследователи, как правило, используют электронные накопительные кольца, или синхротроны, стоимость которых составляет 25—50 млн. долл.

Замена синхротрона на лазер представляется одной из альтернатив при условии, что лазер окажется достаточно мощным. Компания Hampshire Instruments, например, разработала установку, ориентировочная стоимость которой составит 3,5 млн. долл. Как заявил Дж. Хатчесон, президент консультационной фирмы

VLSI Research в Сан-Хосе (шт. Калифорния), предлагаемая фирмой Hampshire установка может оказаться наиболее экономичной, особенно для небольших производств, выпускающих полупроводниковые кристаллы. В то же время, поскольку в каждом кристалле имеется несколько десятков схемных слоев, изготовителю потребуется не одна лазерная установка, чтобы обеспечить производство больших партий кристаллов.

Сами лазерные системы технически тоже могут быть недостаточно надежными. Для передачи возможно большей мощности источник рентгеновского излучения должен располагаться по-возможности ближе к шаблону и подложке. Но поскольку рентгеновское излучение исходит из одной точки, волны проходят через шаблон под различными углами, создавая вредные тени на слое резиста. Учитывая это обстоятельство, специалисты Hampshire разработали специальную отражающую оптическую систему, выполняющую роль коллиматора, выравнивающего излучение.

Из-за того что рентгеновское излучение имеет очень короткую длину волн, возникает немало технических сложностей. В оптических системах схема, вытравливаемая на шаблоне, часто раз в пять больше по площади, чем та, которая получается на кристалле; система линз фокусирует и сжимает изображение. Поскольку рентгеновское излучение нельзя сфокусировать линзами (оно поглощается ими), изготовители микросхем должны использовать шаблоны со схемным рисунком тех же размеров, которые они хотят получить на кристаллах. Нанесение столь миниатюрных элементов рисунка на шаблоне требует невероятной точности. Поэтому разработка шаблонов является одной из ключевых задач программы DARPA.

Исследователи надеются найти способы решения возникших в этой связи проблем. Так, сотрудники AT&T Bell Laboratories пытаются сфокусировать рентгеновское излучение путем изменения его прямолинейной траектории с помощью зеркал и шаблонов со специальным покрытием. Р. Фримен, заведующий отделом исследований в области электроники в AT&T Bell Laboratories, продемонстрировал, как с помощью системы зеркал можно в 20 раз уменьшить соотношение размеров шаблона и окончательной схемы. В одном из экспериментов сотрудники его отдела отпечатали элементы рисунка размером всего в 0,05 мкм.

И все же, как указывает Фримен, пока работы в этой области не дости-

гли стадии опытного образца, и исследователям предстоит еще справиться с рядом проблем. Например, при столь коротких длинах волн рентгеновское излучение не проникает сквозь слой резиста. В результате сотрудники отдела, возглавляемого Фрименом, вынуждены использовать два или три слоя различных составов резиста и погружать подложку в различные растворы, чтобы последовательно углублять рисунок схемы в толщу подложки. Хотя этот способ вроде бы и решает проблему, говорит Фримен, он все же крайне неэкономичный и ненадежный.

Помимо рентгеновской литографии сейчас появляются и другие методы, позволяющие формировать сложный и плотный рисунок схемы на кристалле. Изготовители микросхем, например, возлагают большие надежды на электронные пучки для «выжигания» рисунка на шаблонах, используемых в литографии. Непосредственная прорисовка схемы на подложке таким пучком тоже возможна, но очень утомительна и занимает много времени, потому что электронный пучок каждую деталь прорисовывает прерывистыми импульсами точка за точкой. Тем не менее американская фирма Lepton в Мюррей-Хилле (шт. Нью-Йорк) надеется, что ей удастся убедить производителей кристаллов в целесообразности использования оптической литографии в сочетании с электронными пучками. В этом случае, как считает М. Лепселтер, президент фирмы Lepton, оптическим способом можно было бы наносить большую часть схемных слоев, а те слои, которые отличаются повышенной сложностью рисунка и требуют особо тщательной прорисовки, наносились бы с помощью электронного пучка.

Все исследователи сходятся на том, что в настоящее время рентгеновская литография представляется самым многообещающим способом изготовления кристаллов в будущем. Вопрос в том, когда он станет практически приемлемым. «Прогнозы, сделанные еще в конце 70-х годов, предсказывали, что к середине 80-х годов рентгенолитография прочно утвердится в производстве микросхем», — отметил Хатчесон.

Производители кристаллов надеются, что экспериментальный производственный центр фирмы IBM в Ист-Фишбилле наконец-то заявит о том, что рентгенолитография практически освоена. Этот центр стал бы единственным предприятием такого рода в США. (Прежние исследования по применению рентгеновской литографии с использованием синхротро-

ПРОИСХОЖДЕНИЕ
ГРАНИТОВП. Браун, Б. Чаппелл, У. Стивенз и др.
Перевод с английского

В книге, написанной известными геологами Великобритании, США, Австралии, Франции и Канады, рассматриваются многие принципиальные аспекты сложной проблемы генезиса гранитов: их общая геологическая типизация, связь плутонизма и вулканизма, механизмы выплавления, перемещения и кристаллизации магмы, геохимические особенности и др. Книга отличается геологической представительностью и широтой охвата фактических материалов, включающих данные по ряду эталонных провинций гранитоидного магматизма Европы, Азии, Северной и Южной Америки, а также Австралии. В ней наглядно раскрывается современный подход к изучению гранитов, базирующийся на комплексной методологии — сочетании детальных геолого-петрографических наблюдений с прецизионными геохимическими исследованиями. Содержащаяся в ней информация позволяет судить о значительном прогрессе в решении многих актуальных для науки и практики вопросов происхождения гранитов.

Для петрологов, геохимиков и геологов всех специальностей.

1991 г. 49 л. Цена 9 р. 70 к.



Эту книгу вы сможете заказать в магазинах научно-технической литературы

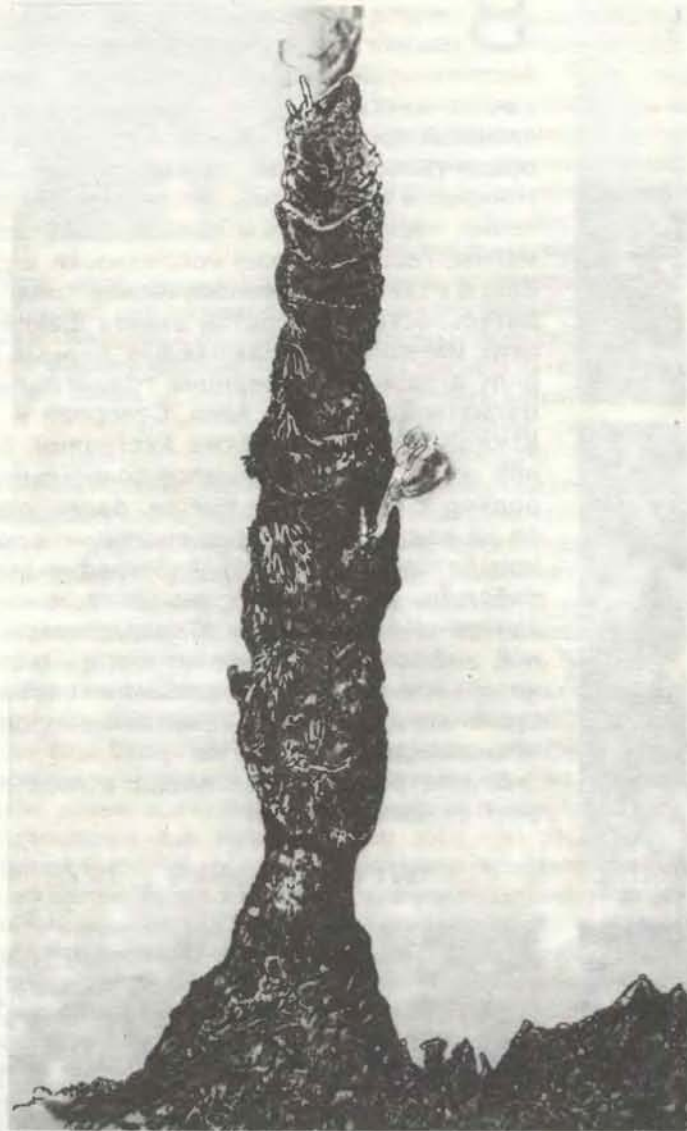


Вниманию читателей!

К. Конди

ТЕКТОНИКА ПЛИТ И ЭВОЛЮЦИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Перевод с английского



Книга известного американского геолога представляет собой систематизированную сводку новейших материалов по строению и эволюции нашей планеты. В ней рассматриваются темы: происхождение системы Земля—Луна, строение ядра, мантии и коры, тектоника плит, геодинамические обстановки, магматические ассоциации складчатых поясов, строение и происхождение ранней докембрийской земной коры. Рассматриваются разные модели образования неистощенных резервуаров — источников для близповерхностных магматических проявлений. Показывается роль глобальной мантийной конвекции. Для сравнения с Землей даются краткие сведения о геодинамической эволюции планет земной группы. Новизна материала и разносторонность его обсуждения значительно увеличивают ценность книги.

Для геологов широкого профиля, специалистов в области геотектоники, структурной геологии и геодинамики, петрологов, преподавателей и студентов геологических вузов.

1991 г. 44 л. Цена 8 р. 30 к.

Эту книгу вы сможете заказать в магазинах научно-технической литературы



на проводились в специально созданных для этой цели небольших временных цехах, размещенных вблизи существующих синхротронов, как, например, в Национальной лаборатории в Брукхейвене.) Даже Sematech, консорциум, занимающийся исследованием и разработкой новых технологических производств полупроводниковой продукции и финансируемый промышленными фирмами и правительством, основное внимание сосредоточивает на совершенствовании оптической литографии.

IBM также принимает участие в программе DARPA и предлагает предоставить доступ американским фирмам, производящим полупроводниковые изделия, к центру в Ист-Фишбилле, заявил М. Пеккерар, руководитель подразделения, занимающегося разработкой процессов производства сверхминиатюрных электронных приборов в исследовательской лаборатории ВМС США. Пока же только Motorola активно работает в указанном центре. Другие компании, включая Hampshire, Lepton и две новые фирмы, возникшие как следствие предпринимательской деятельности Perkin-Elmer в области производства оборудования для полупроводниковой промышленности, внимательно наблюдают за деятельностью IBM через совместное участие в программе DARPA. Как говорит Пеккерар, «даже IBM понимает, что ей одной ничего не удастся сделать».

Если работа будет продолжаться, то не исключено, что в конце 90-х годов рентгеновая литография станет практически освоенным методом в производстве микросхем нового поколения для запоминающих устройств емкостью свыше 64 Мбит, как сказал Р. Хилл, руководитель группы, занимающейся вопросами совершенствования методов литографии. Все, однако, зависит от того, насколько быстро будет расти спрос на кристаллы памяти большой емкости. Как бы там ни было, отмечает Хилл, «если вы желаете оставаться конкурентноспособным, то должны использовать самые лучшие средства, обеспечивающие выполнение этого желания».

Развезать дымовую завесу над Восточной Европой

ЕДКИЕ ГАЗЫ сдавливают дыхание, глаза слезятся, кожу саднит. Периодически ощущаемый привкус серы — почти привычное явление. С трудом верится, что здесь что-то может расти. И это не воображаемый ад в придуманной фантастом картине апо-

калипсиса, а всего лишь те ощущения, которые испытывает человек в один из весенних дней, если оказывается с подветренной стороны в одном из шахтерских районов в Восточной Германии. Города, когда-то славившиеся своими культурными достижениями и политическими заслугами, — Лейпциг, Дрезден, Веймар, — теперь известны как районы, где экологическая обстановка крайне неблагоприятна. В этот ряд можно включить Магдебург, Котбус, Пльзень, Теплице, Краков, Катовице, Копса-Мику. Они служат напоминанием о той опасности, которая неизбежна при безудержном развитии промышленности. Статистика свидетельствует о значительном снижении численности здоровых новорожденных: по данным партии «зеленых» Чехословакии в северной Богемии с родовыми дефектами на свет появляется 10% детей. Даже при небольшой облачности на землю здесь просачивается лишь слабый солнечный свет.

Так что же, действительно окружающая среда в Восточной Европе загрязнена так, как нигде? Некоторые обозреватели полагают, что такое нарочито усиленное внимание к сложившейся в этом регионе тяжелой обстановке говорит об умышленном желании Запада стереть из памяти собственные преступные действия в отношении окружающей среды. Достаточно вспомнить, что не далее как в конце 40-х годов, например, ступающий в полдень сумрак над Питтсбургом (США) перестали считать признаком здорового состояния промышленности, а в начале 60-х годов «смертельные» думы уже не окутывали Лондон (в 1953 г. от этого погибло более 2000 человек).

До закрытия в конце 70-х годов металлургического завода фирмы Inco в Садбери (пров. Онтарио в Канаде) ежегодно исторгал 1% всего объема серы, выбрасываемого в атмосферу всей мировой промышленностью. На территории вокруг завода в радиусе 16 км не росло ни одного дерева. Даже сегодня отравление атмосферы коричневым ватным смогом в странах Восточной Европы не больше, чем в таких городах, как Лос-Анджелес или Денвер.

В принципе промышленность, развивающаяся в условиях тоталитарного управления экономикой, не обязательно должна быть более «грязной» по сравнению с промышленностью, существующей в условиях демократического режима, но в действительности она такова. Исполнительные власти на Западе возможно хотели бы, чтобы секретная полиция упрятала за решетку тех борцов за чистоту окру-

жающей среды, которые выливали на их рабочие столы жидкие токсические отходы, перекрывали трубопроводы с вредными отходами и организовывали массовые выступления в поддержку ужесточения требований по охране окружающей среды. В Восточной Европе исполнительные власти свою волю реализовывали беспрепятственно. Данные о состоянии окружающей среды в европейских странах считались «сверхсекретными». В возникновении катастрофической ситуации социализм с его централизованным планированием играл более скрытую, но не менее решающую роль, чем секретная полиция на Западе. Правительства западных государств также сажали в тюрьмы борцов за охрану окружающей среды (и продолжают делать это), а некоторые даже убивали, но фирмы западных стран придерживались минимальных норм на загрязнение. Когда загрязнение среды перестало быть прибыльным, они прекратили выбрасывать отходы. Однако за «железным занавесом» люди не только страдали от ухудшения экологической обстановки, они всемерно содействовали этому. В экономике, где деньги ничего не значат, потери от загрязнения окружающей среды тоже не играют никакой роли. В 1988 г., например, заводы и фабрики Восточной Германии выплатили штрафы за причиненный окружающей среде вред в сумме более 50 млн. долл. Ну и что? Их никто не обязывал быть прибыльными.

Порочные стимулы социалистической системы с ее централизацией нигде не проявились столь явно, как в энергетике: дороговизна энергии, казалось бы, должна была вызвать стремление к ее экономии, но только не в стране, где государство за все платит и с гордостью возвещает о ежегодных приростах добычи угля. Немцы ГДР, например, ежегодно расходуют на 25% больше энергии, чем их соотечественники в другой части Германии, где жизненный уровень намного выше. Повышенная тепловая изоляция домов, центральное отопление и двойные оконные рамы восточным немцам просто не ведомы. В жилых домах Праги ежедневно расходуется почти вдвое больше воды (при перегруженной канализационной системе), чем в столь же живописной Вене.

Однако воздух, чрезмерно загрязненный серой и пылью, — это лишь одно из явлений, которое можно поставить в вину социалистической системе. Стоит отметить, что в этих странах не так уж много нефти и природного газа, и у них совсем нет твердой валюты, за которую они могли



РУМЫНСКИЙ ГОРОД Копса-Мика известен как самый загрязненный на земном шаре. Фото Г. Гросса.

бы импортировать горючее, которое обеспечило развитие экономики в странах со свободным рынком. Люди вынуждены в основном довольствоваться бурым углем, не лучшим заменителем топлива, которой содержит около 90% угля, до 5% серы и в равных частях силикаты и другие минералы. Закрытая экономика привела и к другим характерным для этих стран катастрофическим явлениям: в Чехословакии, например, применение дешевых фосфатных удобрений из Габона привело к отравлению почв кадмием. (Сельскохозяйственные удобрения внесли свой вклад в общее загрязнение земельных угодий и водоемов, но это вряд ли можно поставить в вину социализму.)

Проблемы загрязнения среды в Центральной Европе усугубляются ее замкнутым географическим положением и ограниченностью территории. Реки и водоемы, в которые промышленные предприятия спускают свои жидкие отходы, одновременно служат и источником питьевой воды. На тех же землях, где производится добыча полезных ископаемых, люди вынуждены и жить, и выращивать сельскохозяйственную продукцию. Хотя территория наиболее пораженного региона в Европе по площади

примерно такая же, как шт. Огайо и западная часть Пенсильвании, в пропорциональном отношении это равносильно тому, как если бы вся территория США к востоку от Миссисипи представляла собой свалку промышленных отходов.

Итак, что же собираются делать эти вновь обретшие свободу государства в отношении действующих прежде законов? Теперь, когда государству уже не принадлежат фабрики и заводы, некоторые чиновники в странах Востока и Запада сокрушаются по поводу того, что никто не может приказать установить измерительную аппаратуру для контроля за выбросами загрязняющих веществ. Несмотря на всю кажущуюся убедительность этого аргумента, вопрос все же остается открытым: действительно ли правительства стран Восточной Европы способны ввести новые более жесткие законы, направленные на охрану окружающей среды? Они должны создать специальные ведомства, ответственные за защиту окружающей среды.

Не последнее место занимает вопрос о выделении средств. Например, по имеющимся оценкам очистка воздуха, воды и почвы в ГДР обойдутся в сумму от 40 до 150 млрд. долл. Конеч-

но, не за все загрязнение окружающей среды ответственность несут страны Восточной Европы. С 70-х годов более 10 млн. тонн токсичных отходов в ФРГ были вывезены на свалки, расположенные на территории, прилегающей к ее восточной границе, которая вскоре видимо исчезнет. Новая, объединенная Германия должна будет изыскать новое место для захоронения вредных отходов. Чтобы приспособить для этого единственную свалку в Кетцине, придется затратить не менее 600 млн. долл.

В Чехословакии вот-вот должны закончить анализ состояния окружающей среды в стране. Какие же проблемы следует считать первоочередными? «Все, — говорит Й. Нечватал, возглавляющий Государственный комитет по защите окружающей среды. — Нужно очищать и воздух, и воду, и землю». По крайней мере хоть эта страна была слишком бедна, чтобы покупать за рубежом пестициды. У Польши, как считают официальные ее представители, нет 400 млн. долл. на то, чтобы прекратить дальнейшее загрязнение окружающей среды, не говоря уж о затратах на ее оздоровление, которое по их подсчетам потребовало бы 25 млрд. долл.

Некоторая сумма денег, возможно,

поступит из вновь созданного Европейского банка. Но и сам переход к свободному рынку в странах Восточной Европы может содействовать улучшению экологической обстановки: многие предприятия, в наибольшей степени загрязняющие окружающую среду, являются устаревшими и убыточными даже без затрат на установку очистных сооружений. Если руководствоваться только экономическими соображениями, эти предприятия следует закрыть, что, по видимому, и будет сделано. Другие промышленные предприятия, — например, те в ГДР, которые возьмут под свою опеку западногерманские инвесторы, — будут розданы и при оговоренных условиях продолжат работу в течение переходного периода, который может продлиться не менее 10 лет.

Какие же обязательства будут возложены на западные компании при покупке предприятий стран Восточной Европы? Всякие экспортные поставки в страны Европейского сообщества должны будут отвечать установленным в них стандартам на безопасность окружающей среды, но Европейское сообщество не будет заниматься вопросами проверки качества самих производственных объектов на предмет их экологической безопасности. «Это было бы слишком расточительно», — заявил представитель министерства охраны окружающей среды ФРГ Г. Херман.

Те из немногих мер по защите среды, которые предпринимаются в странах Восточной Европы вряд ли окажутся приемлемыми в условиях развития экономики по законам свободного рынка. Министр охраны окружающей среды ФРГ К. Тёпфер выразил свое удовлетворение действующей в ГДР системой переработки вторичного сырья, которая утилизирует 40% отходов бумаги, стекла и металла, однако другие официальные представители высказываются против высоких цен на металлолом, которые, по их мнению, подрывают рынок.

Массовые переезды людей — это еще один фактор неэффективного развития экономики. На эти цели в странах восточного блока тратятся большие средства, не говоря уж о том, что никто не может позволить себе совершать дальние поездки на личных автомобилях. Да и главные транспортные магистрали с двухрядным движением не смогли бы пропустить большое количество машин. С экономической точки зрения весьма привлекательной выглядит перспектива создания дорожной сети от Штеттина до Софии по образцу той, которая дей-

Большая страна — большие проблемы

СОВЕТСКИЙ Союз не стеснен территориально, как другие страны Восточной Европы, в которых население вынуждено проживать в городах, загрязненных промышленными отходами. Тем не менее, как говорит председатель Государственного комитета по охране окружающей среды и природы Н. Воронцов, в СССР имеются обширные регионы, страдающие от загрязнения земли, воздуха и воды.

о. Байкал: самый большой в мире резервуар пресной воды, когда-то чистый, теперь отравлен отходами бумажных комбинатов и химических заводов.

Азовское море: загрязнено пестицидами, смываемыми с рисовых плантаций на Кубани; повышается его засоленность по мере отвода пресной воды на ирригационные нужды. По словам Воронцова «экологическая обстановка во всем этом регионе нарушена».

Аральское море: сооружение оросительных систем привело к понижению уровня

моря на 15 м и образованию «новой пустыни». Ветры поднимают пыль из песка, соли и пестицидов и разносят ее на тысячах квадратных километров.

Белоруссия: катастрофа на Чернобыльской АЭС превратила четверть сельскохозяйственных угодий республики в мертвую зону. По имеющимся данным пятая часть населения должна оставить свои места.

Урал, восточная Украина, юг центральной Сибири: воздух загрязнен, многие водоемы отравлены.

«Основная наша проблема в том, — говорит Воронцов, — что в Советском Союзе не хватает культуры в осознании ответственности за экологическое состояние среды. У нас нет денег, но это не главная проблема.

Мы привыкли считать, что наша страна необычайно богата, что у нас неисчерпаемые ресурсы и что мы можем не обращать внимания на состояние окружающей среды». — *Фред Гутерл.*

ствует в Лос-Анджелесе, но пока не известно, как к этому проекту относятся другие страны, на территории которых будут прокладываться дороги этой сети. Новым властям восточ-

ноевропейских стран придется положить голову над тем, как избежать ошибок, которые в свое время были допущены в Западной Европе.

Вниманию биопатологов!

Р. Марри, Д. Греннер, П. Мейес, В. Родуэлл
Биохимия человека

Перевод с английского в 2-х томах.

Широко известный в мире и переведенный на многие языки учебник биологической и медицинской химии и молекулярной биологии. Авторы 21-го, переработанного издания — ученые из США, Великобритании и Канады. Благодаря энциклопедической полноте и четкости изложения книга может служить справочным пособием. На русском языке выходит в 2-х томах. В т. 1 изложены следующие темы: структура и функции белков; биоэнергетика, метаболизм углеводов и липидов; обмен белков и аминокислот. В т. 2 рассматриваются нуклеиновые кислоты и регуляция экспрессии генов, биохимия вне- и внутриклеточной коммуникации,

1991 г. Цена 7 р. 20 к. за комплект.

Эту книгу вы сможете заказать в магазинах научно-технической литературы

Позиция 87 по темплану издательства на 1991 г.

специальные вопросы (питание, свертывание крови, рак, онкогены и факторы роста и др.)

Из рецензий: «Особенность книги состоит в том, что она тесно увязывает биохимические процессы с физиологическими функциями, а также наиболее часто встречаемой патологией... По существу это самое популярное в мире руководство по биохимии» (акад. АМН СССР А.Н. Климов). «Следует подчеркнуть современность учебника и его информативность» (проф. А.Д. Виноградов).

Для биохимиков, клинических биохимиков, студентов и аспирантов биологов и медиков.



Об умении прирожденного натуралиста проникать в сущность вещей



МИРИАМ РОТШИЛЬД

ОБРАЩАЯ взгляд к своему детству, я убеждаюсь, что натуралистами не становятся, а рождаются. Мой отец был страстным натуралистом, однако, несмотря на то что все мы получили одинаковое воспитание, мои братья и сестры не испытывали к растениям и насекомым такой привязанности, как я. Они небрежно обращались с цветами и не увлекались ловлей бабочек. В отличие от них у меня не было хорошего музыкального слуха и способности к иностранному языку, я не любила читать и не могла решать замысловатые задачки. Но зато у меня была хорошая память, я искренне и страстно любила животных и жадно интересовалась всем, что связано с живой природой.

До первой мировой войны летние месяцы мы проводили в Венгрии. Сейчас я смутно помню тот дом, в котором мы жили, свои комнату и игрушки. Я не могу ясно вспомнить членов нашей большой семьи — бабушку и дедушку, тетушек, дядюшек, двоюродных братьев и сестер, занимавших часть нашего дома. Я не припомню, во что одевалась моя мать и какая у нее была прическа. Но я отчетливо помню собак, домашних животных, птиц, обитавших в тех местах, и, кроме того, все многообразие насекомых. Отец дал мне сачок и помогал укладывать в коробочку все, что удалось поймать.

С наступлением темноты в мою спальню слеталось множество мотыльков, привлекаемых светом ночника, а утром их можно было видеть на белых стенах и на потолке. Я уже тогда заметила, что все они разные, и меня очень удивляло, как странно мотыльки складывают свои крылышки. Куда они прячут головку? Как им удастся так ловко заводить одно крылышко за другое?

Поскольку в то время у нас не было ни телевизора, ни радио, по вечерам мы развлекались тем, что слушали граммофон. Его все время приходилось заводить и менять в нем иголки. Единственным видом транспорта в

сельской местности были пони и запряженная лошадьми двуколка. Это было великим благом, поскольку в таких условиях мы вынуждены были развлекаться в полях и лесах, где я получала истинное удовольствие. Позже в своей жизни я никогда не испытывала большего наслаждения, как тогда в детстве, когда вдруг находила какой-нибудь ров, усеянный белыми фиалками, или неожиданно натыкалась на гнездо длиннохвостой синицы.

Был бы жив мой отец (когда мне было девять лет, он тяжело заболел и умер), он бы разделил мой неподдельный интерес к цветам и бабочкам, к астрономии и погоде и непременно многому научил бы меня. Как-то я обнаружила письмо от него, присланное мне из швейцарского санатория, очевидно в ответ на одно из моих писем: «Откуда ты знаешь, что *Chrysis ignita* — паразит?» — спрашивал он. Отец не любил школу, экзамены и педагогов, поэтому я получила домашнее образование; моей учительницей была старая добрая гувернантка, которая любила римскую культуру и Вальтера Скотта, но совершенно не знала мира природы. В 17 лет я настояла на том, чтобы мне разрешили посещать вечерние классы политехнической школы в Челси, а до этого я занималась только самообразованием. Мне никто никогда не говорил, какие книги следовало читать.

Когда я была в подростковом возрасте, мой брат однажды приехал на каникулы из пансиона с очередным домашним заданием: ему нужно было препарировать лягушку и нарисовать ее внутренние органы. Могла ли я отказать ему в помощи? Очаровательную, но в то же время несчастную лягушку заспиртовали в стеклянной банке. Никогда прежде я не видела в натуральном виде внутренности, кровяные сосуды и нервные волокна. Такая красота была для меня откровением. Этот опыт вновь возбудил во мне интерес к истории природы, которую я забросила после смерти отца. И я решила поехать в Дамаск.

Впоследствии мне крупно повезло, когда, будучи в библиотеке Британского музея, мне представился случай поговорить с Г. Робсоном. Не помню сейчас почему, но тогда я спросила у него, как из мантии улитки получается раковина. Робсон был великим натуралистом, но к сожалению страдал сильным нервным расстройством. Сейчас, вспоминая прошлое, я чувствую некоторое смущение от того внимания и огромного, ничем неоправданного интереса, который он проявил в тот момент ко мне как будущему научному работнику.

Робсон добился для меня места на биологической станции в Неаполе и рекомендовал заняться исследованием довольно примитивного двусторчатого моллюска под названием *Nucula*, чтобы посмотреть, нет ли у него случайно следов давно утраченной радулы. Ему было невдомек не только то, что меня совершенно не интересовали моллюски, но и что нукулы в прибрежных водах в окрестностях Неаполя вообще не водились. В некотором смысле это тоже было удачей, поскольку пока обслуживающий персонал «просеивал» море в поисках отсутствующих нукул, у меня была возможность воочию увидеть некоторых самых красивых морских животных.

По возвращении в Англию я решила взглянуть на нукулу, которую без труда можно было найти на южном побережье в заливе Плимут. В первый день, когда я занималась препарированием моллюска, мне попался образец, буквально кишаший личинками трематод. Это доказывало, что существуют виды, которые до сих пор никем не были описаны и со всех точек зрения необычны. Моя судьба была предрешена. Я в буквальном смысле не могла отвязаться от этого мира полупрозрачных существ с фантастическими жизненными циклами, которые невозможно объяснить эволюцией. Оставалось только допустить идею о божьем промысле.

Семь лет я проработала в Плимуте, пережив бомбежки во время второй мировой войны (за это время я вышла замуж), и обстоятельства заставили меня обратиться к группе животных, которых я могла изучать дома у себя в стране. Я имею в виду блох. Я заинтересовалась тем, как они прыгают, и два года пыталась разрешить эту загадку. Мысль пришла в голову неожиданно, как ни странно в самолете, когда я летела в Израиль, и ответ был найден.

Думаю, что по крайней мере половину своей сознательной жизни я потратила на доказательство того, что мои ослепительные озарения были не менее, чем пустым вздором. Ну а что

же все-таки такое способность проникать в сущность вещей? Я думаю, что если вы натуралист по призванию, то постоянно прокручиваете в своей голове все вам известное, не задумываясь об этом, и все время накапливаете и храните информацию. Затем происходит нечто такое, что в вашем сознании имеющиеся сведения вдруг сталкиваются. Вы неожиданно начинаете воображать, будто видите ответ на загадку, потому что все вроде бы сходится.

Я натуралист, а не ученый, и испытываю чувство живой эмоциональной любви к миру природы — к исторгающемуся из облаков дождю, к ленточным червям, и мой энтузиазм всю жизнь побуждал меня к различным исследованиям. Кроме того, я люблю беседовать на темы, близкие к предмету моего увлечения, будь то о птицах или о цветах, о деревьях или о блохах, и засиживаясь до поздней ночи, глубоко погружаюсь в чтение книг, повествующих о наблюдениях других людей и об их открытиях. Все это позволило мне написать 300 статей и книг, некоторые из которых можно с полным правом отнести к сугубо научным.

Но не нужно заблуждаться — ни любопытство, ни умение быть наблюдательным, ни хорошая память, ни безграничный восторг и наслаждение, доставляемое миром животных и растений, и даже не обладание интуицией — не это делает ученого ученым. Одно из значительных и существенных качеств ученого — это его внутренняя дисциплина — черта, которая мне не присуща. Ученый нуждается не только в самодисциплине, но и в упорном стремлении повысить свою квалификацию, в настойчивости, в решительности, в умении рассуждать и поставить перед собой цель. Такого ученого можно сделать. Натуралистом же нужно родиться. Если же в одном человеке соединится и то и другое, то это самое лучшее.

Г. Хорн ПАМЯТЬ, ИМПРИНТИНГ И МОЗГ

1988 г. Цена 4 руб.

Эту книгу можно получить наложенным платежом, направив заказ по адресу
121019 Москва, пр. Калинина, 26,
маг. № 200 «Московский дом книги»
или 191040 Ленинград,
ул. Пушкинская, 2, маг. № 5

БАЛЛИСТИЧЕСКИЕ РАКЕТЫ В «ТРЕТЬЕМ МИРЕ»

BALLISTIC MISSILE GUIDANCE. David Hoag. Symposium on New Technology and Arms Race. The Draper Laboratory, 1970.

ASSESSING THE COMPARABILITY OF DUAL-USE TECHNOLOGIES FOR BALLISTIC MISSILE DEVELOPMENT. Mark Balaschak et al. The MIT Center for International Studies, June, 1981.

THE UNDECLARED BOMB: THE SPREAD OF NUCLEAR WEAPONS, 1987—1988. Leonard S. Spector. Ballinger Publishing Co., 1988.

MISSILE PROLIFERATION: SURVEY OF EMERGING MISSILE FORCES. Congressional Research Service Foreign Affairs and National Defence Division. CRS Report, No. 88—642 F. Revised February 9, 1989.

НОВЫЕ СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ КЕРАМИКИ

INTRODUCTION TO CERAMICS. W.D. Kingery, H.K. Bowen and D.R. Uhlmann. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc., 1976.

SOLID STATE CHEMISTRY AND ITS APPLICATIONS. Anthony R. West. John Wiley & Sons, Inc., 1984.

HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTIVITY. Reprints from *Physical Review Letters* and *Physical Review B*. The American Physical Society, 1987.

CHEMISTRY OF HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTORS. A.W. Sleight in *Science*, Vol. 242, No. 4885, pages 1519—1527; December 16, 1988.

STRUCTURAL CHEMISTRY AND THE LOCAL CHARGE PICTURE OF COPPER OXIDE SUPERCONDUCTORS. R.J. Cava in *Science*, Vol. 247, No. 4943, pages 656—662; February 9, 1990.

CHEMISTRY OF SUPERCONDUCTOR MATERIALS. Edited by Terrell Vanderah. Noyes Publications (in press).

ИНФЕКЦИИ, СВЯЗАННЫЕ СО СПИДОМ

AIDS: ETIOLOGY, DIAGNOSIS, TREATMENT AND PREVENTION. Edited by Vincent T. DeVita, Jr., Samuel Hellman and Steven A. Rosenberg. Second Edition. J.B. Lippincott Co., 1988.

OPPORTUNISTIC INFECTIONS IN PATIENTS WITH THE ACQUIRED IMMUNODEFICIENCY SYNDROME. Edited by Gifford Leoung and John Mills. Marcel Dekker, 1989.

PULMONARY INFECTIOUS COMPLICA-

TIONS OF HUMAN IMMUNODEFICIENCY VIRUS INFECTION. John F. Murray and John Mills in *American Review of Respiratory Diseases*. Part I, Vol. 141, No. 5, pages 1356—1372; May, 1990. Part II, Vol. 141, No. 6, pages 1582—1598; June, 1990.

ЯЗЫК ФРАКТАЛОВ

THE FRACTAL GEOMETRY OF NATURE. B.B. Mandelbrot. W.H. Freeman & Co., 1983.

THE BEAUTY OF FRACTALS. H.O. Peitgen and P. Richter. Springer-Verlag, 1986.

FRACTALS EVERYWHERE. M. Barnsley. Academic Press, Inc., 1988.

THE SCIENCE OF FRACTAL IMAGES. H.O. Peitgen and D. Saupe. Springer-Verlag, 1988.

FRACTALS FOR THE CLASSROOM. Heinz-Otto Peitgen, Hartmut Jürgens and Dietmar Saupe. Springer-Verlag, 1989.

FRACTALS: AN ANIMATED DISCUSSION, with Edward Lorenz and Benoit B. Mandelbrot. H.O. Peitgen, H. Jürgens, D. Saupe and C. Zahlten (video). W.H. Freeman & Co., 1990.

КОГДА ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ НЕ РАВНА ТЕМПЕРАТУРЕ ЗАМЕРЗАНИЯ

THE THERMODYNAMICS OF SMALL SYSTEMS. T.L. Hill. Parts 1 and 2. Benjamin Co., Inc., 1963.

Large Finite Systems in *Proceedings of the Jerusalem Symposia on Quantum Chemistry and Biochemistry*, Vol. 20. Edited by Joshua Jortner, Alberte Pullman and Bernard Pullman. Reidel Publishing Co., 1987.

MICROCLUSTERS. Edited by S. Sugano, Y. Nishina and S. Ohnishi. Springer-Verlag, 1987.

PHYSICS AND CHEMISTRY OF SMALL CLUSTERS. Edited by P. Jena, B.K. Rao and S.N. Khanna. Plenum Press, 1987.

ELEMENTAL AND MOLECULAR CLUSTERS. Edited by G. Benedek and Martin Pacchioni. Springer-Verlag, 1988.

EVOLUTION OF SIZE EFFECTS IN CHEMICAL DYNAMICS, Part 2 in *Advances in Chemical Physics*, Vol. 70. Edited by I. Prigogine and Stuart A. Rice. Wiley-Interscience, 1988.

THE CHEMICAL PHYSICS OF ATOMIC AND MOLECULAR CLUSTERS in *Proceedings of the CVII Course of the International School of Physics "Enrico Fermi"*, Varenna, Vol. 289. Edited by Giacinto Scoles and S. Stringari. Società Italiana di Fisica (in press).

Вниманию
читателей!

ОРГАНИЧЕСКОЕ
ВЕЩЕСТВО
ПОЧВЫ.
БИОЛОГИЧЕС-
КИЕ И ЭКОЛОГИ-
ЧЕСКИЕ
АСПЕКТЫ.

Р. Тэйт

Пер. с англ.

В монографии американского автора рассматриваются проблемы формирования и состава органического вещества почв, его экосистемных функций как компонента единого комплекса: живые организмы — органическое вещество почвы. Наряду с теоретическими вопросами обсуждаются методология исследования и конкретные методы, а также математические модели трансформации и накопления в почвах органического вещества.

Для почвоведов, агрохимиков, экологов, микробиологов.

Из рецензии: «К настоящему времени опубликовано немало монографий, посвященных проблеме почвенного гумуса. Книга Р. Тэйта существенно, можно сказать, качественно от них отличается: в ней предлагается оригинальная трактовка проблемы. . . Наиболее интересны в книге разделы, посвященные трансформации органических веществ под влиянием живых организмов и зависимости биоты от органического вещества почвы и процессов его изменения. На русском языке аналогичных монографий нет» (проф. Д. С. Орлов).

1991 г. 24 л. Цена 3 р. 90 к.

Заказы принимаются в магазинах научно-технической книги.



РАСПРОСТРАНЕНИЕ СЕМЯН
МУРАВЬЯМИ

MYRMECOCHOROUS PLANTS IN AUSTRALIA AND THEIR DISPERSAL BY ANTS. Rolf Y. Berg in *Australian Journal of Botany*, Vol. 23, No. 3, pages 475—508; June, 1975.

DISPERSAL ECOLOGY OF *CAREX PEDUNCULATA* (CYPERACEAE): A NEW NORTH AMERICAN MYRMECOCHORE. Steven N. Handel in *American Journal of Botany*, Vol. 63, No. 8, pages 1071—1079; September, 1976.

THE COMPETITIVE RELATIONSHIP OF THREE WOODLAND SEDGES AND ITS BEARING ON THE EVOLUTION OF ANT-DISPERSAL OF *CAREX PEDUNCULATA*, Steven N. Handel in *Evolution*, Vol. 32, No. 1, pages 151—163; March, 1978.

THE EVOLUTIONARY ECOLOGY OF ANT-PLANT MUTUALISMS. Andrew J. Beattie. Cambridge University Press, 1985.

SEED ECOLOGY. M. Fenner. Routledge, Chapman & Hall, Inc., 1985.

DIRECTED DISPERSAL; DEMOGRAPHIC ANALYSIS OF AN ANT-SEED MUTUALISM. Frances M. Hanzawa, Andrew J. Beattie and David C. Culver in *American Naturalism*, Vol. 131, No. 1, pages 1—13; January, 1988.

ТЕНДЕНЦИИ ГЛОБАЛЬНОГО
ПОТЕПЛЕНИЯ

ANALYSIS OF THE TEMPERATURE RECORD. T.M.L. Wigley, James K. Angell and P.D. Jones in *Detecting the Climatic Effects of Increasing Carbon Dioxide*. Edited by M.C. MacCracken and F.M. Luther. U.S. Department of Energy, Carbon Dioxide Research Division, DOE/ER-0235, December, 1985.

EMPIRICAL CLIMATE STUDIES: WARM WORLD SCENARIOS AND THE DETECTION OF CLIMATIC CHANGE INDUCED BY RADIATIVELY ACTIVE GASES. T.M.L. Wigley, P.D. Jones and P.M. Kelly in *The Greenhouse Effect, Climatic Change, and Ecosystems*. Edited by Bert Bolin, B.R. Döös, Jill Jäger and Richard A. Warrick. John Wiley & Sons, Inc., 1986.

GLOBAL TEMPERATURE VARIATIONS BETWEEN 1861 AND 1984. P.D. Jones, T.M.L. Wigley and P.B. Wright in *Nature*, Vol. 322, No. 6078, pages 430—434; July 31, 1986.

SUN AND DUST VERSUS THE GREENHOUSE. J.E. Hansen and A.A. Lacis in *Nature* (in press).

НАУКА ВОКРУГ НАС

BIOLOGICALLY EFFECTIVE ULTRAVIOLET RADIATION: SURFACE MEASUREMENTS IN THE UNITED STATES, 1974 to 1985. Joseph Scotto et al. in *Science*, Vol. 239, No. 4841, Part 1, pages 762—764; February 12, 1988.

THE BUDGET OF BIOLOGICALLY ACTIVE ULTRAVIOLET RADIATION IN THE EARTH-ATMOSPHERE SYSTEM. John E. Frederick and Dan Lubin in *Journal of Geophysical Research*, Vol. 93, No. D4, pages 3825—3832; April 20, 1988.

INDICATION OF INCREASING SOLAR ULTRAVIOLET-B RADIATION FLUX IN ALPINE REGIONS. Mario Blumthaler and Walter Ambach in *Science*, Vol. 248, No. 4952, pages 206—208; April 13, 1990.

В МИРЕ
НАУКИ

Подписано в печать 10.10.90.

По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/4.

Гарнитуры таймс, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 6,25 бум. л.

Бумага офсетная №1.

Усл.-печ. л. 12,50.

Уч.-изд. л. 16,28.

Усл. кр.-отт. 51,50.

Изд. № 25/7730. Заказ 927.

Тираж 26130 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

Госкомпечати СССР

129820, ГСП, Москва, И-110,

1-й Рижский пер., 2.

Набрано в Межиздательском

фотонаборном центре

издательства «Мир»

Типография В/О «Внешторгиздат»

Госкомпечати СССР

127576, Москва, Илимская, 7

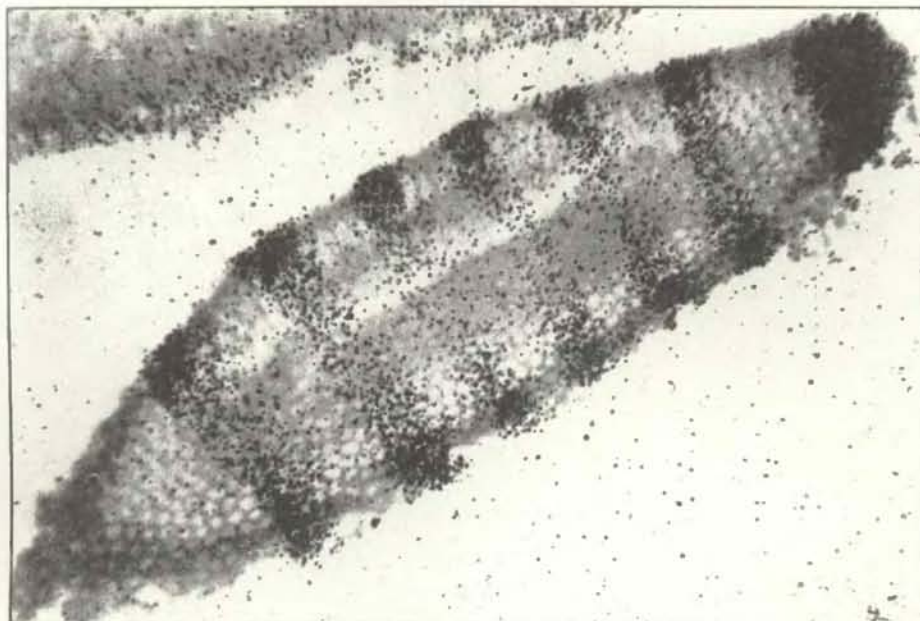


Вниманию читателей!

С. Гилберт

БИОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ

В 3-х томах: Пер. с англ.



Книга представляет собой фундаментальное учебное пособие, в котором подробно описаны последовательные события онтогенеза и сформулированы основные теоретические положения. Автор книги — один из ведущих специалистов в области молекулярной генетики. Перевод сделан со второго издания. На русском языке выходит в 3-х томах.

СОДЕРЖАНИЕ:

Том 1: Формы развития (размножение одноклеточных эукариот; гаметогенез, оплодотворение, дробление, гаструляция, раннее развитие позвоночных).
 Том 2: Механизм клеточной дифференцировки (детерминация, постоянство генома и дифференциальная экспрессия генов, различные пути регуляции экспрессии).
 Том 3: Клеточные взаимодействия в ходе развития (роль клеточной полярности, вторичная индукция, формирование паттернов, дистанционные клеточные взаимодействия и роль гормонов, нормальный рост и онкогенез, детерминация пола, зародышевый путь).

Для эмбриологов, молекулярных биологов, генетиков, цитологов,
 а также студентов биологических факультетов.

Условия подписки

Трехтомник выйдет в свет в 1991—1992 гг.

Ориентировочная цена издания 8 р. При подписке вносится задаток 2 р., который засчитывается при получении последнего тома. Подписка принимается магазинами, распространяющими подписные издания.



В следующем номере:



ЭНЕРГИЯ ДЛЯ ПЛАНЕТЫ ЗЕМЛЯ

ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

ЭНЕРГИЯ ДЛЯ КОММЕРЧЕСКИХ ЗДАНИЙ
И ЖИЛЫХ ДОМОВ

ЭНЕРГИЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ЭНЕРГИЯ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

ЭНЕРГИЯ ДЛЯ РАЗВИВАЮЩИХСЯ СТРАН

ЭНЕРГИЯ ДЛЯ ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ, СССР И КИТАЯ

ЭНЕРГИЯ ИСКОПАЕМОГО ТОПЛИВА

ЭНЕРГИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

ЭНЕРГИЯ СОЛНЦА

ЭНЕРГЕТИКА НА ПЕРЕХОДНОМ ЭТАПЕ