

В МИРЕ НАУКИ

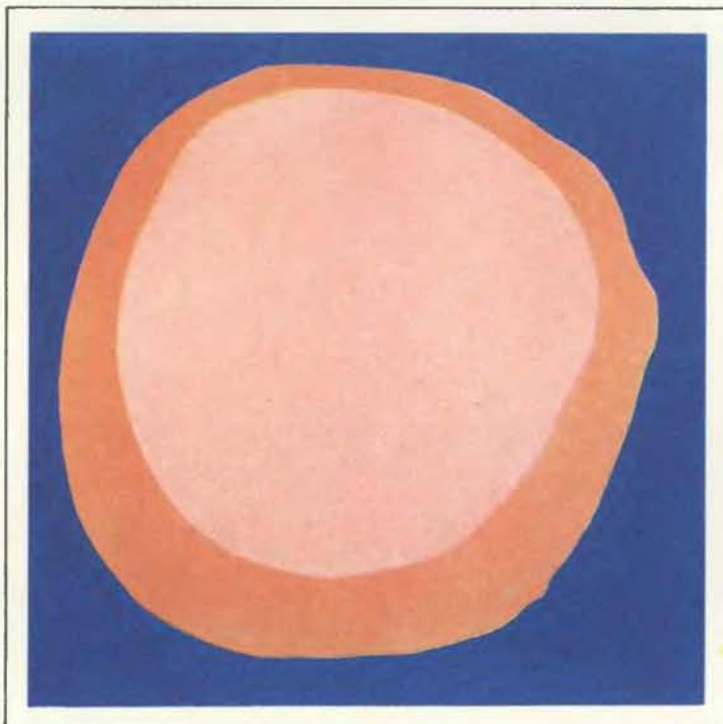
SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Апрель **4** 1990

ПЕРЕМЕННОЕ СОЛНЦЕ



А. Ройт

ОСНОВЫ ИММУНОЛОГИИ

Перевод с английского

Написанный английским автором, пользующийся большой популярностью учебник иммунологии (начальный курс) за короткий срок многократно переиздавался в Англии

и переведен на одиннадцать языков мира. Русский перевод выполнен с последнего, 6-го издания. Книгу отличает исключительно ясное, четкое изложение основ и современного состояния иммунологии, множество великолепных оригинальных иллюстраций.

Содержание: Врожденный иммунитет. Специфический приобретенный иммунитет. Иммуноглобулины. Узнавание антигена. Приобретенный иммунный ответ (строение и функция лимфоидных органов, В- и Т-клетки, продукция эффекторов, регуляция иммунного ответа; эволюция иммунной системы). Иммунитет к инфекции. Профилактика и иммунодефицит. Гиперчувствительность. Трансплантация.

Из рецензии на английское издание: «Учебник, отвечающий самым высоким требованиям и имеющий на редкость большой успех».

Для студентов-биологов и медиков, специалистов-иммунологов, молекулярных биологов, врачей и всех начинающих работать в области иммунологии.

1991 г. 35 л. Цена 3 р. 80 к.

Заказы принимаются в магазинах научно-технической и медицинской книги.



Scientific American · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

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

МОСКВА «МИР»

№ 4 АПРЕЛЬ 1990

В номере:

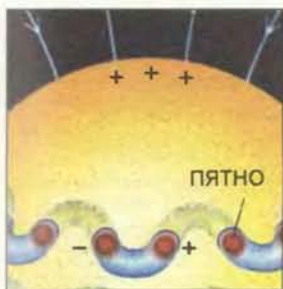
СТАТЬИ

(Scientific American, February 1990, Vol. 262, No. 2)



- 6 Трагедия бессмысленной боли
Рональд Мелцак

Вопреки распространенному представлению автор утверждает, что если морфин принимается только для облегчения боли, пристрастия к наркотикам он не вызывает. А между тем из-за опасения наркомании во всем мире огромное число больных, не получая адекватной терапии, продолжают терпеть бессмысленные страдания.



- 14 Переменное Солнце
Питер В. Фоукал

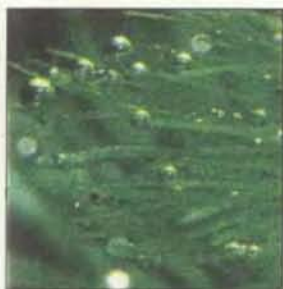
Постоянство тепла и яркости Солнца иллюзорно; потоки солнечного излучения и частиц меняются во времени. Систематические наблюдения начинают приоткрывать причины этих изменений и их влияния на Землю.

Наука в Картинках



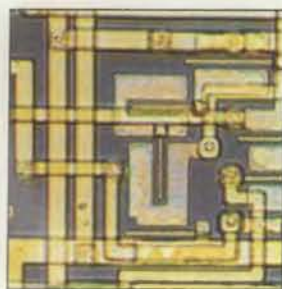
- 25 Хаос и фракталы в физиологии человека
Эри Л. Голдбергер, Дейвид Р. Ригни, Брус Дж. Уэст

Хаос в функционировании организма говорит о здоровье. Периодичность может предвещать заболевание.



- 34 Как растения производят кислород?
Говинджи, Уильям Дж. Колеман

Биохимический механизм, называемый водоокисляющей системой, позволяет растениям и некоторым бактериям использовать солнечную энергию для расщепления молекул воды до газообразного кислорода, протонов и электронов.



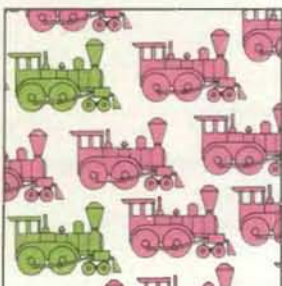
- 42 Полупроводниковые структуры на арсениде галлия
Марк Х. Бродский

Это полупроводниковое соединение не является кандидатом на замену кремния. Тем не менее масштабы его применения в вычислительной технике и средствах связи благодаря высокому быстродействию и исключительным оптоэлектронным свойствам постоянно расширяются



- 52 Взаимопомощь у вампиров
Джералд С. Уилкинсон

Не напившись крови в течение двух ночей подряд, вампир умирает голодной смертью, если только не выпросит пищи у другой особи. Система взаимопомощи обеспечивает равномерное распределение пищи у этих летучих мышей



- 60 Механизмы положительной обратной связи в экономике
У. Брайан Артур

Новая экономическая теория выявляет механизмы, посредством которых небольшие случайные события на ранних этапах развития промышленности или техники приводят к дисбалансу в конкуренции

(Scientific American, March 1990, Vol. 262, No. 3)



- 68 Землетрясения в стабильной континентальной коре
Арч. С. Джонстон, Лиза Р. Кантер

Землетрясения могут происходить даже в устойчивых районах земной коры, вдали от уже известных сейсмических зон, обрамляющих литосферные плиты. Чем объяснить эти загадочные явления?

- РУБРИКИ 4 Об авторах
 5 50 и 100 лет назад
23, 33, 41, 51,
 59, 69 Наука и общество
 78 Наука вокруг нас
 82 Книги
 94 Эссе
 95 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan Piel
EDITOR

John J. Moeling, Jr.
PUBLISHER

BOARD OF EDITORS

Armand Schwab, Jr.
Timothy Appenzeller
Laurie Burnham
Timothy M. Beardsley
Elizabeth Corcoran
John Horgan, June Kinoshita
Philip Morrison (BOOK EDITOR)
Corey S. Powell
John Rennie, Philip E. Ross
Ricki L. Rusting, Russel Ruthen
Paul Wallich, Karen Wright

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

ЛИТЕРАТУРНЫЙ РЕДАКТОР
О. В. Мошкова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. К. Аносов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
Л. И. Желуховцева

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



ПЕРЕМЕННОЕ СОЛНЦЕ

Рисунок на обложке сделан на основе фотографии (в излучении водорода), полученной в Национальной солнечной обсерватории. На нем видны возмущения, типичные для нижних слоев атмосферы Солнца в периоды его высокой активности. Число ярких вспышек и темных волокон увеличивается и уменьшается в течение 11-летнего цикла, вызванного изменениями магнитного поля Солнца (см. статью Питера В. Фоукала «Переменное Солнце» на с. 14). В течение цикла также изменяются потоки излучения и заряженных частиц, испускаемых Солнцем; это может оказывать влияние на Землю.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Ian Worpole

СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
7, 8	Patrica J. Wynne		Mietus, Beth Israel Hospital, Boston, and Edward Bell		Inc. (вверху), Patricia J. Wynne (внизу)
10	Carol Donner				
11	Linda Bartlett			55	Gerald S. Wilkinson
15	National Solar Observatory, Sacramento Peak, New Mexico	28	Burton Sobel, Washington University School of Medicine	56, 57	Patricia J. Wynne
16	Ian Worpole	29	Carol Donner	58	Merlin D. Tuttle
17	Naval Research Laboratory, Washington, D. C. (вверху), National Solar Observatory, Kitt Peak, Arizona (внизу)	30	Edward Bell and Joseph Mietus	61	Andrew Christie
		31	Carla J. Shatz, Stanford University School of Medicine	62	Casa Editrice Giusti di Becocci, Firenze
		35	Quesada/Burke	63, 64	Andrew Christie
18—20	Ian Worpole	35, 38	George Retseck	65	Paul Wallich
21	Peter V. Foukal (слева), National Aeronautics and Space Administration (справа)	39	Johnny Johnson	69	J. Roger Bowman, Australian National University
		40	George Retseck	70, 71	Ian Worpole
		43	Randall M. Feenstra and Joseph A. Stroschio, IBM Thomas J. Watson Research Center	72	Ian Worpole (вверху), Arch C. Johnston (внизу)
24	Quesada/Burke, cast courtesy of John Lehr			73	Ian Worpole
25	Yoichiro Kawaguchi	44, 45	George V. Kelvin	74	Edward Bell (вверху), Ian Worpole (внизу)
26, 27	Carol Donner, redrawn from <i>A Textbook of Histology</i> , by Don W. Fawcett, W. B. Saunders Co., © 1986 (вверху), Joseph	46	International Business Machines	75	Robert Gelinas and David Amick, Ebasco Service
		48	George V. Kelvin	79	Jearl Walker
		49	Edward Bell	80—82	Michael Goodman
		53	Gunter Ziesler, Peter Arnold, Inc.		
		54	M. W. Larson, Bruce Coleman,		

Об авторах

Ronald Melzack "The Tragedy of Needless Pain" (РОНАЛЬД МЕЛЦАК «Трагедия бессмысленной боли») занимается изучением нейрофизиологии боли вот уже 35 лет. В 1954 г. в Университете Макгилла он получил степень доктора философии в области психологии. После этого получил ряд дотаций на научные исследования как в США, так и в других странах. В 1959 г. стал сотрудником Массачусетского технологического института, где вместе с Р. Уоллом начал исследования, приведшие к созданию теории боли, опубликованной в 1965 г. С 1963 г. работает в Университете Макгилла; в настоящее время — профессор психологии. Кроме того, Мелцак один из директоров клиники обезболивания Монреальской больницы общего типа, где он отвечает за научную работу.

Peter V. Foukal "The Variable Sun" (ПИТЕР В. ФОУКАЛ «Переменное Солнце») — специалист в области физики Солнца, президент фирмы Cambridge Research and Instrumentation, Inc. в шт. Массачусетс. Проводимые им исследования включают наблюдения инфракрасных источников в Обсерватории Китт-Пик, разработку прибора для измерения электрических полей в солнечной плазме в Обсерватории Сакраменто-Пик и измерения светимости Солнца. Фоукал получил степень бакалавра в Университете Макгилла в Монреале и степень доктора — в Манчестерском университете в Англии. С 1969 по 1979 г. он был научным сотрудником и читал лекции в Калифорнийском технологическом институте и Гарвардском университете. Написанный им учебник «Solar Astrophysics» будет опубликован издательством «Wiley Interscience» в этом году.

Ary L. Goldberger, David R. Rigney, Bruce J. West "Chaos and Fractals in Human Physiology" (ЭРИ Л. ГОЛДБЕРГЕР, ДЕЙВИД Р. РИГНИ, БРУС ДЖ. УЭСТ «Хаос и фракталы в физиологии человека») сотрудничали в изучении нелинейной динамики в физиологии. Голдбергер — доцент медицинского факультета Гарвардского университета, один из директоров Лаборатории электрокардиографии и аритмии в больнице Бет Израэл в Бостоне. Ригни — доцент Гарвардского университета, участник исследовательской программы Массачусетского технологического института. Уэст — профессор физики и заве-

дующий кафедрой физики в Университете Северного Техаса.

Govingjee, William J. Coleman "How Plants Make Oxygen" (ГОВИНДЖИ, УИЛЛЬЯМ ДЖ. КОЛЕМАН «Как растения производят кислород») совместно исследуют механизм выделения кислорода у зеленых бактерий. Говинджи — профессор биофизики и биологии растений в Иллинойском университете в Эрбана-Шампейн. Он родился в Аллахабаде в Индии; в 1960 г. в Иллинойском университете получил степень доктора философии в области биофизики. Говинджи — автор ряда книг, статей и обзоров о фотосинтезе, в том числе двух статей, опубликованных ранее в «Scientific American». Колеман в настоящее время занимается изучением бактериального фотосинтеза на химическом факультете Массачусетского технологического института; эти его исследования финансируются Национальным научным фондом США. Степень бакалавра получил в Пенсильванском университете в 1979 г., а степень доктора философии — в Иллинойском университете по результатам своих работ с Говинджи.

Marc H. Brodsky "Progress in Gallium Arsenide Semiconductors" (МАРК Х. БРОДСКИЙ «Полупроводниковые структуры на арсениде галлия») — физик, работающий в области исследования фундаментальных свойств и применения полупроводников в Исследовательском центре им. Т. Уотсона фирмы ИВМ в Йорктаун-Хейтсе (шт. Нью-Йорк). До последнего времени был руководителем лаборатории перспективной технологии арсенида галлия фирмы ИВМ. В настоящее время М. Бродский работает директором отдела технического планирования исследовательского отделения той же фирмы. Научные степени, включая степень доктора, он получил в Пенсильванском университете. В течение долгого времени проявляет интерес к вопросам совершенствования высшего образования и сотрудничает с рядом профессиональных и общественных организаций, занимающихся вопросами улучшения системы образования в США.

Gerald S. Wilkinson "Food Sharing in Vampire Bats" (ДЖЕРАЛД С. УИЛКИНСОН «Взаимопомощь у вампиров») изучает социальное поведение

летучих мышей. Впервые он заинтересовался этим в 1978 г. во время полевых исследований в Коста-Рике. С тех пор изучал летучих мышей в Южной Америке, Африке, Австралии, Юго-Восточной Азии и США. Уилкинсон получил степень бакалавра в 1977 г. в Калифорнийском университете в Дейвисе, степень доктора философии в области биологии в 1984 г. в Калифорнийском университете в Сан-Диего. С 1987 г. он доцент зоологии в Мэриллендском университете в Колледж-Парке.

W. Brian Arthur "Positive Feedbacks in the Economy" (У. БРАЙАН АРТУР «Механизмы положительной обратной связи в экономике») — профессор Станфордского университета; область исследований — демография и экономика. Степень доктора философии получил в Калифорнийском университете (Беркли) в 1973 г. Имеет также ученые степени за работы в области операционных исследований, экономики и математики. До недавнего времени работал в Институте по проблеме комплексных систем (Санта-Фе). Руководил там коллективом специалистов в области экономики, физики, биологии и других наук, изучавших динамику сложной, развивающейся экономической системы.

Arch C. Johnston, Lisa R. Kanter "Earthquake in Stable Continental Crust" (АРЧ С. ДЖОНСТОН, ЛИЗА Р. КАНТЕР «Землетрясение в стабильной континентальной коре») соответственно директор и научный сотрудник Центра сейсмологических исследований и информации (CERI) Мемфисского университета. Джонстон вернулся в CERI в 1979 г. после защиты докторской диссертации в Колорадском университете в Боулдере. Он часто исполнял обязанности консультанта по вопросам сейсмической опасности восточной части США в различных организациях, включая подкомитеты конгресса. Кантер защитила докторскую диссертацию в Станфордском университете в 1983 г. Как писал Джонстон, исследование, о котором идет речь в статье, он решил провести, когда увидел, что никто из сейсмологов на одном из семинаров не смог назвать самое сильное землетрясение, зарегистрированное в стабильной континентальной коре.

Shirley M. Malcom "Essay" (ШИРЛИ М. МЭЛКОМ «Эссе») — руководитель Управления по вопросам образования и людских ресурсов Американской ассоциации содействия развитию науки.



ФЕВРАЛЬ 1940 г. «Воздух + вода + уголь = трикотаж. Фабрика по производству нейлоновой пряжи, построенная компанией du Pont в Сифорде (шт. Делавэр), вступила в действие 15 декабря прошлого года. Нейлоновый трикотаж, как мужской, так и женский, будет изготавливаться целым рядом крупнейших компаний страны и появится в широкой продаже, вероятно, в конце весны или в начале лета этого года. Докапываться до происхождения слова «нейлон» нет смысла: это не технический термин и не аббревиатура. Название для искусственного волокна было выбрано исключительно из-за его благозвучия».

«Сотрудникам лаборатории Эджертона в Массачусетском технологическом институте удалось не только «задержать» время, но буквально пустить его вспять, используя последний вариант аппарата, называемого стробоскопом. Представьте себе, что яркий луч света из черного ящика направляется на струю воды, которая при обычном освещении кажется сплошной. При свете стробоскопа струя воды как бы распадается на множество застывших на месте капель — крошечных драгоценных камешков странной формы, свободно парящих в воздухе. Поворот ручки — и мы видим, как вопреки закону земного притяжения капельки начинают двигаться в обратном направлении, «затекая» в кран. Стробоскоп — не просто игрушка для демонстрации забавных фокусов. Он завоевывает все более прочное место в технике и промышленности, например, для наблюдения за быстро вращающимися механизмами и для определения скорости вращения».

«Транспортный самолет «Дуглас DC-3», оснащенный сверхмощным мотором производства компании Pratt & Whitney, случайно побил мировой рекорд высоты для этого типа летательных аппаратов, поднявшись на 8670 м. На его борту находились ученые из Чикагского университета, занятые фотографированием мезотронов — тяжелых радиоактивных компонентов космических лучей. Полет представлял собой часть программы по исследованию космических лучей, руководимой нобелевским лауреатом Артуром Комптоном».



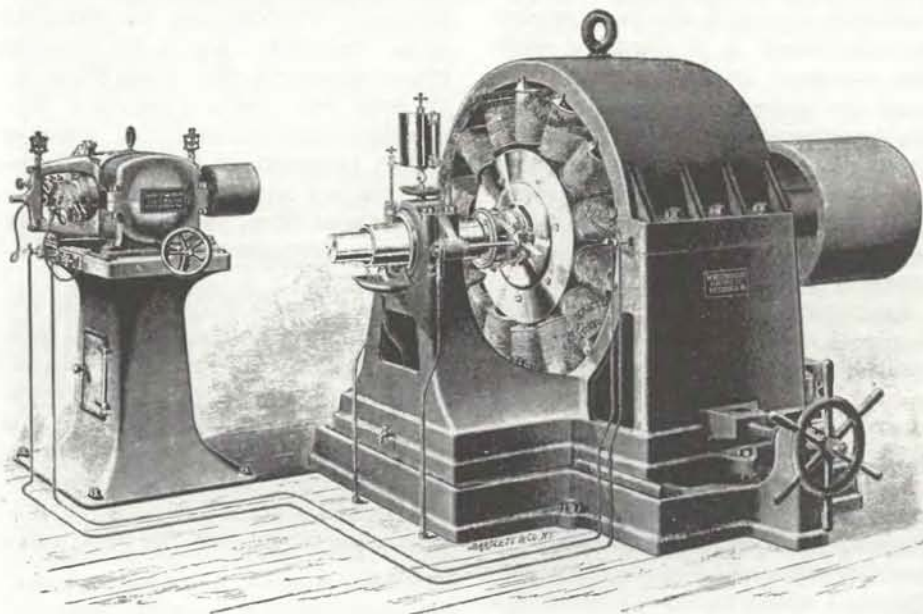
ФЕВРАЛЬ 1890 г. «Когда несколько недель назад в газетах появилось сообщение о предполагаемом строительстве молокопровода, который должен соединить один из районов шт. Нью-Йорк с городом Нью-Йорк, это было воспринято как розыгрыш. Однако создатели проекта вовсе не собирались шутить. Для его осуществления была создана компания с капиталом в 500 000 долларов. Водяной поток будет увлекать цилиндрические жестяные банки, наполненные молоком, причем путешествие длиной 100 миль займет, по утверждению разработчиков, не более часа».

«Мало кто из жителей Лондона знает, что под его улицами проходит около 65 км труб, по которым под давлением 60 кг/см² течет вода. Это магистральные каналы, принадлежащие Лондонской гидравлической компании. Для передачи энергии в Англии, особенно в Бирмингеме, на континенте и в Соединенных Штатах широко используется и сжатый воздух. В настоящее время инженеры-электротехники прилагают все усилия к тому, чтобы разработать метод передачи энергии с помощью электричества. Однако в Лондоне по-прежнему используется гидравлическая система. С ее помощью энергия подается непосредственно к лифтам, прессам и т. п., без участия каких-либо моторов или других генерирующих энергию механизмов. Эта энергия доступ-

на круглые сутки, в любой день недели, круглый год — достаточно лишь открыть кран».

«На ежемесячном традиционном обеде Лабораторного клуба, состоявшегося не так давно в ресторане «Критерий» в Лондоне, доктор Г. Х. Моррис из пивоваренной компании Messrs. Worthington & Co. сделал сообщение о недавней находке — пиве, сваренном в 1798 г. и замурованном в стену подвала в здании фирмы. После дегустации членами клуба пиво было признано пригодным к употреблению. Изумительное по вкусу, оно лишено горечи и скорее напоминает херес, чем обычное пиво».

«Проблема подачи электроэнергии с центральных станций поставила инженеров перед сложной дилеммой. По соображениям безопасности, для предотвращения несчастных случаев следовало бы использовать низкое напряжение сети. Однако соображения экономии требуют применения высокого напряжения, поскольку при этом можно использовать более тонкие провода и таким образом снизить потребление меди. Эта проблема была решена с помощью трансформаторов. Система фирмы Westinghouse включает целый набор устройств, начиная с динамо-машины на центральной станции и кончая индивидуальным трансформатором и счетчиком, устанавливаемыми у потребителя. В динамо-машине, изображенной на рисунке, имеется поле, создаваемое с помощью небольшого генератора постоянного тока (на подставке слева). Катушки ориентированы по радиусам и намотаны так, что концы представляют собой чередующиеся северный и южный магнитные полюсы».



Переменный ток: динамо-машина и генератор конструкции Westinghouse

Трагедия бессмысленной боли

Вопреки распространенному представлению автор утверждает, что если морфин принимается только для облегчения боли, пристрастия к нему как к наркотику не возникает.

А между тем из-за опасения наркомании во всем мире огромное число больных, не получая адекватной терапии, продолжают терпеть бессмысленные страдания

РОНАЛЬД МЕЛЦАК

АЛЬБЕРТ Швейцер сказал однажды, что боль приносит человечеству больше зла, чем даже сама смерть. Хроническая боль калечит жизнь человека и иногда доводит до самоубийства. Боль существенно влияет и на физиологические функции. Сильная, стойкая боль может нарушать дыхание, кровообращение и пищеварение, а значит, уменьшать поступление кислорода и питательных веществ к органам и тем самым препятствовать восстановлению организма после болезни или травмы, что для ослабленных или престарелых больных нередко решает вопрос жизни и смерти.

К сожалению, некоторые виды боли не поддаются облегчению существующими в современной медицине методами. Тот факт, что врачи в таких случаях оказываются почти беспомощными, хотя и прискорбен, вполне понятен. Гораздо менее понятна ситуация, когда человек страдает не из-за того, что его недуг неизлечим, а потому что лекарственный препарат, который мог бы принести ему облегчение, — это морфин. Морфин является самым безопасным и наиболее эффективным анальгетиком (болеутоляющим препаратом) из всех известных средств, используемых для облегчения постоянной сильной боли. Однако у некоторых людей он вызывает привыкание, а потому назначают его с осторожностью.

Опасение возможного привыкания больного к морфину привело к тому, что во многих странах использование (в том числе в медицинских целях) этого препарата и родственных ему веществ фактически поставлено вне закона. Даже в тех странах, где медицинское использование морфина официально допускается (например, в Великобритании и США), многие врачи, страшась возможного привыкания к нему своих пациентов, назначают его в таких ничтожных дозах или с такими большими промежутками време-

ни, что должный анальгезирующий эффект остается недостижимым.

А факты между тем указывают на то, что, когда человек принимает морфин для облегчения боли, привыкание к нему — т. е. развитие психической тяги к препарату и возникновение состояния, при котором внезапное прекращение приема этого препарата вызывает развитие абстинентного синдрома (лихорадки, боли, тошноты и т. д.) — происходит редко. Похоже, что привыкают к морфину только те люди, которые злоупотребляют им ради таких его психотропных свойств, как способность вызывать эйфорию и снимать нервное напряжение.

Кроме того, у пациентов, принимающих морфин для облегчения боли, не развивается та быстрая физиологическая толерантность к препарату, которая нередко является признаком привыкания организма к наркотику. Обычно при привыкании к наркотику для достижения желаемого изменения настроения человеку очень скоро начинают требоваться все большие дозы препарата. Когда же морфин принимается для облегчения боли, чаще всего нет нужды в скором и неуклонном повышении дозы. Вначале может развиваться некоторая толерантность к препарату, однако доза, снимающая боль, увеличивается, как правило, постепенно, а затем стабилизируется.

Этим я совсем не хочу сказать, что морфин следует назначать всем подряд, но я призываю законодательные, исполнительные и медицинские органы делать различия между теми, кто злоупотребляет морфином из-за его психотропного действия, и психически здоровыми пациентами, принимающими его только для облегчения боли.

МОРФИН — один из компонентов опиума, используемого в медицине по меньшей мере со времен древ-

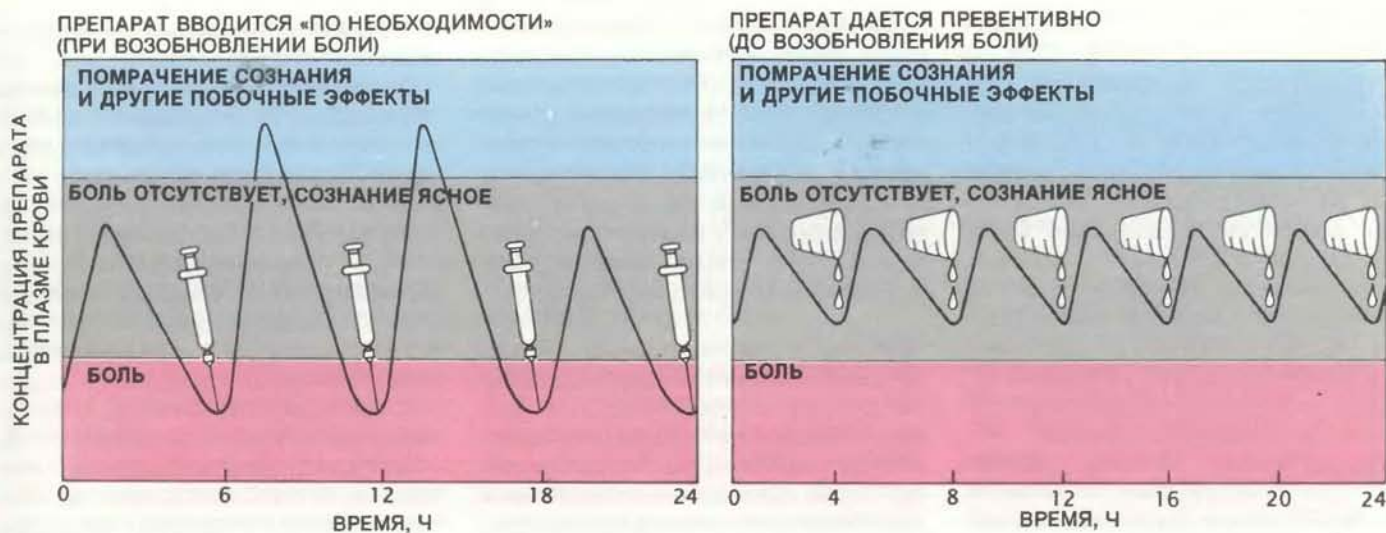
них римлян, т. е. уже более 2000 лет. Опиум представляет собой высушенный млечный сок незрелых коробочек мака *Papaver somniferum* (в изобилии произрастающего во многих странах Ближнего Востока), имеющий вид бурой массы. Эту массу можно есть или добавлять в различные напитки.

В XVI в. опиум завезли в страны Восточной Азии и Европы. Примерно в это же время в Европе большую популярность завоевала содержащая опиум микстура под названием *laudanum*, которую применяли для лечения практически всех недугов. Позднее распространился еще один способ извлекать «пользу» из препарата — его курили вместе с табаком.

В начале XIX в. молодой немецкий фармаколог Фридрих В. А. Зертюрнер выделил из опиума морфин и идентифицировал его как главный активный ингредиент препарата. А в 1832 г. был получен в чистом виде еще один опиат (т. е. производное опиума) — кодеин.

Появление в середине XIX в. иглы для подкожных инъекций сделало возможным введение различных препаратов в нужном количестве непосредственно в ткани организма, благодаря чему действие лекарственных препаратов проявляется скорее. Это привело к тому, что врачи стали часто назначать инъекции морфина для облегчения сильных болей. В то же время все больше и больше людей принимали морфин из-за его влияния на эмоции, и соответственно росло число наркоманов.

В конце концов начались поиски препаратов, которые обладали бы анальгезирующими свойствами морфина, но не вызывали бы опасного привыкания. В результате этих поисков было получено синтетическое соединение героин, по своему действию сходное с морфином; но, увы, очень скоро выяснилось, что оно тоже вызывает привыкание. Затем появились



ОБЛЕГЧЕНИЕ БОЛИ морфином принято осуществлять *pro re nata*, т. е. «по необходимости» (слева). На практике это означает, что препарат вводится путем инъекции только тогда, когда пациент испытывает боль. Кроме того, считается, что морфиновая анальгезия длится 4—6 часов, и повторная инъекция делается лишь по истечении этого срока. А тем временем боль может так усилиться, что теперь потребуется гораздо большая доза наркотика, способная вы-

звать помрачение сознания, тошноту и другие побочные эффекты. Более гуманный подход состоит в предупреждении развития болевых ощущений (справа), так что пациент не мучается страхом перед возобновлением боли. При этом морфин принимается через рот в индивидуально подобранной дозе каждые 4 часа, а если нужно, еще чаще. Как правило, оказывается достаточно сравнительно невысоких доз, что снижает вероятность побочных эффектов.

разные другие опиоиды (вещества, химически родственные опию и его производным), в том числе метадон и меперидин (демерол). Подобно опиатам, все опиоиды облегчают боль, влияют на настроение и, к сожалению, в той или иной степени вызывают привыкание.

Рост злоупотребления наркотиками (под которыми я разумею опиаты и опиоиды) и другими психотропными препаратами побудил многие страны принять законы по борьбе с наркоманией. Одновременно повсеместно были введены и особо строгие правила назначения наркотических веществ по поводу болей.

СЕГОДНЯ использование морфина для облегчения боли ограничивается главным образом двумя группами пациентов. Он назначается на сравнительно короткое время госпитализированным пациентам после хирургической операции или ожогов и на более длительные сроки неизлечимым больным раком.

Во многих больницах морфин обычно назначается по принципу *pro re nata* (что значит «по необходимости»). Это подразумевает, что препарат дается больному только при возобновлении боли и вводится в организм путем внутримышечной или подкожной инъекции.

Назначение морфина *pro re nata* нередко приводит к конфликту между больным и врачом, которого учили, что морфиновая анальгезия продолжается 4—6 часов. Больной, к которому боль вернулась раньше окончания этого интервала, мучительно страда-

ет и умоляет сделать ему еще одну инъекцию, но получает отказ на том основании, что еще не прошло положенного срока. А тем временем боль может усилиться настолько, что для ее облегчения потребуется очень большая доза препарата, повышающая вероятность развития таких побочных эффектов, как помрачение сознания и тошнота. Но ведь если пациент уже фактически умирает, вопрос о его привыкании к наркотику теряет всякий смысл, а отсрочка облегчения боли просто жестока.

К счастью, все более широкое применение получает, хотя и медленно, другой, более гуманный подход к облегчению боли. При этом больному вводят определенные дозы морфина регулярно, в режиме, специально подобранном для него так, чтобы предупредить рецидивы боли. Таким образом, боль снимается постоянно; чтобы получить в очередной раз обезболивающее, пациенту не приходится испытывать возвращения мучительных ощущений.

Впервые этот превентивный подход к облегчению боли был предложен и применен на практике около 20 лет назад английским врачом С. Сондерз, основавшей первую больницу для умирающих от рака и других неизлечимых болезней — Приют св. Христофора в Лондоне. Сондерз призывала врачей, наблюдавших неизлечимых пациентов, подходить к делу реалистически и вместо того, чтобы тщетно пытаться вылечить больного, действительно помочь ему — избавить от боли, тошноты и других неприятных ощущений. Она была убеж-

дена, что свои последние дни человек должен проводить в мире и покое, в как можно более приятной обстановке, в общении с родственниками и друзьями.

С этой целью Сондерз воскресила преданное почти полному забвению анальгезирующее средство — так называемую бромптоновскую микстуру, составленную еще в XIX в. в Бромптоновской больнице в Лондоне. Эту жидкость (в состав которой входят морфин, кокаин, водный раствор хлороформа, этиловый спирт и ароматизирующие добавки) вполне заменяют инъекции морфина. Но Сондерз понимала, что если лекарственный препарат можно принимать через рот, это позволит многим из ее пациентов находиться дома. В таких случаях наблюдение за состоянием больного и контроль за эффективностью обезболивания могла бы вести просто периодически посещающая его медицинская сестра.

Позднее было установлено, что единственным действующим ингредиентом бромптоновской микстуры является морфин; поэтому в настоящее время превентивное облегчение боли проводится только морфином, который дают больным либо в таблетках, либо растворенным в каком-нибудь напитке. Как правило, морфин назначается первоначально в дозе 10 мг каждые 4 часа. В течение нескольких дней или недель для данного пациента подбирается такой режим приема препарата (т. е. дозы и интервалы между их приемом), который обеспечивает непрерывное предупреждение боли круглые сутки без по-

мрачения сознания или каких-либо других побочных эффектов.

Превентивное обезболивание особенно целесообразно для онкологических больных. Боль и страх перед нею — главный источник их страданий. На ранних стадиях рака около 50% пациентов испытывают боль, обусловленную или самим раком, или процедурами, назначенными с целью остановить его развитие. На последних стадиях заболевания примерно 70% пациентов жалуются на боль, которая в этот период, как правило, становится интенсивной и стойкой.

Превентивный подход приносит удовлетворительное облегчение 80—90% больным раком; они отмечают, что боль делается терпимой, а чаще исчезает совсем. Примерно у половины остальных пациентов боль удается облегчить дополнительными терапевтическими процедурами. Если учесть разрушительность рака и интенсивность связанных с ним болей, столь высокий процент успешного предупреждения боли можно считать замечательным результатом.

Методы борьбы с болью продолжают совершенствоваться. Недавно появились капсулы, обеспечивающие медленное высвобождение морфина внутри организма, которые нужно принимать всего несколько раз в сутки. Созданы также портативные электронные насосы, с помощью которых производится непрерывная инфузия лекарственного препарата под кожу.

К НАСТОЯЩЕМУ времени накопилось достаточно данных, показывающих, что традиционный подход к облегчению боли («по необходимости», обусловленный страхом врачей перед привыканием пациентов к наркотикам, не имеет большого практического смысла. Многочисленные обследования пациентов, болевые симптомы у которых облегчались наркотиками (при раке, ожогах, после хирургической операции), свидетельствуют, что те из них, у кого возникла быстрая и сильная толерантность к наркотикам и зависимость от них, ранее, как правило, уже страдали психическими нарушениями или зло-

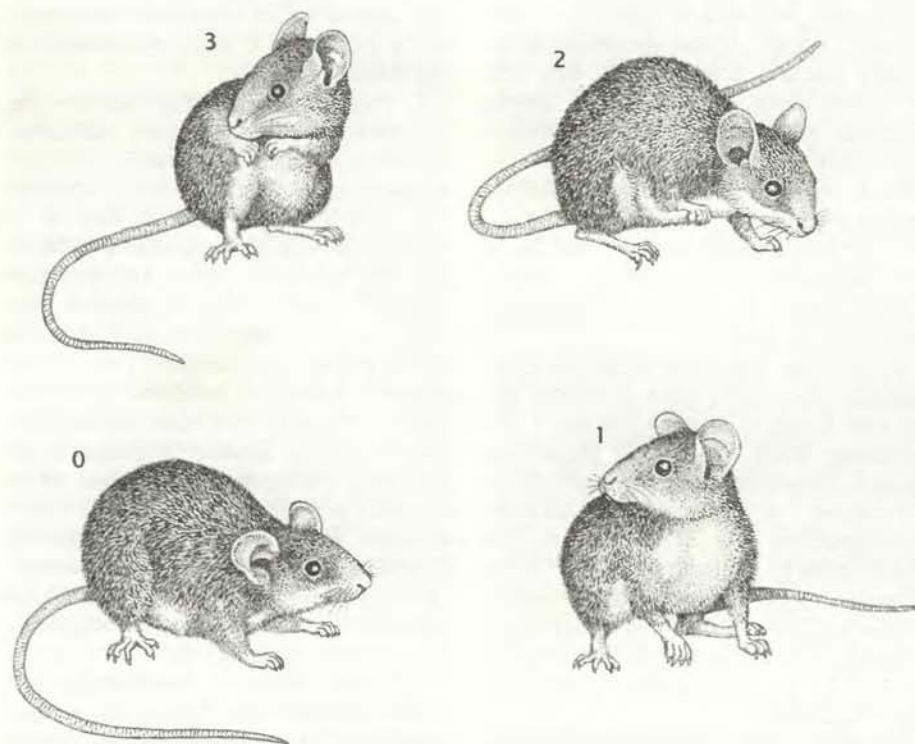
употребляли наркотическими веществами.

Рассмотрим вначале проблему выраженной толерантности к наркотикам, которая не только является признаком привыкания к ним, но потенциально опасна и сама по себе, так как с повышением дозы наркотического вещества увеличивается риск побочных эффектов. Например, очень большая доза морфина может вызвать помрачение сознания и серьезное нарушение дыхания.

Р. Туайкросс, работающий в настоящее время в Черчиллевской больнице в Оксфорде (Великобритания), наблюдал, что у больных раком, длительное время по нескольку раз в день принимавших героин, толерантность к наркотику развивалась сравнительно слабо. Некоторая толерантность к препарату возникала в самом начале его приема, так что на протяжении первых 12 недель дозы приходилось постепенно увеличивать; однако они никогда не достигали величины, достаточной для возникновения каких-либо серьезных побочных эффектов. Но затем дозы можно было не изменять месяцами.

Такие же результаты недавно получили Б. Маунт из Университета Макгилла и я при изучении толерантности к морфину в отделении паллиативного лечения Больницы королевы Виктории в Монреале. В нашем исследовании пациенты, которые провели в стационаре больше месяца и принимали морфин через рот, отвечали на пункты опросника, разработанного мною совместно с У. Торгерсоном из Университета Джонса Гопкинса для оценки болевых ощущений. Общая интенсивность боли измерялась в условных единицах по шкале, на которой 0 соответствовал отсутствию боли, 1 — легкой боли, 2 — беспокоящей боли, 3 — сильной боли, 4 — «ужасной» боли и 5 — «невыносимой» боли. Около 5% пациентов страдали постоянными интенсивными болями (уровень 3 и выше). Остальным 95% пациентов хорошо помогал морфин, причем быстро увеличивать его дозу не требовалось. Если все же приходилось повышать дозу после того, как в течение какого-то времени морфин принимался в определенном режиме, то причиной чаще всего было усиление болей, обычно связанное с прогрессированием болезни. Пациенты, у которых боли слабели (спонтанно или в результате успешного терапевтического вмешательства, например удаления метастазировавшей опухоли), как правило, просили уменьшить дозу морфина.

Дж. Скотт из Центра здоровья им. Элизабет Брюер, проанализирова-



ФОРМАЛИНОВЫЙ ТЕСТ позволяет количественно оценивать анальгезирующее (болеутоляющее) действие различных препаратов при так называемой тонической (стойкой) боли. Крыса под кожу лапы вводится физиологический раствор с формальдегидом, который примерно на 90 минут вызывает у животного болевые ощущения. Крыса то и дело лижет лапу, что является признаком довольно сильной боли (уровень «3» по шкале интенсивности боли). Спустя некоторое время крыса перестает облизывать лапу, но держит ее на весу (уровень «2»), затем начинает осторожно ступать на эту лапу (уровень «1») и в конце концов восстанавливается нормальное передвижение (уровень «0»). В таких опытах толерантность к анальгезирующему действию морфина развивается слабо: для достижения обезболивания не требуется раз за разом повышать дозу наркотика. Это согласуется с результатами клинических исследований, показывающими, что у пациентов, принимающих морфин для облегчения хронической боли, ни толерантность к наркотику, ни привыкание к нему не развиваются.

вав результаты ряда исследований, в которых изучалось развитие симптомов абстиненции у пациентов онкологических клиник, не обнаружил существенного привыкания к наркотикам. Он утверждает, что если больному раком для облегчения боли наркотик больше не требуется, постепенное уменьшение его дозы может полностью предотвратить развитие симптомов абстиненции, которые, как правило, выражены слабо или вообще отсутствуют даже в тех случаях, когда наркотик отменяют резко. Обычно физиологическую зависимость организма от наркотика удается преодолеть без труда, если дозу наркотика уменьшать постепенно, на протяжении нескольких дней.

Результаты обследований госпитализированных больных, получавших наркотики, также не указывают на сколь-либо заметное привыкание. Дж. Портер и Х. Джек из Медицинского центра Бостонского университета провели долгосрочное обследование 11 882 пациентов, получавших наркотические препараты для облегчения боли различной этиологии; никто из больных ранее не злоупотреблял наркотиками. Было установлено, что лишь четверо из них, выписавшись из клиники, продолжали принимать наркотики, причем только в одном случае это квалифицировано как серьезное злоупотребление.

Не менее убедительны результаты изучения более 10 тыс. случаев ожогов, проведенного С. Перри из Нью-Йоркской больницы и Дж. Хейдриком из Висконсинского университета в Мадисоне. Обследованные ими пациенты подвергались хирургической обработке раны — чрезвычайно болезненной процедуре, при которой с обожженных участков тела удаляются омертвевшие ткани. Большинству пациентов в течение нескольких недель или даже месяцев делали инъекции наркотиков. Тем не менее впоследствии не было отмечено ни одного случая привыкания к наркотикам, который можно было отнести на счет получения наркотиков для облегчения боли во время пребывания в клинике. Хотя 22 пациента злоупотребляли наркотиками после выписки из больницы, все они пользовались ими и ранее, до лечения.

Еще одно свидетельство того, что наркотические препараты можно назначать для снятия боли, не опасаясь возможного привыкания, получено при изучении анальгезии, контролируемой самим больным, у хирургических больных и лиц, госпитализированных по поводу ожогов. В исследованиях такого рода пациент для введения себе (через внутривенную каню-

лю) небольшой дозы морфина нажимает на расположенную рядом с постелью кнопку электронного микронасоса. Когда это устройство внедрялось в клиническую практику, многие опасались, что больные будут злоупотреблять наркотическими препаратами. Но вскоре стало ясно, что пациенты сами принимают наркотики в разумных дозах, которые уменьшают по мере ослабления боли.

ПОЧЕМУ у людей, принимающих морфин исключительно для облегчения боли, быстрое развитие толерантности и привыкание к морфину маловероятно? Объяснить это помогают исследования механизма анальгезии под действием морфина. На основании результатов таких исследований я и мой бывший ученик Ф. Абботт в 1981 г. выдвинули предположение, что в центральной нервной системе морфин влияет на две самостоятельные системы болевой чувствительности и что одной из них — той, которая отвечает за восприятие боли, обычно снимаемых морфином, — не свойственно развитие толерантности к этому препарату.

Это наше предположение явилось результатом моих попыток разработать метод, с помощью которого можно было бы на животных точно определять эффективность анальгезирующих препаратов в отношении той формы боли, которая у людей чаще всего требует наркотиков, а именно стойкой, или тонической, боли, продолжающей беспокоить человека еще долго после того, как само вызвавшее ее нарушение исчезло. Именно эта форма боли причиняет хронические страдания больным раком. Когда в организме возникает какое-либо повреждение, развивается так называемая фазическая боль, которая длится недолго, быстро нарастая и так же быстро ослабевая. (Так, боль, которая ощущается в момент пореза пальца, является фазической). Обычно фазическая боль сменяется тонической.

Долгие годы для оценки анальгезирующего действия различных препаратов использовался так называемый тест отдергивания хвоста. Он состоит в том, что крысе вводят испытываемое вещество, а затем погружают ее хвост в горячую воду и измеряют промежуток времени между погружением и тем моментом, когда животное отдергивает хвост; это время считается показателем интенсивности боли. В исследованиях, в которых таким способом изучалась болеутоляющая эффективность морфина, неизменно наблюдалось развитие к нему выраженной толерантности: для того чтобы крысы в течение определенного

времени не выдергивали хвост из воды, им требовались все более высокие дозы морфина. Подобные результаты рассматривались как указание на то, что и у людей должна быстро развиваться толерантность к морфиновой анальгезии, а следовательно, и привыкание к этому препарату.

Однако тест отдергивания хвоста имеет существенный недостаток. При погружении хвоста в горячую воду возникает резкая фазическая боль, а это не та форма боли, для облегчения которой обычно назначают морфин. Для более обстоятельного изучения действия анальгетиков на стойкую, тоническую боль у людей Дж. О'Киф, Д. Дьюбюиссон и С. Деннис (в то время мои ученики) разработали «формалиновый» тест. Небольшое количество формалина (раствор формальдегида в физиологическом растворе) инъецируется крысе под кожу передней лапы. Если анальгетик не вводит, формалин вызывает довольно сильную боль, которая длится обычно около 90 мин и о которой свидетельствует то, что животное все время облизывает лапу и старается не наступать на нее. Если препарат ослабляет боль, крыса ступает на эту лапу чаще.

Применяя формалиновый тест, позволяющий оценить тоническую боль, я и Абботт (позже к этой работе присоединился К. Франклин) обнаружили, что толерантность к анальгезии, вызываемой повторными инъекциями морфина, развивается у крыс относительно слабо. Различия в толерантности к морфину, проявляющейся у крыс в тесте отдергивания хвоста и в формалиновом тесте, логичнее всего было объяснить тем, что в фазической и тонической боли участвуют две разные системы нервных элементов с различной толерантностью к морфину.

Это предположение подкрепил также ряд других данных. В частности, Деннис и я, изучая влияние на боль нескольких агонистов и антагонистов морфина (первые имитируют или усиливают, а вторые блокируют его действие) при помощи теста отдергивания хвоста и формалинового теста, обнаружили, что эффекты того или иного препарата, наблюдавшиеся при оценке боли одним методом, отсутствовали или были прямо противоположными при анализе другим методом. Например, препараты, ослаблявшие морфиновую анальгезию в опытах с отдергиванием хвоста, в опытах с введением формалина либо вообще не оказывали никакого действия, либо усиливали анальгезию. Если бы в фазической и тонической формах боли участвовала одна и та же систе-

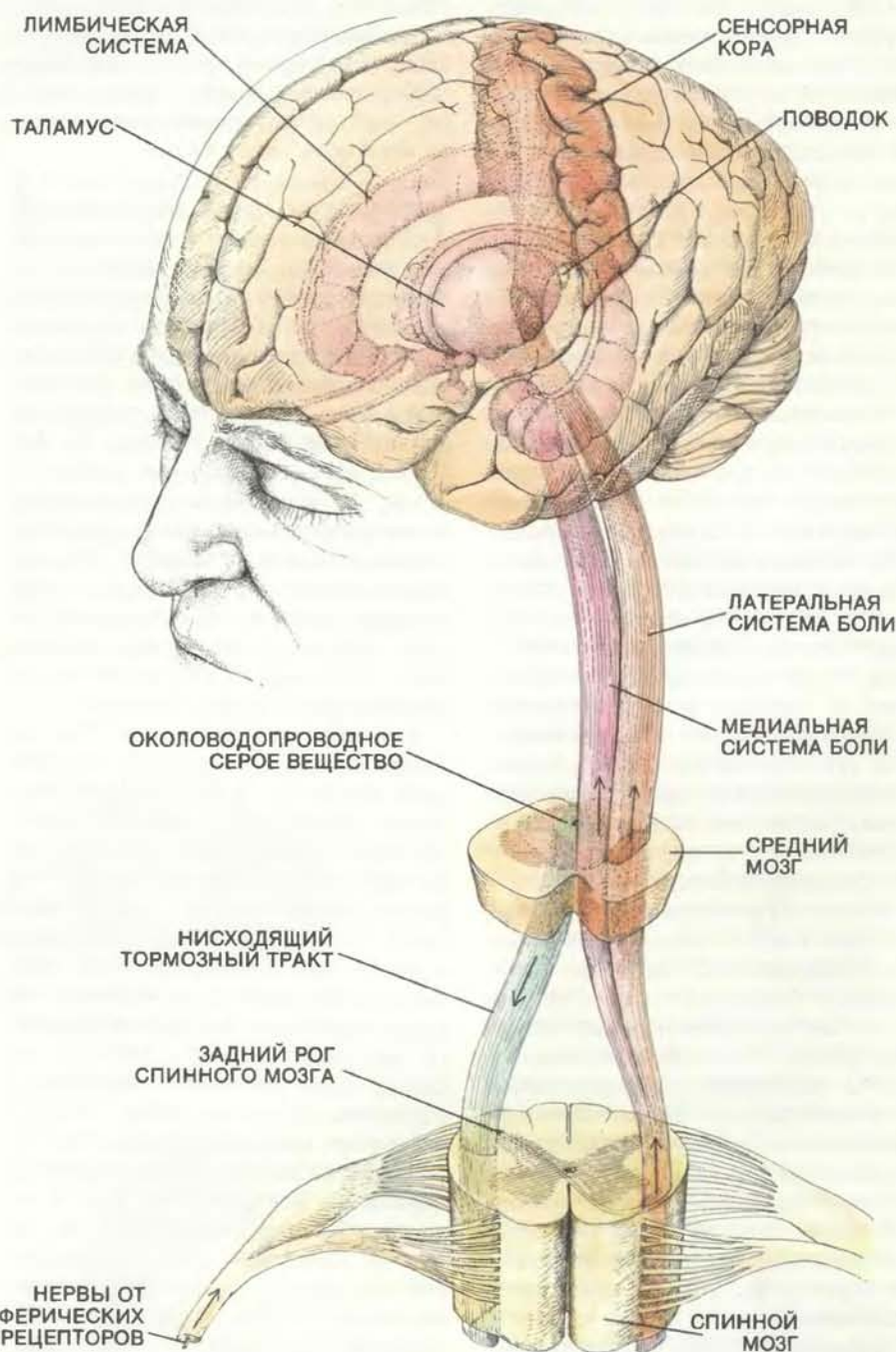
ма нервных элементов, влияние каждого препарата на активность морфина должно было бы быть одинаковым при оценке обоими методами.

Я И МОИ сотрудники полагаем, что на сегодняшний день уже ясно, какие из многочисленных нервных путей спинного и головного мозга составляют две системы восприятия боли, чувствительные к морфину. Кое-что известно и о том, как они функционируют и каким образом на них действует морфин. В обеих системах информация о боли поступает в дорсальные (задние) рога спинного мозга от периферических нейронов, нервные окончания которых расположены в коже и других тканях организма (см. рисунок на этой странице). Затем болевые сигналы переключаются в нейронах задних рогов спинного мозга и по его восходящим путям передаются «вверх», в различные области головного мозга.

По нашему мнению, с внезапной, фазической болью наиболее тесно связана так называемая латеральная система. Это название она получила просто потому, что ее нервные тракты, проецирующиеся в сенсорную кору головного мозга, проходят через

мозговой ствол несколько в стороне от его центральных участков. За стойкую, тоническую боль, по-видимому,

отвечает медиальная система, тракты которой пронизывают центральные отделы ствола головного мозга.



ДВЕ СИСТЕМЫ НЕЙРОНОВ опосредуют болевые ощущения: медиальная система (розовая), проходящая через центральные участки ствола мозга, и латеральная система (оранжевая). И та, и другая представлены в обоих полушариях мозга и включают несколько трактов, по которым болевые сигналы, поступающие в задние рога спинного мозга, передаются в высшие центры головного мозга. Предполагается, что за тоническую (стойкую) боль ответственна главным образом медиальная система. Поскольку медиальная система передает болевые сигналы лимбической системе головного мозга, участвующей в эмоциональном поведении, ей приписывается эмоциональный компонент боли (который отражается в таких ее характеристиках, как «ужасная», «жестокая» и т. п.). Латеральная система, судя по всему, наиболее активна при фазической (внезапной и резкой) боли. Так как латеральная система посылает болевые сигналы в сенсорную кору, с ней связывают качество болевых ощущений (т. е. их характер: пульсирующая боль, «жжение» и т. п.). Морфин способен подавлять обе эти си-

стемы боли. Но толерантность к его анальгезирующему действию гораздо более присуща латеральной (фазической), нежели медиальной (тонической), системе; этим, по-видимому, объясняется, почему у пациентов, принимающих морфин для снятия стойкой, тонической боли, толерантности к нему практически не проявляется. Морфин вызывает анальгезию отчасти в результате угнетения потока болевых сигналов от периферических нервов к восходящим путям; он непосредственно действует на нейроны задних рогов спинного мозга и, кроме того, активизирует начинающуюся в среднем мозге нисходящую тормозную систему (голубая). Морфин также действует на структуры головного мозга, расположенные «выше» околоводопроводного серого вещества среднего мозга, в том числе на лимбическую систему и поводок, имеющий связи как с медиальной системой боли, так и с лимбической системой. Этой активностью морфина, очевидно, и обусловлено его анальгезирующее действие при стойкой боли.

Для латеральной системы боли характерны быстрое проведение нервных импульсов и организация наполочной карты относительного расположения различных участков тела. Благодаря этим свойствам латеральной системы развиваются внезапные, острые болевые ощущения с четко выраженной локализацией. К. Кейзи из Мичиганского университета в Анн-Арборе и я выдвинули предположение, что латеральные нервные пути в значительной мере отвечают и за сенсорное качество боли (т. е. за характер ощущения: пульсирующая боль, жжение и т. д.).

По-видимому, активность латеральной системы боли довольно быстро затухает, чем и объясняется кратковременность фазической боли. Торможение активности латеральной системы боли осуществляется системой нейронов, начинающейся в околоспроводном сером веществе, расположенном в отделе мозгового ствола, называемом средним мозгом. Эта система нейронов посылает нервные сигналы «вниз» в задние рога спинного мозга, где они подавляют передачу информации о боли от периферических нер-

вов восходящим трактам. По всей вероятности, после травмы эта нисходящая тормозная система активизируется эндогенными (т. е. образующимися в самом организме) опиоидами — эндорфинами и энкефалинами.

Если, согласно нашему предположению, латеральная система действительно обеспечивает передачу сигналов, вызывающих внезапную, фазическую боль, то неудивительно, что ее активность подвергается мощному торможению со стороны других нервных структур. Внезапная боль от только что полученной травмы вполне может настолько, так сказать, ошеломить животное, что в опасной ситуации оно окажется не способно драться, спасаться бегством или прятаться в укрытие.

Вторая — медиальная — система боли во многом существенно отличается от латеральной. Так, по ряду ее трактов импульсы поступают в лимбическую систему — подкорковые области мозга, ответственные за мотивационное и эмоциональное поведение. В этой связи мы предполагаем, что именно медиальная система определяет эмоциональный компонент

боли, обуславливающий такие ее характеристики, как «отчаянная», «ужасная», «страшная» и т. п. Эта система, кроме того, влияет на действия индивида, предпринимаемые им в ответ на болевые ощущения.

Поскольку медиальная система боли, состоящая из многочисленных мелких нейронов, проводит нервные сигналы сравнительно медленно, она плохо приспособлена для передачи точной информации в критических ситуациях. Гораздо лучше она подходит для диффузных неприятных ощущений спустя некоторое время после травмы. Подобные ощущения уведомляют раненый организм, что, хотя он и пережил непосредственную опасность, еще довольно долго ему будет «не по себе»; благодаря этому индивид стремится вести малоактивный образ жизни, способствующий заживанию раны.

На что именно влияет морфин? Морфин явно оказывает прямое действие на уровне задних рогов спинного мозга как в латеральной (фазической), так и в медиальной (тонической) системах боли. Кроме того, хорошо



БОЛЬНАЯ РАКОМ (в середине) — с медицинской сестрой (слева) и сиделкой (справа) — находится на попечении благотворительной клиники. Такое попечение имеет целью облегчить состояние неизлечимых больных, избавить их от

болеи и других неприятных ощущений. В большинстве благотворительных лечебных учреждений практикуется превентивное обезболивание, что позволяет многим больным провести свои последние дни дома, среди близких.

известно, что морфин способен активизировать нисходящую тормозную систему, начинающуюся в околоводо-проводном сером веществе. Абботт и другие сотрудники моей лаборатории показали, что эта нисходящая система влияет на латеральную систему боли сильнее, чем на медиальную, а следовательно, анальгетирующее действие морфина на внезапную, физическую боль во многом опосредуется нисходящими нервными трактами.

Конечно, анальгетирующее действие морфина не ограничивается задними рогами спинного мозга и средним мозгом. Имеются убедительные данные, что морфин действует и на лимбическую систему, которая участвует в развитии как боли, так и чувства удовольствия. Эта активность морфина вполне может ослаблять болевые ощущения, опосредуемые медиальной (тонической) системой боли, посылающей множество импульсов в лимбические структуры.

Недавно мой ученик С. Козн и я получили еще одно свидетельство в пользу предположения, что действие морфина на медиальную систему боли отчасти обусловлено его активностью в структурах, расположенных «выше» среднего мозга. Мы инъецировали морфин в поводок (небольшой участок мозга непосредственно позади таламуса), имеющий связи с лимбической системой и среднемозговой частью медиальной системы боли. Инъекции морфина вызывали анальгезию при оценке боли с помощью формалинового теста, но не имели такого эффекта в опытах с отдергиванием лапы (аналогичным отдергиванию хвоста). Значит, морфин действует на поводок и при этом тормозит медиальную систему боли, а не латеральную. Такие факты говорят о том, что для понимания механизмов облегчения стойкой, тонической боли морфином без развития толерантности следует уделять больше внимания структурам, расположенным «выше» среднего мозга.

ЕСЛИ учесть сложность нервных механизмов боли, не приходится удивляться тому обстоятельству, что выраженность анальгетирующего действия морфина у разных людей сильно различается. Изучение этих различий позволяет сделать важный вывод: потребность в высоких дозах морфина необязательно является признаком привыкания к наркотику.

Так, Р. Каико (в настоящее время работает в фирме Purdue Frederick Company в Норуолке, шт. Коннектикут) и его коллеги из Онкологического центра им. Слоана и Кеттеринга,

наблюдая больных раком, обнаружили, что для достижения данной степени анальгезии пациентам старшего возраста требовалось меньше морфина, чем более молодым, а неграм — меньше, чем белым. Кроме того, оказалось, что при тупых болях нужны меньшие дозы, чем при острой боли. Имеет значение и локализация болевых ощущений: те, кто страдал от боли в животе, нуждались в меньшем количестве наркотика, нежели пациенты с болью в груди или руке.

Недавно я и мой ученик Э. Ваккарино вместе с Р. Таскером (ныне сотрудник Университета Принс-Эдуард-Айленд в Шарлоттауне, Канада), изучая эффекты морфина и его антагониста налоксона на мышцах определенной линии, специально выведенной для иммунологических исследований, показали, что индивидуальные особенности ответа организма на анальгетирующее действие наркотиков зависят от генетических факторов. Мы обнаружили, что налоксон, будучи антагонистом морфина, как ни странно, усиливал морфинную анальгезию и, более того, сам по себе вызывал анальгезию, проявляющуюся при проверке с помощью формалинового теста. Такие удивительные результаты, которые удалось получить до сих пор только на одной этой линии мышей, обусловлены, скорее всего, какой-то генетической аномалией.

Открытие влияния генетических факторов на анальгетирующий эффект морфина заставляет предполагать, что у некоторых людей склонность к привыканию к наркотику тоже может определяться генетически. В пользу такого предположения свидетельствует ряд данных, полученных другими авторами, хотя непосредственно этот вопрос изучался лишь в немногих работах.

Распознать людей с генетической предрасположенностью к привыканию к морфину пока практически невозможно. Следует, однако, еще раз подчеркнуть, что в известной мере на такой риск могут указывать психические особенности человека. Среди тех, кто стал наркоманом, более 50% ранее испытывали приступы эндогенной депрессии, а 87% страдали другими психическими расстройствами.

То, что в обществе не делается различия между наркоманами с нарушенной психикой и психически здоровыми людьми, страдающими от боли, так или иначе касается всех групп населения. Пожалуй, самым печальным примером здесь являются бессмысленно страдающие от боли дети.

Дети получают недостаточное обезболивание не только потому, что

многие медики боятся, как бы у них не развилось привыкание к наркотикам, но и из-за ложного предубеждения, что у детей младшего возраста интенсивность болевых ощущений не такая высокая, как у взрослых. В 1977 г. в своей ставшей классической работе Дж. Иленд и Дж. Андерсон из Университета шт. Айова установили, что более половины детей в возрасте от 4 до 8 лет, подвергшихся серьезным хирургическим операциям (в том числе ампутации конечности, иссечению злокачественной опухоли на шее, операции на сердце), вообще не получали никаких лекарственных препаратов для облегчения послеоперационных болей; остальным давали неадекватно низкие дозы таких препаратов. Исследователи провели сравнение со взрослыми пациентами, подвергшимися аналогичным хирургическим операциям; оказалось, что 18 детей получили в общей сложности 24 дозы анальгетирующего вещества, а такое же число взрослых — 671 дозу.

За невежество врачей расплачиваются и взрослые. Обследуя пациентов с послеоперационными болями, я и мои сотрудники обнаружили, что контингент хирургических палат можно разделить на две категории: одну составляют молодые пациенты и люди среднего возраста, которые быстро восстанавливаются после операции, а другую — относительно пожилые, у которых послеоперационные боли не утихают еще много дней по истечении нормального восстановительного периода продолжительностью 3—4 суток. Несмотря на стойкие сильные боли (возможно, связанные с послеоперационными осложнениями) и более длительный восстановительный период, пациенты второй группы не получают более высоких доз или большего общего суточного количества анальгетиков. На долю этой возрастной категории в хирургических палатах приходится около 30% всех пациентов, т. е. значительная часть лежащих в больницах людей бессмысленно страдает от боли.

Известно, что после ожогов человек испытывает мучительную боль, тем не менее и в этих случаях обезболивание, как правило, проводится в недостаточной мере. М. Шуаньер из Ожогового центра больницы Отель Дье в Монреале и я обнаружили, что даже в лучших стационарах для лечения больных с ожогами, где высококвалифицированный, умеющий страдать медицинский персонал, пациенты сильно мучаются от боли. Мы обследовали 30 обожженных, подвергшихся хирургической обработке ран и физиотерапии (физическим упражнениям с целью преду-

предить потерю гибкости суставов), оценивая интенсивность боли по опроснику, ранее разработанному мною и Торгерсоном. Как выяснилось, в первые две недели лечения 23% пациентов испытывали очень сильные («ужасные») и 30% — чрезвычайно сильные («невыносимые») боли. Даже когда больные находились в состоянии покоя, 13% из них отмечали очень сильные боли, и еще 20% чрезвычайно сильные — и это при том, что они уже получили медикаментозную терапию в соответствии с рекомендациями стандартных руководств (т. е. лекарства назначались «по необходимости»).

ЕСЛИ больной госпитализирован для хирургического вмешательства по поводу ожогов или страдает раком на поздних стадиях, принцип назначения наркотических анальгезирующих препаратов чаще всего может быть только один: превентивный подход, позволяющий достичь максимально эффективного обезболивания. А как быть в тех случаях, когда человек страдает от изнурительных хронических болей, но его состояние не является смертельно опасным? Таким больным не принято назначать на долгий срок наркотики — опять же из-за опасения наркомании. Результаты этой стратегии могут быть весьма печальными.

Вот, например, что произошло с 26-летним спортсменом, который перенес спинномозговую травму, повлекшую за собой нестерпимые боли в спине и ногах. Из-за болей он не мог работать и превратился в обузу для самого себя, своей семьи и общества, выплачивавшего ему медицинскую страховку. Лечащий врач обнаружил, что этому больному помогают небольшие дозы морфина, принимаемые ежедневно через рот. Благодаря такой медикаментозной терапии молодой человек вновь начал работать и готовился жениться на девушке, которую любил с детства и которая знала о полученной им травме.

Однако в один «прекрасный» день местная медицинская ассоциация обвинила его лечащего врача в том, что тот назначает наркотики, не следуя рекомендациям этой ассоциации, и превращает своего пациента в наркомана. Из страха лишиться патента на медицинскую практику врач прекратил выписывать морфин. (Там, где назначение морфина законом разрешено, врачи в принципе могут выписывать его по собственному усмотрению; фактически, однако, в этом их ограничивают инструкции медицинских обществ, контролирующих патенты на врачебную практику.)

Само собой разумеется, боли к молодому человеку вернулись. В отчаянии он обратился к другим врачам, но тоже получил отказ. Вскоре, вновь охваченный беспомощностью и безнадежностью, несчастный впал в депрессию.

Давать наркотики несмертельно больным без ограничения прежде считалось делом немыслимым. Но исследования, в которых изучается привыкание к наркотикам именно у таких людей, все более убедительно показывают, что наркотические препараты могут принести им облегчение, не вызывая привыкания.

В одном из недавно проведенных исследований Р. Портной и К. Фоули из Онкологического центра им. Слоана и Кеттеринга давали наркотики 38 пациентам, страдавшим сильными хроническими болями нераковой этиологии; половина из них принимала опиониды 4 года или несколько дольше, а шестеро — более 7 лет. Примерно у 60% испытуемых боли исчезли или по крайней мере ослабели до терпимого уровня. Привыкание к наркотикам наблюдалось лишь у двух пациентов, которые ранее злоупотребляли такими препаратами.

По мнению Портной и Фоули хронические боли у несмертельно больных пациентов во многих случаях целесообразно снимать морфином. Они обсуждают проблемы, которые могут сопутствовать этой терапии, и формулируют правила наблюдения за пациентами. Такие исследования в медицине можно уподобить преодолению звукового барьера в авиации. Они знаменуют собой шаг вперед в направлении разумного и беспристрастного изучения эффективности наркотических препаратов для тех больных, которым до сих пор подобное лечение назначалось крайне редко.

Против долгосрочного применения наркотиков для обезболивания в случаях несмертельных заболеваний высказывается опасение, что больным будут просто назначаться наркотические препараты и они не воспользуются преимуществами многостороннего подхода к облегчению боли. Однако оба эти подхода вполне совместимы; по сути дела, они дополняют друг друга.

Чтобы получить надежные данные о долгосрочных эффектах наркотиков при хронических болях нераковой этиологии, требуются многочисленные исследования с должным контролем. В то же время медицинским и правительственным организациям следует санкционировать и субсидировать проведение подобных работ. Ведь речь идет как-никак о спасении людей, чья жизнь искалечена болью.

Вниманию читателей!

ГОТОВИТСЯ К ПЕЧАТИ

переводной журнал
ТТИЭР, т. 78, № 1
(январь 1990)

Малый тематический выпуск

СКОРОСТНЫЕ СЕТИ СВЯЗИ

В выпуск включены четыре обзорные статьи, в которых анализируются архитектурные и программные вопросы создания и управления скоростными сетями ЭВМ, в том числе с применением волоконно-оптических кабелей. Объем выпуска 12 авт. л.

Кроме того, в номере публикуются обзорные статьи:

ЭВОЛЮЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ И ЖУРНАЛ PROCEEDINGS OF THE IRE (1938-1962). Бриттен

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДВУМЕРНЫХ СИГНАЛОВ ПО ПЕРЕСЕЧЕНИИ ЗАДАННЫХ УРОВНЕЙ. Захор, Оппенгейм

МНОГОСКОРОСТНЫЕ ЦИФРОВЫЕ ФИЛЬТРЫ, БАТАРЕИ ФИЛЬТРОВ, ПОЛИФАЗНЫЕ СЕТИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЯ: МЕТОДИЧЕСКИЙ ОБЗОР.

Вайдыанатхан

Цена номера 3 р. 30 к.

Читатели Москвы и Подмосковья могут оформить предварительный заказ в Московском Доме книги (пр. Калинина, 26, секция «Мир») и магазине № 19 «Мир» (Ленинградский пр., 78, близ станции метро «Сокол»). Иногородним читателям заказы следует направлять на открытках по адресу: 129820, ГСП, Москва, И-110, 1-й Рижский пер., 2, издательство «Мир», редакция ТТИЭР Заказы принимаются до 1 июля 1990 г.



Переменное Солнце

Постоянство тепла и яркости Солнца иллюзорно; потоки солнечного излучения и частиц меняются во времени.

Систематические наблюдения начинают приоткрывать причины этих изменений и их влияния на Землю

ПИТЕР В. ФОУКАЛ

ЛЮБОМУ ЧЕЛОВЕКУ, отдыхающему на берегу или гуляющему днем, ярко сияющее Солнце представляется постоянным и неизменным. На самом деле Солнце — это переменная звезда. Хорошо известен 11-летний цикл «солнечных пятен» (солнечной активности), приближающийся в этом году, как представляется, к своему максимуму. Этот цикл является частью сложного комплекса 22-летних магнитных флуктуаций, в течение которого изменяются потоки видимого, ультрафиолетового и рентгеновского излучений, а также потоки заряженных частиц, испускаемых Солнцем. При этом верхние слои атмосферы Земли нагреваются и расширяются; появляются полярные сияния, изменяется конфигурация магнитного поля Земли, происходят изменения озонового слоя и, возможно, климата. Но даже это циклическое изменение нельзя считать надежным установленным, поскольку Солнце вело себя по-другому совсем недавно — в XVII в., и его поведение может измениться вновь.

Эта возможность представляет не только чисто научный интерес, поскольку любое существенное изменение светимости Солнца или даже уровня его активности может быть решающим фактором для существования жизни на Земле. Современные дискуссии о возможных изменениях окружающей среды концентрируются на эффектах, связанных с человеческой деятельностью, таких как влияние на климат накопления «парниковых» газов или разрушение озона под действием хлорфторуглеродов. Для понимания и количественной оценки этих эффектов необходимо знать другие факторы, влияющие на окружающую среду, особенно медленные изменения светимости Солнца и испускание потоков заряженных частиц. Исследователи прилагают усилия для выяснения более точных взаимосвязей между тем, что происходит на Солнце и соответственно на Земле, и для предсказания, если оно вообще возможно, изменений солнечной активности в будущем.

Первое указание на то, что в принципе это возможно, появилось в 1843 г., когда Генрих Самуэль Швабе — немецкий астроном-любитель, систематически наблюдавший за Солнцем, сообщил, что число темных солнечных пятен, видимых на солнечном диске, по-видимому, регулярно меняется с периодом, близким к 10 годам. На наблюдения Швабе обратил внимание Рудольф Вольф, директор основанной в 1855 г. Цюрихской обсерватории. В Цюрихе Вольф проследил за изменениями ежедневного числа солнечных пятен по данным международных наблюдений; он собрал также данные по числу пятен за предыдущие 150 лет. Вольф нашел довольно точный средний период солнечного цикла, приблизительно равный 11,1 года, однако его амплитуда и продолжительность заметно изменяются от цикла к циклу.

График солнечного цикла с 1610 г. до настоящего времени показывает, что число солнечных пятен постоянно колеблется приблизительно с 1715 г. (см. рисунок на с. 16). В течение 13 циклов, начиная с 1848 г., проводились систематические наблюдения, которые показали, что продолжительность цикла изменяется от 10 до 12 лет. Амплитуда циклов изменяется менее регулярно и ежегодно меняется от 45 (для 1804 г. и 1818 г.) и 190 (для 1957 г.). Ожидается, что текущий цикл может дать наибольшее число солнечных пятен за все время наблюдений солнечной активности.

За период с 1645 по 1715 г. было зарегистрировано очень небольшое число солнечных пятен, а регулярные циклические вариации практически отсутствовали. Этот период минимальной солнечной активности известен как маундеровский минимум, названный именем британского астронома Уолтера Маундера, который привлек внимание научной общественности к этому факту в конце XIX — начале XX в. Сначала астрономы или совсем игнорировали открытие Маундера, или объясняли этот эффект нерегулярностью измерений и плохой техникой в то время.

Недавно американский астроном Дж. Эдди из Центра атмосферных исследований в Болдере (шт. Колорадо) привел убедительное доказательство того, что минимум солнечных пятен, обнаруженный Маундером, реален и представляет собой важную особенность поведения Солнца (см. John A. Eddy. The Case of Missing Sunspots, «Scientific American», May, 1977). Маундеровский минимум наблюдался в наиболее суровое время периода необычайно холодной погоды, известного как малый ледниковый период, который продолжался приблизительно с XVI по XVIII в.; возможная связь между этими событиями очень интересна, но пока это только предположения. Маундеровский минимум и небольшие пики в солнечных циклах в начале XIX в. могут, возможно, объяснить, почему прошло более двух столетий между первыми наблюдениями солнечных пятен в Европе (проведенными Галилеем и другими учеными около 1610 г. вскоре после создания телескопа) и открытием Швабе 11-летнего цикла.

СЕЙЧАС ИЗВЕСТНО, что 11-летнее изменение числа солнечных пятен может быть лишь наиболее заметной частью глубинных колебаний солнечного магнитного поля, которые различным образом воздействуют на солнечную поверхность, атмосферу и, возможно, на его недра. Дж. Хэйл и его сотрудники из Обсерватории Маунт-Вилсон в Калифорнии нашли первое свидетельство солнечных магнитных колебаний при измерениях спектров пятен. Они обнаружили, что некоторые линии поглощения уширены и поляризованы подобно линиям, полученным в лабораторных спектрах намагниченных газов, исследованных голландским физиком Питером Зеemanом. Анализируя эффект Зеemана, Хэйл с сотрудниками определил, что напряженность магнитных полей вблизи солнечных пятен составляет от 2000 до 3000 Гс, что в несколько тысяч раз превышает напряженность магнитного поля Земли. Они показали также, что большинство

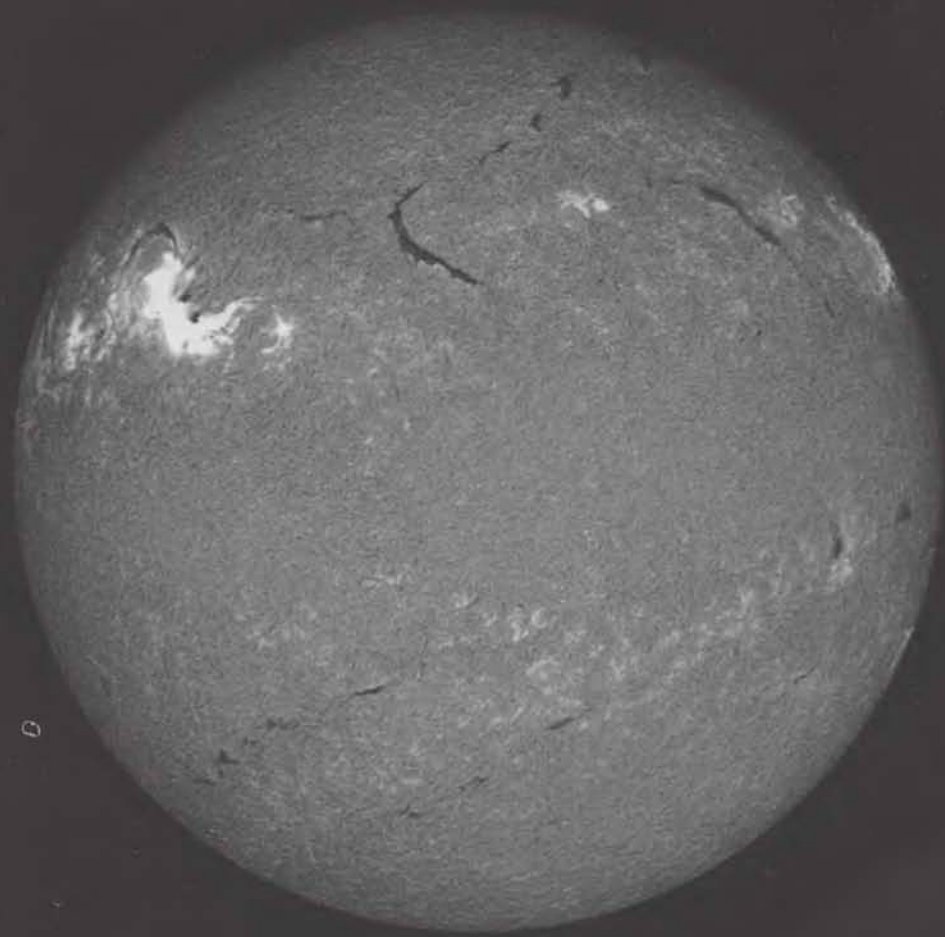
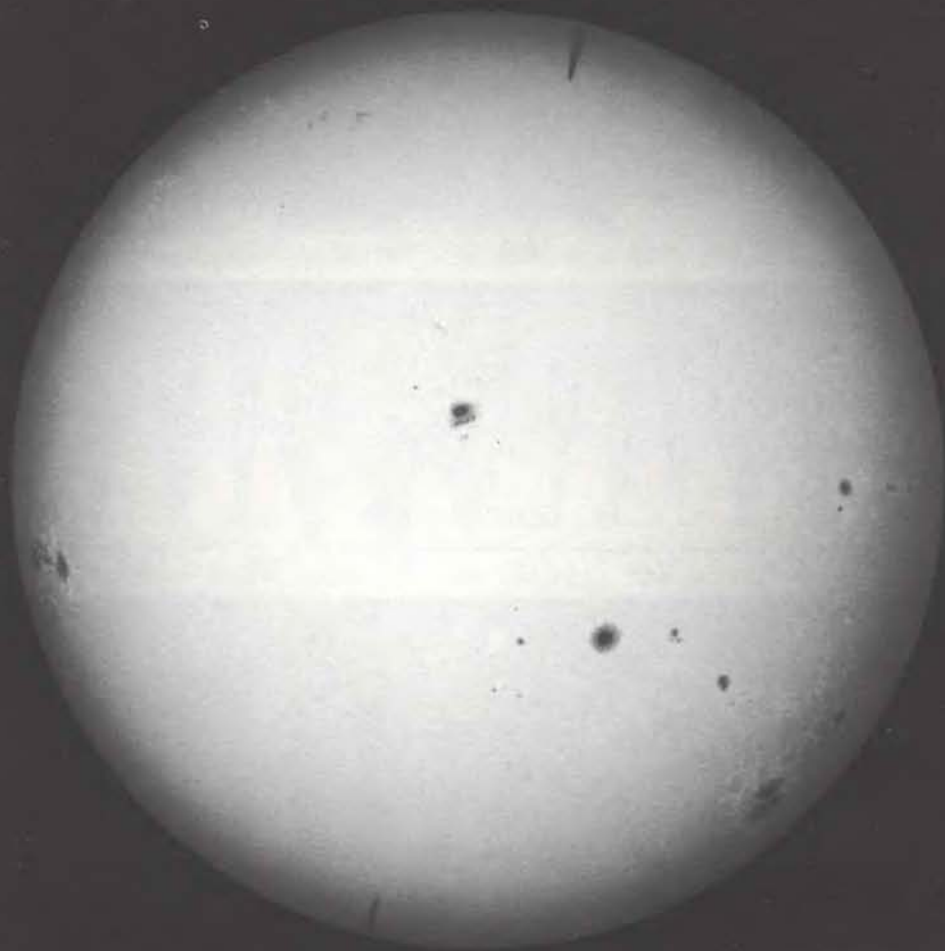
пятен группируется в пары, которые напоминают гигантские магнитные диполи (намагниченный стержень — один из примеров такого диполя) и ориентированы приблизительно параллельно солнечному экватору.

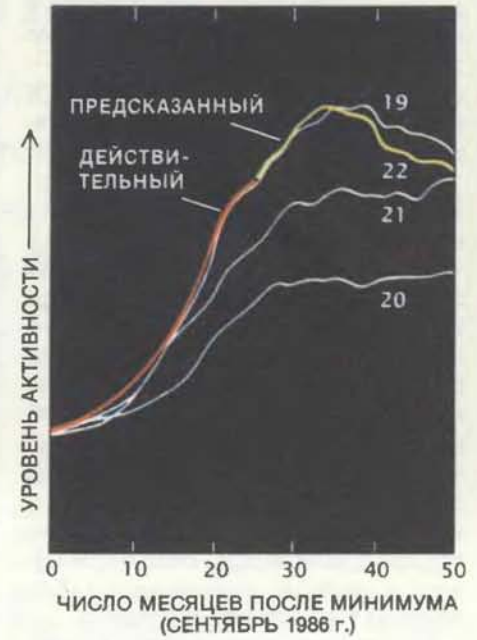
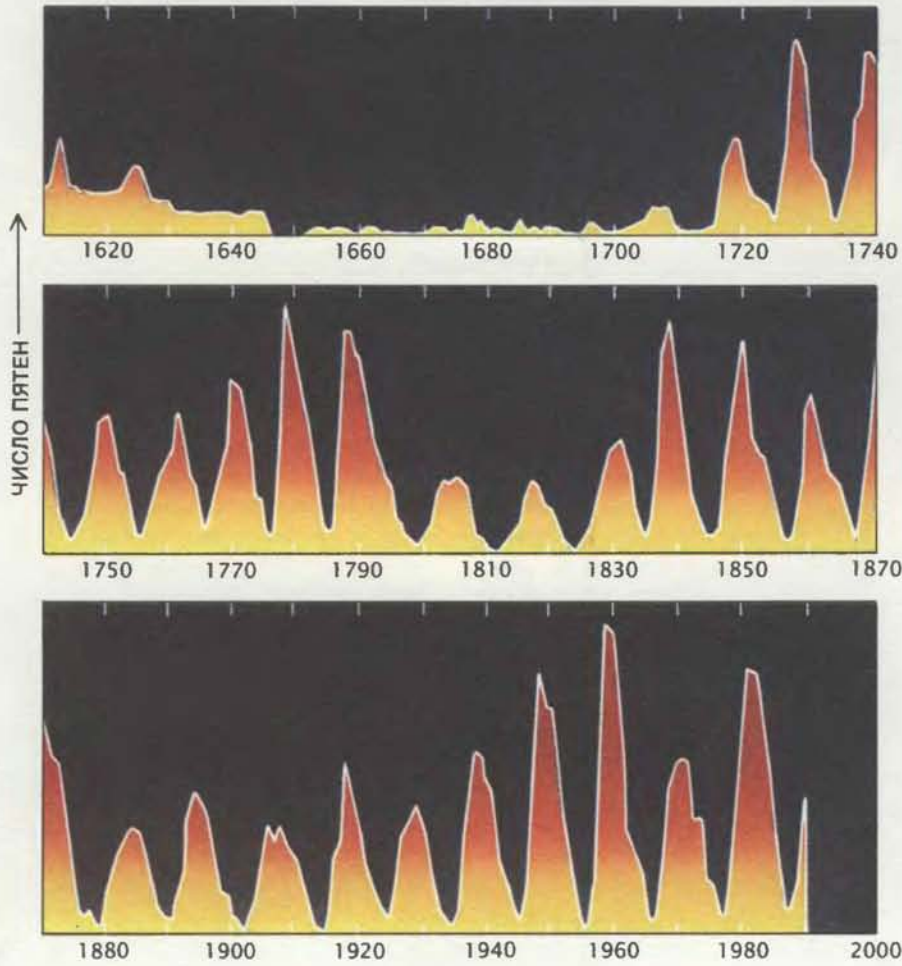
В 1912 г. Хэйл сообщил, что полярность этих диполей изменила знак в первых пятнах нового, начавшегося в том году цикла. К 1924 г. он собрал достаточно данных наблюдений, чтобы утверждать, что такое изменение полярности происходит в каждом минимуме активности и является фундаментальным свойством цикла солнечных пятен. Он пришел к заключению, что 11-летний цикл представляет на самом деле половину 22-летнего солнечного магнитного цикла, в течение которого полярность групп пятен меняется дважды, возвращаясь таким образом к исходному состоянию.

В настоящее время время значительно более чувствительные измерения магнитного поля Солнца проводятся ежедневно с помощью магнитографа, установленного на Обсерватории Маунт-Вилсон Гарольдом и Хорасом Бэбкоками в 1951 г. Одно из удивительных открытий, сделанных с помощью этих магнитограмм и других данных, состоит в том, что магнетизм солнечной поверхности ограничен небольшими областями интенсивного магнитного поля, занимающими лишь несколько процентов полной поверхности фотосферы — слоя, который образует видимую поверхность Солнца. Наибольшие площади одной полярности являются местами формирования пятен; меньшие площади размером вплоть до предельного разрешения магнитограмм (около 200 км) оказываются яркими в большинстве линий излучения. Эти особенно яркие области солнечной поверхности называют факелами; впервые они были обнаружены в начале XVII в.

Хэйл и его коллеги безуспешно пытались наблюдать магнитное поле

ДВЕ ФОТОГРАФИИ СОЛНЦА выявляют сложные процессы, происходящие под его испещренной «поверхностью». На фотографии в видимом свете (*вверху*) видны солнечные пятна и яркие области, называемые факелами, на солнечной поверхности, или фотосфере. Фотография, сделанная в красном излучении водорода, показывает детали более горячей, расположенной выше области Солнца, называемой хромосферой (*внизу*). На ней видны яркая вспышка, или «солнечное извержение», и темные «волокна» сравнительно холодного плотного газа, которые «подвешены» магнитными полями. Мощные магнитные поля определяют в основном внешнюю структуру Солнца.





СОЛНЕЧНЫЙ ЦИКЛ проявляется в изменении числа пятен на видимой поверхности Солнца (слева). Оказалось, что дефицит пятен между 1645 и 1715 годами, известный как маундеровский минимум, совпадает с периодом необычно холодной погоды. Текущий, 22-й цикл, возможно, достигнет максимума в феврале 1990 г. По уровню активности он уже превзошел два предыдущих цикла и может превзойти крупнейший из когда-либо наблюдавшихся 19-й цикл (вверху).

вблизи полюсов Солнца, чтобы определить, имеет ли оно общее дипольное магнитное поле, подобное земному. Более чувствительные измерения последних 20 лет показали, что магнитные поля вблизи Южного и Северного полюсов Солнца обычно, но не всегда, имеют противоположную полярность и резко ее меняют вблизи максимума активности.

Эти наблюдения показали также, что геометрия магнитного поля Солнца гораздо более сложна, чем геометрия земного магнитного поля, которую вполне можно описать полем дипольного магнита. Солнечное поле на низких широтах можно представить как совокупность магнитных линий, или магнитных трубок, закрученных вокруг Солнца приблизительно параллельно его экватору и имеющих основания ниже уровня его видимой поверхности. В местах, где эти тороидальные силовые линии поднимаются над поверхностью, они образуют петельные структуры магнитного поля, простирающиеся в верхние слои солнечной атмосферы. Иногда радиус этих петель достигает нескольких миллионов километров в межпланетном пространстве. Активные области, видимые как пятна и фа-

келы, возникают, когда эти линии пересекают фотосферу.

Механизм, ответственный за солнечный магнитный цикл, остается непонятным, хотя интенсивно исследуется в течение последних десятилетий. Астрономы в основном сходятся во мнении, что наблюдаемые изменения в солнечном магнетизме вызваны движениями солнечной плазмы через существующие магнитные поля. Плазма — это сильно ионизованный газ (т. е. газ, в котором большинство электронов оторвано от ядер), обладающий электропроводностью. Движения в солнечной плазме индуцируют как ток в плазме, так и связанное с ним магнитное поле, которое в свою очередь усиливает первоначальное поле.

В отличие от твердых тел, таких как Земля, внешние слои Солнца не вращаются с одной и той же угловой скоростью на всех широтах. Эта особенность Солнца впервые была обнаружена английским астрономом Ричардом Каррингтоном около 1860 г. Приэкваториальные области Солнца совершают один полный оборот приблизительно за 25 дней, примерно на 25% быстрее, чем полюсы; промежуточные широты вращаются с про-

межуточными значениями скоростей. Вероятно, это дифференциальное вращение является ключевым фактором в возникновении механизма динамо, который поддерживает магнитное поле Солнца. Магнитная силовая линия, первоначально расположенная вдоль поверхности между полюсами Солнца и вынужденная двигаться вместе с поверхностным слоем плазмы, будет вытягиваться в результате более быстрого экваториального движения. После нескольких оборотов Солнца линия будет закручена практически параллельно экватору. За счет этой деформации силовых линий, создается определенная ориентация магнитного поля и восточно-западная ориентация групп солнечных пятен (см. рисунок на с. 18). Вытягивание силовых линий магнитного поля приводит к увеличению интенсивности поля до больших значений, измеренных в солнечных пятнах.

Полагают, что выход магнитного потока из Солнца может быть причиной изменения полярности поля солнечных пятен между циклами. Когда магнитные трубки, рождающие активные области, выходят из внутренних областей Солнца, их магнитный поток растекается по солнечной по-

верхности. В то же время поток выталкивается в высшие слои солнечной атмосферы новыми магнитными полями, которые появляются снизу в результате дифференциального вращения Солнца. Таким образом происходит «сбрасывание» старого потока с прежней полярностью и появление нового потока, имеющего противоположную полярность.

Комбинации механизмов сбрасывания «старого» магнитного поля посредством испускания и растекания и генерации нового поля в результате дифференциального вращения, по-видимому, достаточно для объяснения солнечного магнитного цикла. Тем не менее мало что известно о процессе, при котором Солнце «избавляется» от своей старой полярности. Компьютерное моделирование динамики движений солнечной плазмы и ее взаимодействий с магнитным полем связано с трудностями при воспроизведении 11-летнего цикла и других характеристик поведения Солнца. Основная неопределенность состоит в незнании до недавнего времени природы внутреннего вращения Солнца. Наблюдения глобальных колебаний Солнца (см. статью: Джон У. Лейбахер, Роберт У. Нойс, Юрий Тумре, Роджер К. Ульрих. Гелиосейсмология, «В мире науки», 1985, № 11) открывают «окно» в недра Солнца, делают возможным анализ глубинного профиля солнечного вращения и вычисление его влияния на солнечное динамо. Последние данные показывают, что 30% вещества внешних слоев недр Солнца вращаются дифференциально в большей степени, чем его поверхность. Этот факт подтверждает, что влияния механизма динамо на Солнце может происходить в основном глубоко под поверхностью.

Хотя астрономы еще далеки от полного понимания магнитных колебаний Солнца, измерение влияния магнитного цикла на ключевые особенности Солнца было бы само по себе существенным шагом вперед. Климатологи должны быть вполне удовлетворены, если они знают амплитуду и характерный масштаб времени изменений светимости Солнца, даже если с астрофизическим объяснением этих изменений придется подождать. К счастью, за прошедшие несколько лет был достигнут значительный прогресс в таком эмпирическом понимании поведения Солнца.

ВАЖНЫМ ШАГОМ оказалось открытие циклических вариаций в полном потоке солнечного излучения, известном как полная солнечная светимость, или — по иронии судьбы — «солнечная постоянная». Капризы со-

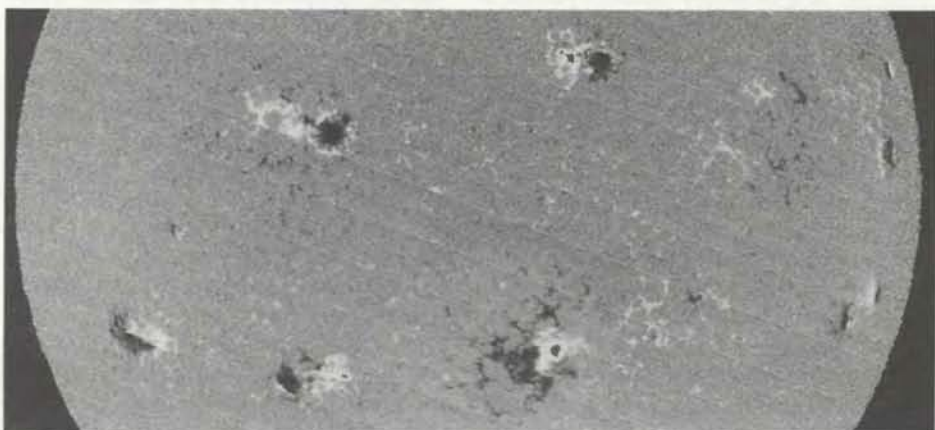
стояния земной атмосферы сделали печально известными трудности измерения солнечной постоянной, но приборы на борту космических спутников обнаружили, что эта величина претерпевает изменения до 0,2% в течение нескольких недель. Эта относительно короткомасштабная вариация вызвана прохождением темных солнечных пятен и ярких факелов по солнечному диску во время вращения Солнца с периодом около месяца.

Короткопериодические флуктуации были впервые четко идентифицированы из данных, полученных в 1980 г. с помощью радиометров, установленных на борту спутников SMM (Solar Maximum Mission) и «Нимбус-7» Р. Вильсоном из Лаборатории реактивного движения в Пассадене (шт. Калифорния) и Дж. Хикки из Лаборатории Эппли в Ньюпорте (шт. Род-Айленд) соответственно. Гораздо труднее установить медленно меняющуюся (долгопериодическую) компоненту солнечной постоянной в солнечном цикле, поскольку эти вариации имеют величину около

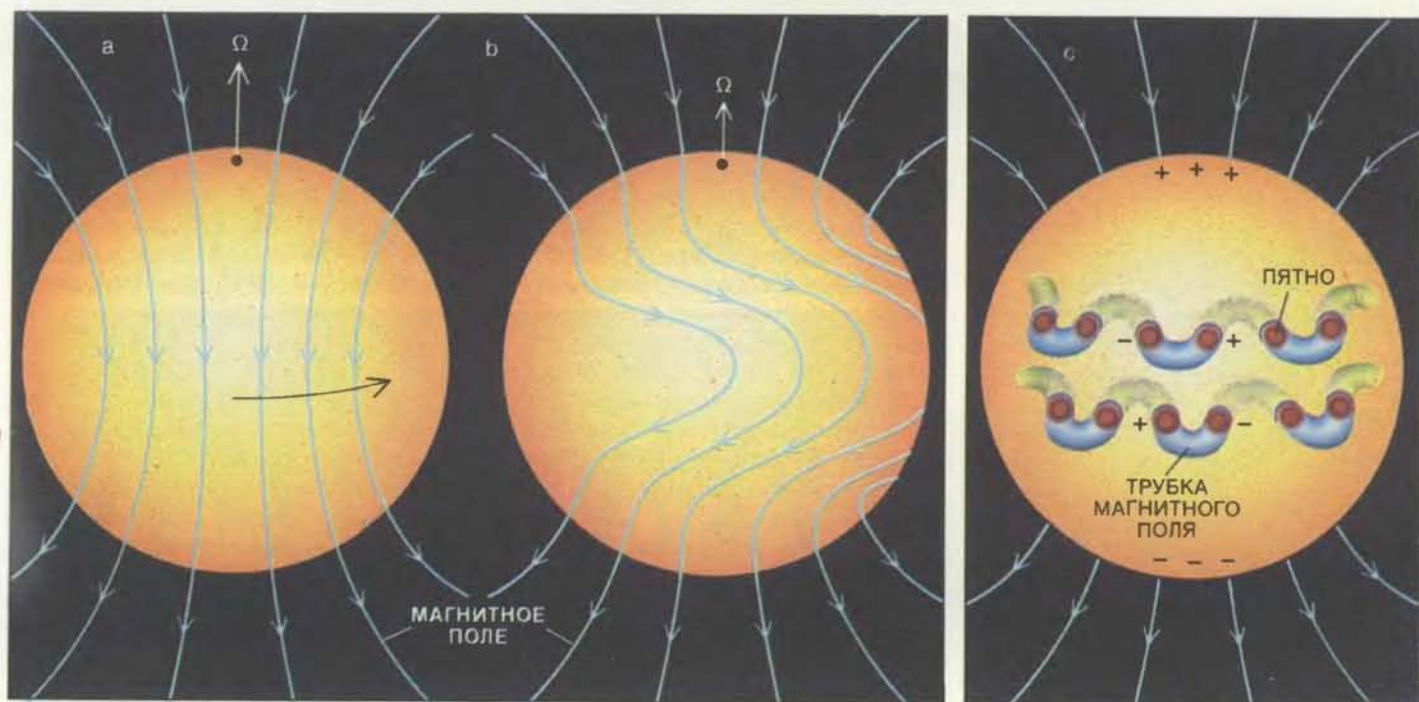
0,1%, а медленные изменения в калибровке радиометров на таком уровне трудно учесть. Надежное свидетельство этого эффекта было наконец получено, когда показания обоих радиометров, уменьшавшиеся при падении солнечной активности с 1980 г., стали постоянны в 1986 г. и начали возрастать в 1987 г., когда Солнце вошло в протекающий сейчас цикл и его активность увеличилась.

Данные с этих двух спутников показывают, что яркость Солнца уменьшилась примерно на 0,1% между пиком солнечной активности в 1981 г. и ее минимумом в середине 1986 г. Удивительно, что Солнце становится ярче, когда число темных пятен на его поверхности возрастает. Анализ такого поведения, проведенный Юдит Лин из Лаборатории военно-морских сил США и автором этой статьи, показывает, что при увеличении солнечной активности возрастание площади фотосферы, покрытой яркими факелами, дает больший эффект, чем увеличение площади темных пятен.

Влияют ли эти изменения солнеч-



МАГНИТНЫЕ СИЛОВЫЕ ЛИНИИ захватывают огромные потоки («стримеры») горячего ионизованного газа в солнечной атмосфере, или короне. Это проявляется в виде темных линий на фотографии Солнца в коротковолновом ультрафиолетовом излучении (вверху). Самые большие стримеры истекают из солнечных пятен. Магнитное изображение Солнца, сделанное в то же время, показывает наличие сильных магнитных полей, связанных со стримерами (внизу). Темные и светлые области представляют области с противоположной полярностью; самые сильные магнитные поля образуются в биполярных активных областях.



ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ ВРАЩЕНИЕ считается причиной солнечного магнитного цикла. При вращении Солнца его поверхность «наматывает» магнитные силовые линии. Полный оборот занимает 25 дней вблизи солнечного экватора и около 28 дней на средних широтах; за несколько оборотов магнитные силовые линии, которые сначала были направлены с севера на юг (а), закручиваются, вытягиваются горизонтально и сгущаются (b). Солнечные пятна появляются в местах, где наиболее интенсивные трубки маг-

нитного потока выходят на поверхность. Точки выхода и входа трубок имеют противоположную полярность (с). Солнечные пятна обычно образуют пары на близких широтах, поскольку они расположены вдоль горизонтального направления изогнутого магнитного поля вблизи поверхности. Пары солнечных пятен — это гигантские магнитные диполи, ориентация которых в Северном и Южном полушариях противоположна.

ной постоянной на погоду или климат на Земле? Очень просто вычислить влияние изменения светимости Солнца на среднюю земную температуру. Современные климатические модели предсказывают, что величина этого эффекта составляет значительно меньше 0,1 К. Это лишь малая доля общего потепления (порядка нескольких десятых градуса), которое ожидается от возрастания концентрации в атмосфере углекислого газа (диоксида углерода), за последние несколько десятилетий.

Измерения светимости Солнца из космоса пока охватывают лишь один цикл солнечных пятен. Современных данных недостаточно, чтобы сказать, происходят ли более существенные изменения светимости Солнца, например при более медленном изменении солнечной активности, как то, которое привело к маундеровскому минимуму. Проведенные оценки показали, что в течение малого ледникового периода средняя глобальная температура понизилась на 0,5 К по сравнению с долговременным средним. Этого оказалось достаточно, чтобы вызвать период существенного распространения ледников и неурожайные годы в Европе. Если это похолодание было связано с изменением светимости Солнца, то, как показывают

вычисления на основании стандартной климатической модели, потребовалось бы падение светимости на 0,2—0,5% в течение нескольких десятков лет. Специальная программа прецизионного мониторинга светимости Солнца из космоса могла бы дать сведения о ее долгопериодических изменениях и позволить астрономам определить, может ли последующее снижение солнечной активности привести к еще одному длительному периоду глобального похолодания.

Долгое время предпринимались многочисленные попытки найти связь между солнечной активностью и погодой. Выдающийся английский астроном Уильям Гершель предположил (совершенно правильно!), что Солнце наиболее ярко светит при максимуме солнечных пятен, а повышение температуры в этот период должно было бы приводить к увеличению урожая пшеницы и соответственно падению цен на нее. В 1801 г. он заявил, что цена на пшеницу действительно «коррелирует» с циклом солнечных пятен. Корреляция, однако, оказалась недостоверной, и Гершель стал заниматься другими проблемами. Многие такие кажущиеся «связи» оказались недолговечными, и все они имели тот недостаток, что были скорее статистическими, чем причинны-

ми. Никто еще не предложил разумного механизма, посредством которого столь малые изменения солнечной постоянной могли бы ощутимо влиять на земные процессы.

Однако поиск продолжается. В 1987 г. Карин Лабичке из Свободного университета в Берлине сообщила о наиболее убедительной из всех ранее найденных связей. Она обнаружила, что в течение последних 40 лет оттепели зимой в США и Западной Европе очень хорошо коррелируют с солнечным циклом, если принимать во внимание изменение направления стратосферных ветров, происходящее приблизительно каждые два года. Найденное соответствие выдержало многочисленные статистические проверки и объяснило очень мягкую зиму 1988/89 г. в Англии и Западной Европе. Установление физически разумной связи между вариациями солнечной активности и климата явилось бы громадным шагом вперед в понимании взаимосвязи Земли с ее звездой.

ТЕМА ПЕРЕМЕННОСТИ Солнца значительно шире, чем рассмотренное изменение вида и яркости фотосферы. Магнитный цикл воздействует также на более высокие слои солнечной атмосферы, известные как хромосфера, корона и солнечный ве-

тер. Температура плазмы в этих областях существенно превышает температуру фотосферы, хотя они находятся дальше от солнечного ядерного источника тепла. Энергетические потери в этой весьма разреженной плазме крайне малы, и очень высокие температуры — до нескольких миллионов градусов — могут поддерживаться сравнительно небольшими потоками энергии. Возможно, эта энергия образуется за счет поглощения звуковых волн, возникающих при перемещении фотосферы и электрических токов, связанных с магнитными полями в фотосфере и более низких областях.

Эти горячие внешние слои солнечной атмосферы ответственны за очень переменчивое солнечное излучение в рентгеновском и крайнем ультрафиолетовом (EUV) диапазонах, на длинах волн от 100 до 1000 Å. Хромосфера излучает также существенную часть солнечного ультрафиолетового излучения (UV) в интервале длин волн примерно от 1600 до 3200 Å и, возможно, определяет основную переменность этого излучения. Солнечное рентгеновское излучение в меньшей степени влияет на земную жизнь, чем EUV- и UV-излучения, которые существенно воздействуют на атмосферу Земли.

Причина переменности в крайнем ультрафиолетовом диапазоне кажется понятной из анализа данных наблюдений с помощью солнечных телескопов на борту орбитальной станции «Скайлэб» в 1973—1974 гг. и на запущенных позднее спутниках, таких как SMM. Сильные четко локализованные дипольные магнитные поля действуют как магнитные «клетки», которые препятствуют истеканию коронарной плазмы из солнечного гравитационного поля. Эта захваченная плазма приблизительно в 10 раз плотнее, чем в окружающих спокойных зонах, и она значительно сильнее излучает в EUV-диапазоне. Таким образом, активные зоны являются основным источником крайнего ультрафиолетового излучения, которое усиливается и спадает, следуя циклу солнечной активности.

До настоящего времени нет надежных измерений вариаций солнечного EUV-излучения в течение 11-летнего цикла солнечных пятен. Крайне трудной задачей является создание спектрометров и детекторов для этого диапазона длин волн, которые надежно сохраняли бы свои калибровочные характеристики в условиях сильного EUV-излучения в космосе с точностью, необходимой для измерения медленных изменений потока на несколько десятых долей процента. Из-

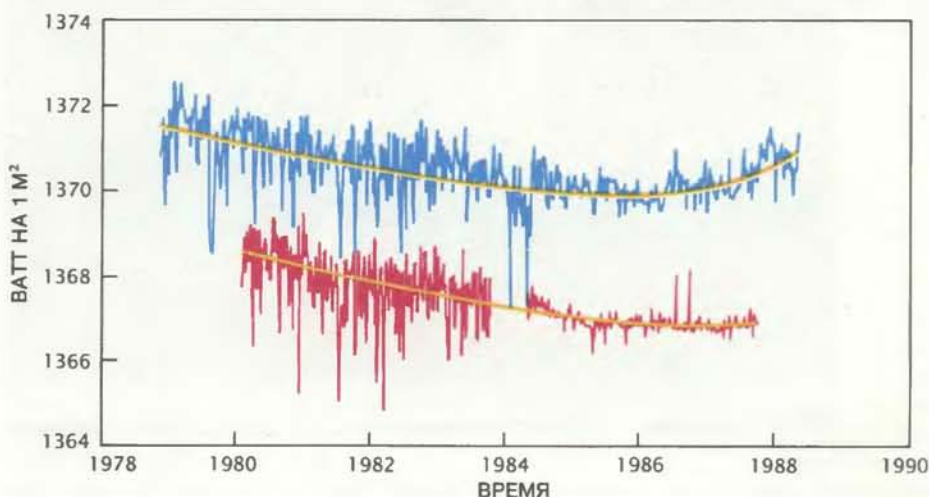
мерения в яркой эмиссионной линии водорода на длине волны 1216 Å (альфа-линия Лаймана) показывают, что ее интенсивность меняется приблизительно в два раза.

Быстрый подъем активности в современном солнечном цикле привел к необычно резкому увеличению потока солнечного излучения, что вызвало озабоченность специалистов НАСА относительно времени пребывания на орбите Космического телескопа Хаббла и спутника LDEF (Long Duration Exposure Facility) — массивной орбитальной платформы, оснащенной приборами для 57 микрогравитационных экспериментов. Проблема состоит в торможении спутников атмосферой. В периоды высокой солнечной активности повышенный нагрев EUV-излучением верхних слоев атмосферы на высотах более 100 км может приводить к увеличению температуры в ионосфере почти в три раза по сравнению с периодами низкой солнечной активности. Такой рост температуры приводит в свою очередь к возрастанию до 50 раз плотности газа на высоте 600 км, на которую предполагается вывести космический телескоп. Увеличение плотности атмосферы может привести к усилению аэродинамического торможения и сокращению времени свободного полета до того момента, когда потребуется с помощью корабля многократного использования — шаттла — корректировать орбиту этого телескопа стоимостью миллиард долларов. По этой причине НАСА запросила астрономов дать прогноз магнитуды и времени максимума текущего

цикла солнечной активности, чтобы выбрать оптимальное время для запуска космического телескопа и снятия с орбиты спутника LDEF при очередном запуске шаттла.

Измерение солнечной 11-летней вариации несколько легче проводить в ультрафиолетовом диапазоне, чем в EUV-диапазоне. В течение последних десяти лет были предприняты значительные усилия для наблюдений в ультрафиолетовой области, поскольку это излучение непосредственно воздействует на озоновый слой земной атмосферы. Данные, полученные со спутников «Нимбус-7» и SMM, однозначно указывают на наличие 27-дневной вариации (вызванной вращением Солнца) в диапазоне длин волн короче примерно 3000 Å. Амплитуда этой вариации измерена недостаточно надежно из-за трудностей в калибровке детекторов, но, по-видимому, она уменьшается от 20% в области 1500 Å до 1 или 2% для длин волн более 2500 Å.

Современные модели образования озона показывают, что такие изменения солнечного ультрафиолетового излучения могли бы приводить к изменению на 1—2% глобального содержания озона. Этим можно было бы объяснить большую часть снижения содержания стратосферного озона, обнаруженного при измерениях на спутниках в период самой низкой солнечной активности с 1978 по 1985 гг. Влияние солнечного цикла должно приниматься во внимание при попытках объяснения причин этого снижения содержания озона, а также более медленного снижения его concentra-



МЕРЦАНИЕ Солнца было зарегистрировано радиометрами на двух спутниках: «Нимбус-7» (синий цвет) и SMM (Solar Maximum Mission) (красный). Короткопериодическое увеличение излучения Солнца вызывало небольшие «всплески» в данных со спутника SMM и они же соответствуют большинству пиков в данных со спутника «Нимбус-7» (часть пиков в данных со спутника «Нимбус-7» вызваны аппаратным шумом). В среднем (желтая линия) Солнце сияло наиболее ярко в период максимума числа солнечных пятен. Очевидно, что большее число ярких факелов в максимуме активности превосходит эффект солнечных пятен.

ции, обнаруженного наземными приборами в период с 1969 по 1986 гг. Медленное снижение содержания озона не так опасно, как недавно обнаруженное образование озоновой дыры над Антарктидой, но, если оно будет продолжаться, его последствия будут оказываться даже более серьезными.

ИСПУСКАНИЕ Солнцем заряженных частиц, которое зависит в основном от условий в слоях, расположенных выше фотосферы, также меняется в цикле солнечной активности. Наибольшее значение среди этих частиц с точки зрения влияния на земные процессы имеют высокоэнергетичные протоны, которые выбрасываются при взрывах в солнечной короне. На Землю оказывает воздействие также так называемый солнечный ветер, обусловленный более спокойным испусканием коронарной плазмы.

Приходящие к Земле высокоэнергетичные солнечные протоны имеют энергии от 10 млн до 10 млрд эВ (для сравнения энергия фотона видимого

света составляет около 2 эВ). Наиболее энергичные протоны движутся со скоростью, близкой к скорости света, и достигают Земли приблизительно через 8 мин после самых мощных солнечных вспышек. Такие вспышки связаны с колоссальными извержениями в активных областях Солнца, которые резко увеличивают свою яркость в рентгеновском и EUV-диапазонах. Считается, что источником энергии вспышек является быстрая аннигиляция сильных магнитных полей, при которой происходит разогрев плазмы и возникают мощные электрические поля, ускоряющие заряженные частицы.

Мощные протонные вспышки являются важным фактором для планирования полетов на гражданских авиалиниях, особенно проходящих в полярных широтах, где силовые линии земного магнитного поля направлены перпендикулярно поверхности Земли и поэтому позволяют заряженным частицам достигать нижних слоев атмосферы. Пассажиры в этом случае подвергаются повышенному радиа-

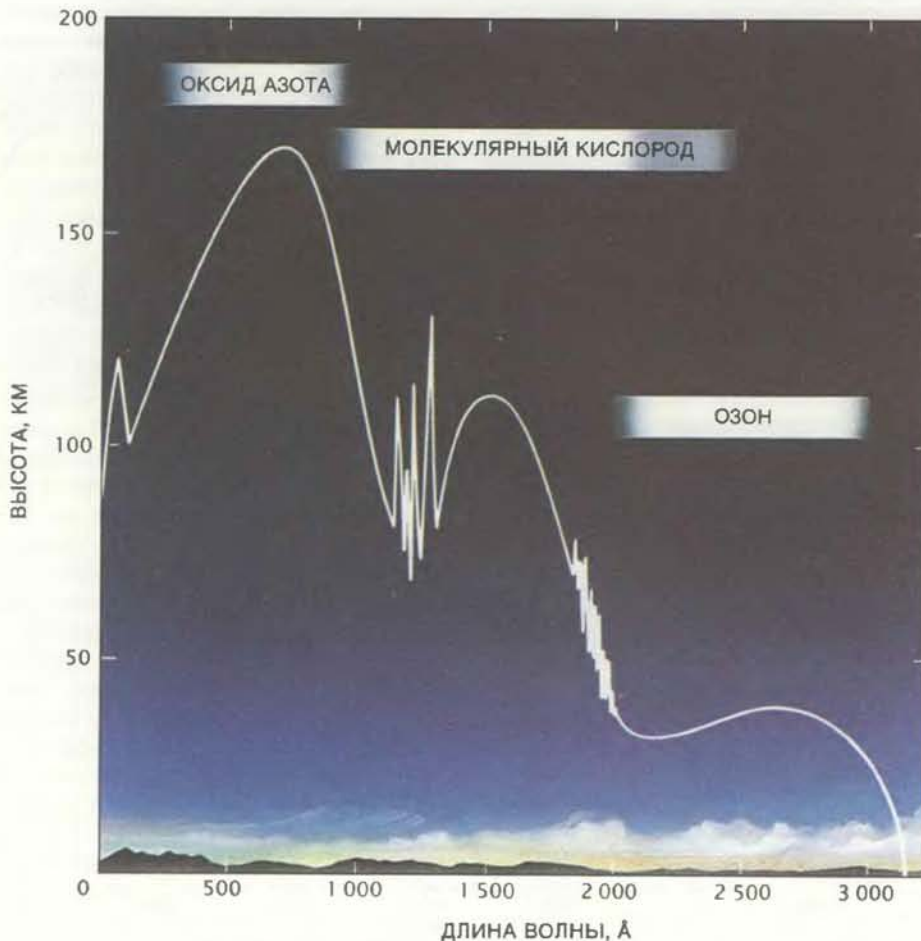
ционному облучению. Еще более сильное воздействие такие явления могут оказывать на экипажи космических аппаратов, особенно тех, которые летают на орбитах, проходящих через полюсы. Наблюдалось также влияние протонных вспышек на функционирование вычислительных систем. Так, в августе прошлого года одно такое событие парализовало работу вычислительного центра фондовой биржи в Торонто. В течение солнечного цикла происходит лишь несколько десятков таких мощных вспышек, и их частота значительно выше в его максимуме, чем в минимуме.

Изменения потока плазмы солнечного ветра, обтекающего Землю, приводят к воздействию совсем иного вида. Эта относительно низкоэнергичная плазма как бы «убегает» из солнечной короны, преодолевая из-за высокой температуры гравитационное притяжение Солнца. Магнитное поле Земли воздействует на заряженные частицы солнечного ветра и не позволяет им приблизиться к поверхности планеты. Пространство вокруг Земли, в которое в основном не могут проникать частицы солнечного ветра, называют земной магнитосферой. Вспышки и другие резкие изменения магнитных полей на Солнце приводят к возмущениям в солнечном ветре и изменяют давление плазмы на земную магнитосферу.

Связанные с воздействием солнечного ветра изменения геомагнитного поля составляют лишь около 0,1% его напряженности, равной приблизительно 1 Гс. Однако индуцируемая даже столь малыми изменениями геомагнитного поля электрические токи в длинных проводниках на поверхности Земли (таких как высоковольтные линии или трубы нефтепроводов) могут приводить к драматическим последствиям. Например, 13 марта 1989 г. сильная магнитная буря, вызванная вспышками, связанными с одним из крупнейших когда-либо наблюдавшихся пятен на Солнце, вывела из строя систему электроснабжения всей провинции Квебек.

Часть сильных геомагнитных бурь связана со вспышками, происходящими в активных областях Солнца, и поэтому частота таких бурь возрастает с ростом числа солнечных пятен в магнитном цикле. Более постоянное истечение солнечного ветра происходит, по-видимому, из района короны вне активных областей, где силовые линии солнечного магнитного поля вытягиваются в направлении к Земле и далее, создавая каналы, вдоль которых сравнительно свободно могут распространяться заряженные частицы.

Конфигурация силовых линий магнитного поля в некоторых областях



ГЛУБИНА ПРОНИКНОВЕНИЯ солнечной радиации в атмосферу Земли зависит от длины волны его излучения. График показывает высоты, на которых поглощается приблизительно половина падающего излучения. К счастью для жизни, оксид азота (N_2O_3) в тонком слое атмосферы на высоте выше 50 км над поверхностью Земли «блокирует» очень переменное коротковолновое ультрафиолетовое излучение Солнца. На меньших высотах озон и молекулярный кислород поглощают длинноволновую часть ультрафиолетового излучения, которое также вредно для жизни. Изменения солнечного ультрафиолетового излучения влияют на структуру озонового слоя.

Солнца такова, что заряженные частицы могут относительно легко покинуть корону. Это приводит к появлению районов обедненной коронарной плазмы, или «коронарных дыр». Дыры всегда есть около солнечных полюсов, но они могут также образовываться и на более низких широтах. Низкоширотные дыры испускают высокоскоростные потоки солнечного ветра, которые при вращении Солнца периодически проходят в окрестности Земли. Образование дыр связано с солнечным циклом, но не так, как число солнечных пятен. Несмотря на то что имеющиеся данные ограничены неполными двумя солнечными циклами, можно сделать вывод, что самые большие низкоширотные дыры появляются на спадающей части солнечного цикла, так что их вклад в геомагнитную активность максимален через несколько лет после максимума числа солнечных пятен.



СОЛНЕЧНЫЕ ТЕЛЕСКОПЫ все более усложняются. В 1850-х годах Р. Вольф провел первые систематические измерения солнечных пятен, используя небольшой рефрактор, который до сих пор работает в Цюрихской обсерватории (слева). В 1980-х годах с помощью приборов на борту спутника SMM (справа) проведены тонкие измерения структуры солнечной атмосферы и переменных излучений. Этот спутник упал на Землю 2 декабря 1989 г.; это случилось из-за расширения верхних слоев атмосферы Земли, вызванного высоким уровнем солнечной активности, которую он исследовал.

ПРИ ТАКОМ разнообразии механизмов влияния переменности солнечной активности на Землю понятно, как важно было бы иметь возможность предсказания времени и величины следующего солнечного максимума. Современные возможности такого прогноза весьма ограничены, поскольку они основаны на эмпирических законах, полученных по предыдущим циклам. Тем не менее эти законы обеспечили ряд полезных предсказаний для текущего 22-го цикла и, в частности, позволили специалистам НАСА рассчитывать время пребывания спутников на орбите. Из современного поведения Солнца следует, что этот цикл по активности будет равен или даже превзойдет самый мощный из надежно зарегистрированных циклов — девятнадцатый, максимум которого наблюдался в 1957 г.

Возможность предсказания солнечной активности в будущем в большой степени зависит от знания ее прошлого. Есть несколько источников информации, которые позволяют заглянуть в прошлое еще дальше, чем первое наблюдение в телескоп солнечных пятен в 1610 г. Имеются данные о наблюдении невооруженным глазом крупных солнечных пятен вплоть до IV в. до н. э., хотя до Галилея эти пятна считались планетами или другими телами, пересекающими солнечный диск. Северные сияния на низких широтах инициируются в основном солнечными вспышками, и данные об их наблюдении дают надежные сведения о поведении Солнца в прошлом.

Особенно длительный период истории солнечной активности скрыт в данных о распространении в прошлом углерода-14 (радиоактивного изотопа обычного углерода-12). Ин-

тенсивность образования C-14 в земной атмосфере зависит от потока частиц высоких энергий, известных как галактические космические лучи, которые рождаются в высокоэнергичных процессах вне Солнечной системы. Способность этих космических лучей проникать в Солнечную систему зависит от величины и геометрии магнитных полей, уносимых от Солнца солнечным ветром в периоды высокой активности. В процессе фотосинтеза растения поглощают C-14 вместе с другими изотопами углерода и включают его в свою структуру. Уровни солнечной активности за прошедшие 2000 лет могут быть оценены путем измерения распространенности C-14 в годовых кольцах старых деревьев. Возраст таких колец может быть легко найден обратным счетом от внешнего кольца.

Сведения из древних источников о наблюдениях солнечных пятен и полярных сияний, а также данные о распространенности C-14 были обобщены Эдди в 1976 г. Он установил, что маундеровский минимум совпадает с очень резким понижением солнечной активности, о чем свидетельствуют перерыв в появлении полярных сияний и высокий уровень C-14. Впоследствии Эдди и другие ученые показали, что такие периоды аномально низкой солнечной активности продолжаются в течение нескольких десятилетий и типичны для Солнца: аналогичный эпизод, шпуреровский минимум, имел место в период примерно от 1450 до 1550 гг. Однако протяженный период высокой солнечной активности приблизительно между 1100 и 1250 гг. совпал с относительно теплой погодой, которая, по-видимому,

сделала возможной миграцию викингов в Гренландию и Новый Свет. Из исторических записей следует, что очередное затухание солнечной активности можно ожидать в следующем веке.

Другим источником сведений о «нормальном» поведении Солнца и его переменности в далеком прошлом служат наблюдения звезд, близких по массе к Солнцу. В своей пионерной работе, опубликованной в 1976 г., О. Вильсон из Обсерватории Маунт-Вильсон показал, что хромосферное излучение в видимом свете многих таких звезд проявляет циклические изменения с периодами, близкими к солнечному. Это было первым серьезным свидетельством того, что циклы магнитной активности являются общим свойством звезд, имеющих возраст и массу, близкие к солнечным (а также, размер и температуру). Измерения кривых светимости таких звезд указывают на наличие в них дифференциального вращения.

Изучение значительно более молодых чем Солнце звезд дает представление о том, насколько ярки и переменны могли быть ультрафиолетовое и полное излучения Солнца несколько миллиардов лет назад, когда на Земле появилась жизнь. Эти исследования показывают, что уровень фотосферной и хромосферной активности звезд и их корональное рентгеновское излучение хорошо коррелируют с частотой вращения. Более молодые звезды вращаются обычно быстрее, чем старые, и поэтому они ярче и более переменны в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах, а также проявляют тенденцию к большей переменности в общей светимости. Одно из

недавних и неожиданных открытий состоит в том, что более молодые звезды кажутся менее яркими в периоды высокой активности, т. е. для них в отличие от Солнца эффект «звездных пятен» превосходит эффект факелов.

МОЖНО ли предполагать, что астрономы будут когда-либо способны предсказывать поведение Солнца? Существует принципиальное ограничение на возможность такого предсказания, если поведение Солнца нелинейно. Нелинейные системы не ведут себя предсказуемым образом, подобно маятнику. Относительно простая обратная связь следствия и причины в таких системах может приводить к очень сложному поведению. Даже когда поведение нелинейных систем определяется хорошо объяснимым набором сил, они могут быть столь чувствительны к начальным условиям, что предсказания далекого будущего становятся невозможными.

Подобная проблема существует при составлении длительного прогноза погоды, и Э. Лоренц из Массачусетского технологического института в 50-х годах внес существенный вклад

в изучение поведения нелинейных систем. Он показал, что обратная связь между различными механизмами в атмосфере затрудняет предсказание погоды более чем на день или два вперед, поскольку текущие значения температуры, давления и ветров должны быть известны с недостижимой точностью. Анализ динамики солнечного цикла наводит на мысль о том, что его весьма регулярное поведение, начиная примерно с 1700 г., с одной стороны, и исчезновение такой цикличности в течение шести 11-летних периодов между 1645 и 1715 годами, с другой, являются характеристиками нелинейного осциллятора.

Проводимые в настоящее время исследования должны помочь установить, предсказуем ли, хотя бы в принципе, цикл солнечной активности или он хаотичен. Даже если солнечный цикл непредсказуем, выявление возможных связей между медленными изменениями солнечной активности и климата было бы важно для раскрытия климатических условий в прошлом и для подготовки человечества к изменениям, которые могут ожидать в будущем.

сама Природа; эта стена из галактик, простирающаяся, по-видимому, на 500 млн. св. лет. Ученые утверждают, что это самая крупная структура из всех наблюдавшихся до сих пор во Вселенной.

Великая стена была обнаружена при построении карты распределения галактик в пространстве. Это — последнее из серии открытий, которые в совокупности показывают, что Вселенная гораздо более неоднородна и хаотична, чем считали космологи.

Первое указание на то, что вещество во Вселенной неоднородно даже в гораздо больших масштабах, было получено в 1981 г., когда группа астрономов, руководимая Р. Киришнером из Гарвардского университета, обнаружила загадочный «пузырь» поперечником 100 млн. св. лет, названный Космической полостью; пространственная плотность галактик в нем меньше 1/5 средней плотности галактик во Вселенной. Великая стена представляет другой крайний случай: в ней пространственная плотность галактик в 5 раз выше средней пространственной плотности, и несмотря на ее большую протяженность, ее толщина, по-видимому, составляет не более 15 млн. св. лет. Полная протяженность Великой стены пока не известна, поскольку она выходит за границы области обзора, закартированной Геллер и Хукрой.

Чем больше протяженность обзора галактик, тем больше крупномасштабные структуры выявляются; Геллер и Хукра отмечают, что «размеры самых крупных из обнаруженных нами структур ограничены только протяженностью обзора», а текущие обзоры охватывают лишь 1/100 000 объема наблюдаемой Вселенной. В ходе дальнейшей работы над полным обзором неба, который в конечном счете должен включать 15 000 галактик, они, вполне возможно, обнаружат еще более крупные структуры.

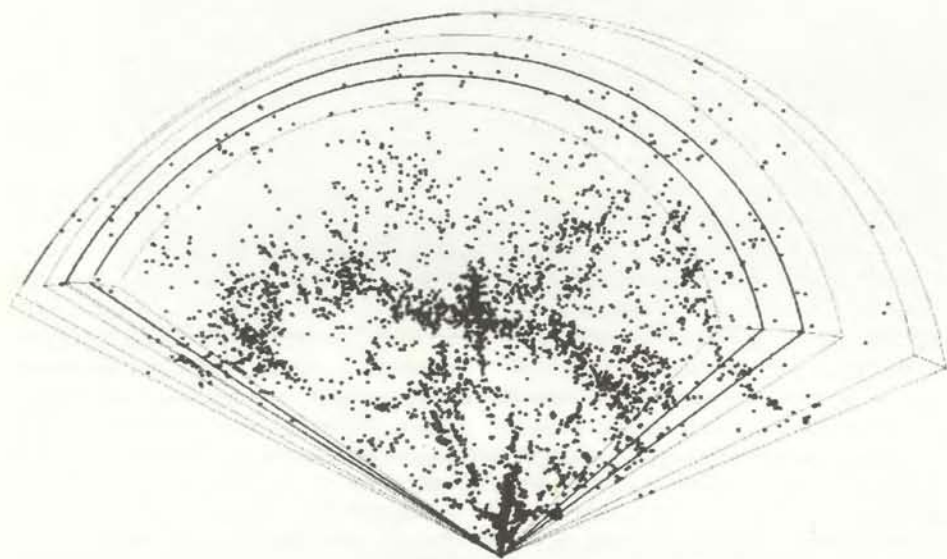
Такие огромные структуры представляют трудность для современных космологических моделей, описывающих распределение вещества во Вселенной. Их размеры слишком велики для того, чтобы они могли образоваться в результате гравитационного сжатия, если только значительные неоднородности вещества не существовали во Вселенной уже с самого ее рождения. Тем не менее космическое микроволновое фоновое излучение, которое считают «эхом» Большого взрыва, чрезвычайно изотропно. Э. Ридхед и его коллеги из Калифорнийского технологического института установили, что фоновое излучение изотропно с точнос-

Наука и общество

Перед Великой стеной

КОНЕЦ 1989 г. ознаменовался поистине космической шуткой: в то время как на Земле рухнула Берлин-

ская стена, два астронома — Маргарет Геллер и Джон Хукра из Гарвард-Смитсоновского астрофизического центра сообщили об открытии колоссальной стены, которую соорудила



ТРЕХМЕРНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ галактик в четырех «слоях» Вселенной, по которым недавно был выполнен обзор. Ширина слоя примерно 500 млн. св. лет. Пересекающая карту горизонтальная полоса галактик и есть Великая стена.

тью 1/60 000 в масштабе 2'; это соответствует угловому размеру скопления галактик, находящегося на расстоянии, с которого излучается этот фон. Недавно запущенный спутник Cosmic Background Explorer (COBE) должен значительно уточнить эти пределы в ближайшие месяцы (см. статью: Сэмюэл Гулвис, Филип М. Любин, Стивен С. Мейер, Роберт Ф. Силверберг. Спутник для исследования космического фона. «В мире науки», 1990, № 3).

Любые большие неоднородности в первичной Вселенной, вероятно, проявились бы в виде флуктуаций фонового излучения, но все попытки измерить эти флуктуации сводились лишь к определению все меньших пределов на их возможные размеры. Каким образом такие огромные объекты, как Великая стена, могли возникнуть в первоначально однородной Вселенной? Обычно космологи отвечают, что существует невидимое (темное) вещество — неизвестные частицы, которые нельзя наблюдать но, по видимому, они составляют более 90% массы Вселенной. Существование темного вещества следует из данных о движениях галактик и моделей расширяющейся Вселенной, в которых предполагается, что плотность вещества во Вселенной достаточна для прекращения ее расширения. Сгущения темного вещества не вносят вклад в фоновое излучение, но могут обеспечить силу гравитации, необходимую для образования галактик.

Однако существуют пределы даже на размеры структур, которые можно объяснить существованием темного вещества, пределы, которые, кажется, смела Великая стена. Модели, в которых рассматриваются медленно движущиеся неизлучающие частицы — «холодное темное вещество», сталкиваются с трудностями при объяснении происхождения таких крупных структур, тогда как модели с быстро движущимися частицами — «горячее темное вещество», не могут точно воспроизвести мелкомасштабные образования, наблюдаемые во Вселенной. Геллер и Хукра считают, что их данные «бросают серьезный вызов всем современным моделям».

Большинство космологов стараются модифицировать свои модели с учетом последних наблюдений. Другие, например Дж. Острайкер из Принстонского университета, разрабатывают альтернативные модели, в которых не вводится предположение о темном веществе. В любом случае все согласны с тем, что современные теории далеки от совершенства. На небесах, как и на Земле, сейчас не время для традиционного мнения.



ИНДИВИДУАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ окраски у подвязочных змей весьма значительна. Оказывается, особенности окраски коррелируют с характером защитного поведения, который тоже широко варьирует.

Пятнистые и полосатые

У ПОДВЯЗОЧНЫХ ЗМЕЙ и пестрых аспидов наблюдается поразительная индивидуальная изменчивость защитной окраски. Одни особи демонстративно полосатые, другие пятнистые, третьи имеют монотонную расцветку. Большинству животных, изучавшихся на этот предмет, свойственна такая вариабельность признаков, считающихся адаптивными. Этот факт отражает интересную эволюционную проблему: почему оптимальный тип окраски не вытесняет остальные?

Э. Броди из Чикагского университета в своей статье, опубликованной в журнале «Nature», приводит возможное объяснение. Как он полагает, естественный отбор может благоприятствовать передаче из поколения в поколение нескольких различных генных комбинаций, сохраняя изменчивость по отдельным генам. Скажем, поведение животного может быть сопряжено с расцветкой или рисунком поверхности тела таким образом, что это благоприятствует нескольким различным сочетаниям особенностей окраски и поведения. Броди утверждает, что именно так действует естественный отбор у подвязочных змей.

Вообще у змей пятнистая окраска считается средством маскировки: этот рисунок чаще всего встречается у

тех змей, которые притворяются неподвижными, когда им что-либо угрожает. Продольные полосы, благодаря которым со стороны трудно судить о скорости движения их обладателя, характерны для змей, которые при угрозе уползают прочь. С целью установить, существует ли такая корреляция между окраской и поведением у подвязочных змей, Броди провел наблюдения почти за 500 особями. Только что вылупившееся животное он, отметив его окраску, слегка пугал и записывал, какой была защитная реакция: ускользало ли оно (и как быстро, насколько далеко), поворачивалось или же замирало на месте (такое поведение — тоже маскировка, оно сбивает преследователя с толку). Поведение и окраска оказались генетически сопряжены. У особей из одного помета были сходны и то, и другое. Притом полосатые змеи, как правило, уползали от опасности, тогда как пятнистые застывали в неподвижности.

Данные, полученные Броди, демонстрируют генетическую связь — предположительно адаптивную — между поведением и окраской в природной популяции в пределах одного вида, и тем самым показывают, что изменчивость в популяции может поддерживаться. По-видимому, нельзя рассматривать физические признаки и поведение как не зависящие друг от друга свойства, что нередко делается ради простоты анализа.



Хаос и фракталы в физиологии человека

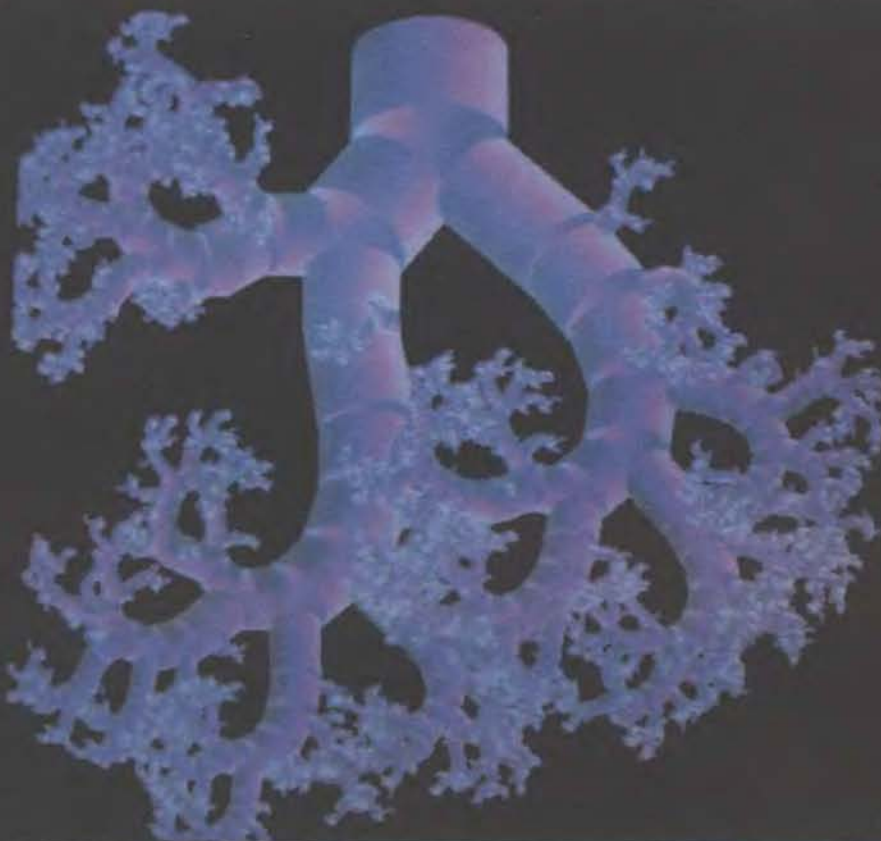
*Хаос в функционировании организма говорит о здоровье.
Периодичность может предвещать заболевание*

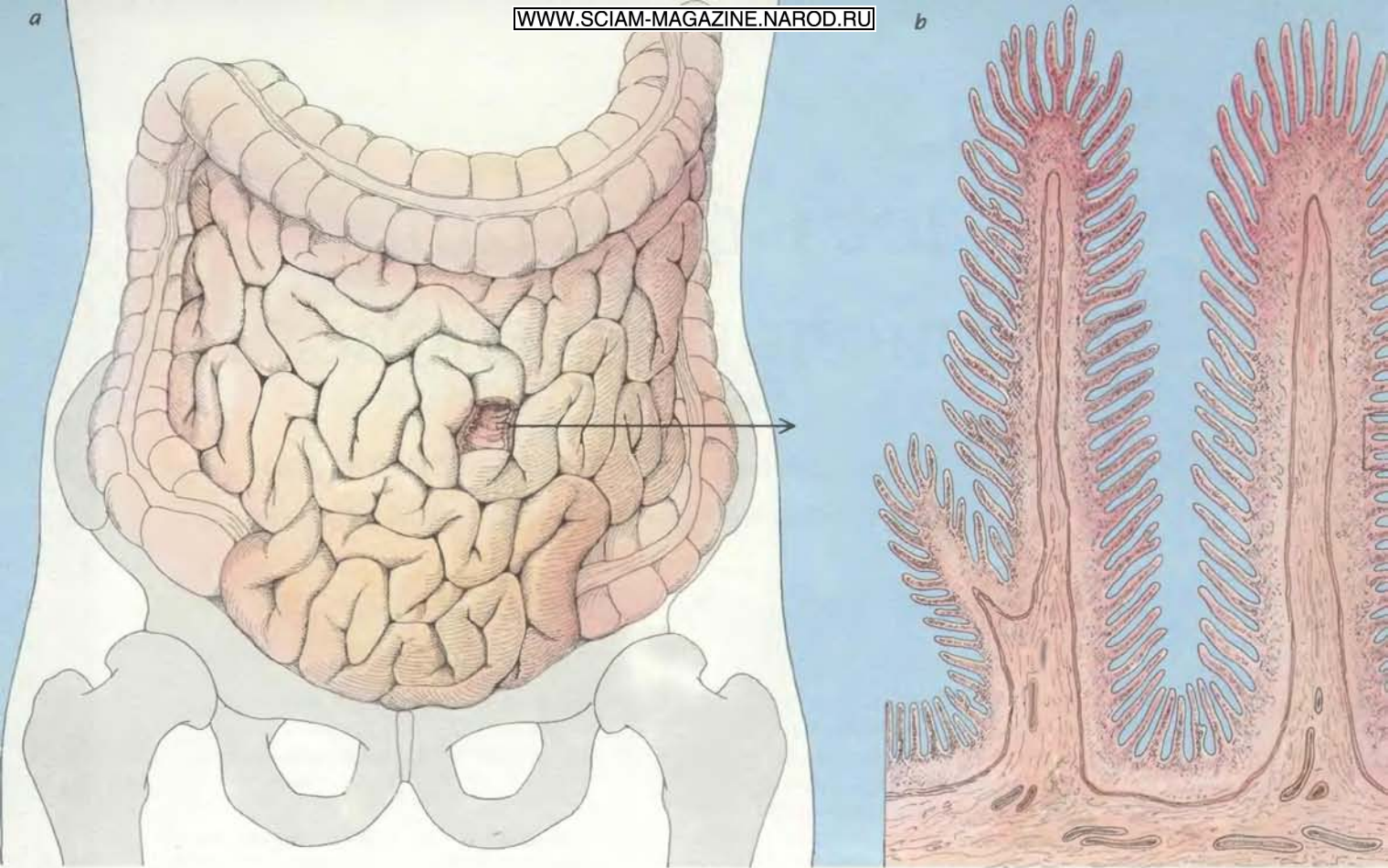
ЭРИ Л. ГОЛДБЕРГЕР, ДЕЙВИД Р. РИГНИ, БРЮС ДЖ. УЭСТ

СТУДЕНТ-медик, наблюдающий за ритмом сердечных сокращений, замечает, что иногда их частота резко меняется от минуты к минуте и от часа к часу. Врач, вводящий бронхоскоп в легкое, видит, как трахея разветвляется на все более мелкие дыхательные пути. У студента создается впечатление, что интервал между сокращениями сердечной мышцы изменяется хаотически. Врач же, возможно, догадывается, что сеть разветвляющихся дыхательных путей напоминает фрактальную структуру. Физиологи и врачи лишь недавно начали количественно анализировать хаотичность динамических процессов и фрактальные свойства структур. Эти исследования ставят под сомне-

ние традиционные принципы медицины и открывают новые факторы, которые могут служить ранними предвестниками заболевания.

ДЫХАТЕЛЬНЫЕ ПУТИ (слева), сформировавшиеся в ходе эволюции и эмбрионального развития, напоминают фракталы, порожденные компьютером (внизу). Бронхи и бронхиолы легкого (здесь резиновый муляж) образуют «дерево» с многочисленными разветвлениями. Мелкомасштабная структура дыхательных путей выглядит так же, как крупно масштабная. Количественный анализ ветвления дыхательных путей показал, что оно имеет фрактальную геометрию.





Согласно традиционной мудрости медицины, болезни и старение объясняются слишком большой нагрузкой на систему, которая, вообще говоря, является хорошо отрегулированным механизмом. Другими словами, нагрузки снижают степень упорядоченности, провоцируя неустойчивые реакции или нарушая нормальные периодические ритмы процессов в организме. В результате исследований, продолжавшихся в течение последних пяти лет, мы и наши коллеги установили, что сердце и другие физиологические системы могут действовать весьма беспорядочно, когда организм молод и здоров. В противоположность интуитивным представлениям более регулярное функционирование иногда сопряжено со старением и заболеваниями.

Нерегулярность и непредсказуемость являются важными характеристиками здоровья. А снижение изменчивости и возникновение ярко выраженной периодичности причинно связаны со многими заболеваниями. Руководствуясь этой концепцией, мы и другие физиологи искали периодические закономерности, которые могли бы служить индикаторами развивающихся заболеваний (в частности, сердечных). Кроме того, мы начали анализировать такие характеристики, как гибкость и прочность нерегулярных фрактальных структур, а также приспособляемость и «робастность» (устойчивость к возмущениям) си-

стем, демонстрирующих признаки хаотического поведения.

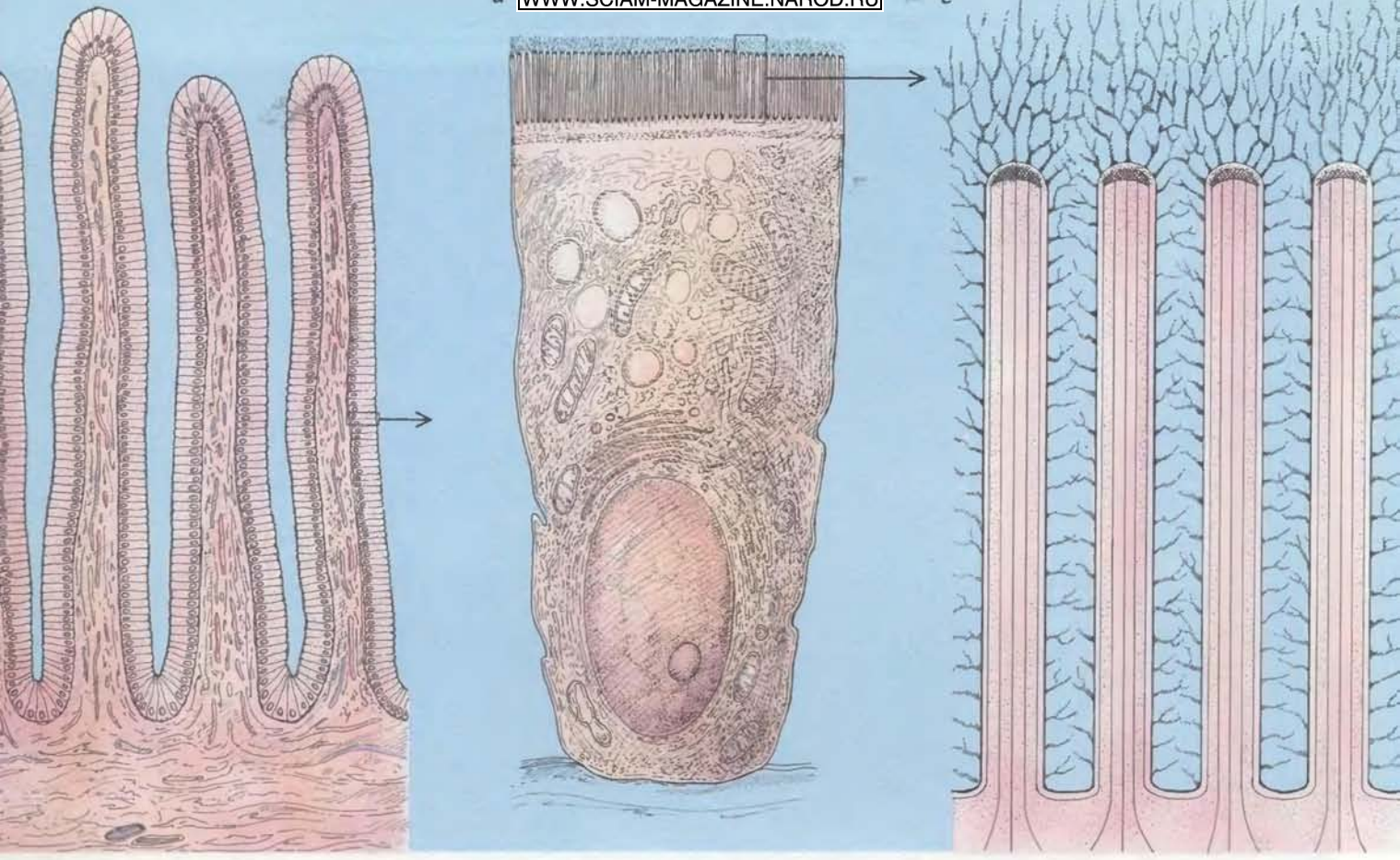
ХАОС и фракталы как объекты изучения связаны с дисциплиной, называемой нелинейной динамикой, в рамках которой рассматриваются системы, реагирующие на стимулы (внешние возмущения) нелинейным образом. Теория нелинейной динамики позволяет лучше понять такие явления, как эпидемии, кинетика определенных химических реакций, изменение погодных условий. В некоторых ситуациях детерминированные нелинейные системы (имеющие лишь несколько простых элементов) ведут себя неупорядоченно, находятся в состоянии, которое называется хаосом. Детерминистский хаос нелинейных динамических систем — это не то же самое, что хаос в энциклопедической интерпретации данного термина, в соответствии с которой хаос — это состояние полной дезорганизации или случайности событий. Нелинейный хаос относится к ограниченной случайности, которая, заметим, может также ассоциироваться с фрактальной геометрией.

Фрактальные структуры часто представляют собой след хаотических нелинейных динамических процессов. Где бы в природе в результате хаотического процесса ни формировался тот или иной элемент природной среды (берег моря, атмосфера, геологический разлом), повсюду с большой

вероятностью можно обнаружить фракталы (в контуре береговой линии, в форме облаков, в конфигурации скальных образований). И все же сначала математика фракталов развивалась независимо от нелинейной динамики, и даже сейчас связи между этими двумя дисциплинами еще не полностью установлены.

Фрактал, согласно Б. Мандельброту из Научно-исследовательского центра Т. Уотсона фирмы IBM, состоит из геометрических фрагментов различного размера и ориентации, но аналогичных по форме. Некоторые нейроны (нервные клетки), например, обладают фракталоподобной структурой. Если рассматривать эти нейроны через микроскоп с небольшим увеличением, то можно отчетливо увидеть отходящие от тела клетки асимметричные разветвленные отростки, называемые дендритами. При несколько большем увеличении можно наблюдать еще меньшие ответвления, отходящие от крупных ветвей. При еще более сильном увеличении обнаруживается новый уровень структуры: ответвления от ответвлений и т. д. На некотором уровне ветвление отростков нейрона заканчивается, но идеальные фракталы обладают бесконечно уменьшающейся структурой (см. статью: Л. Сандер. Фрактальный рост, «В мире науки», 1987, № 3).

Возможно, еще более примечательно то, что на каждом уровне масшта-

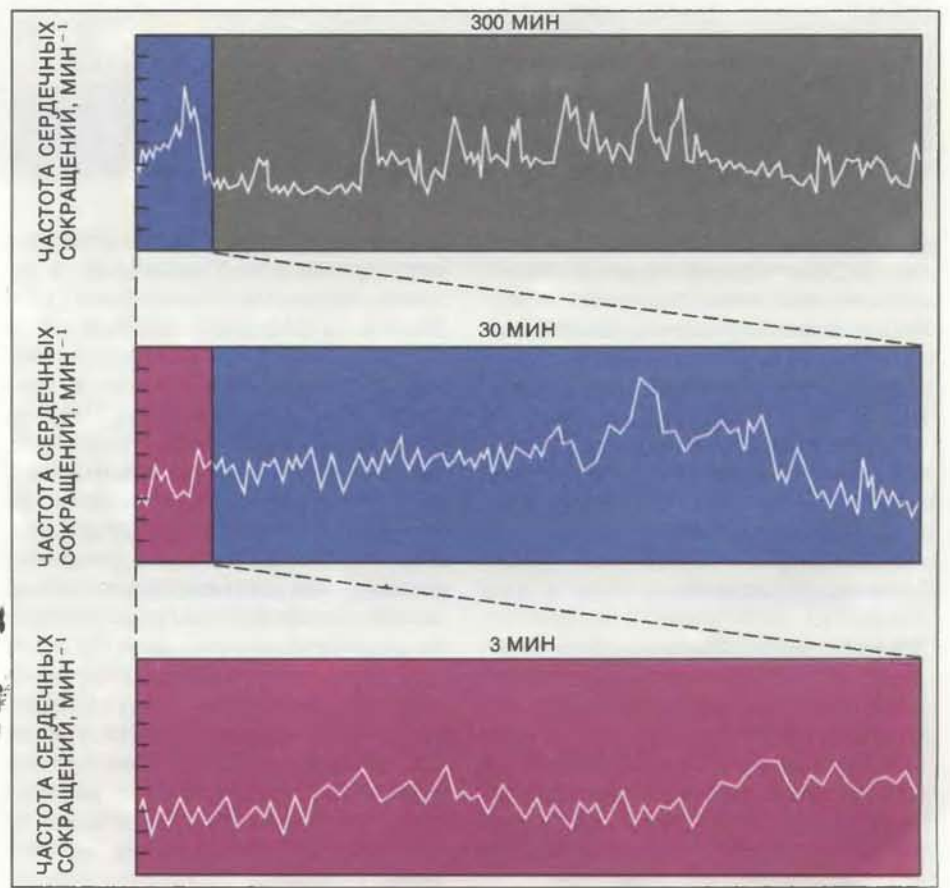


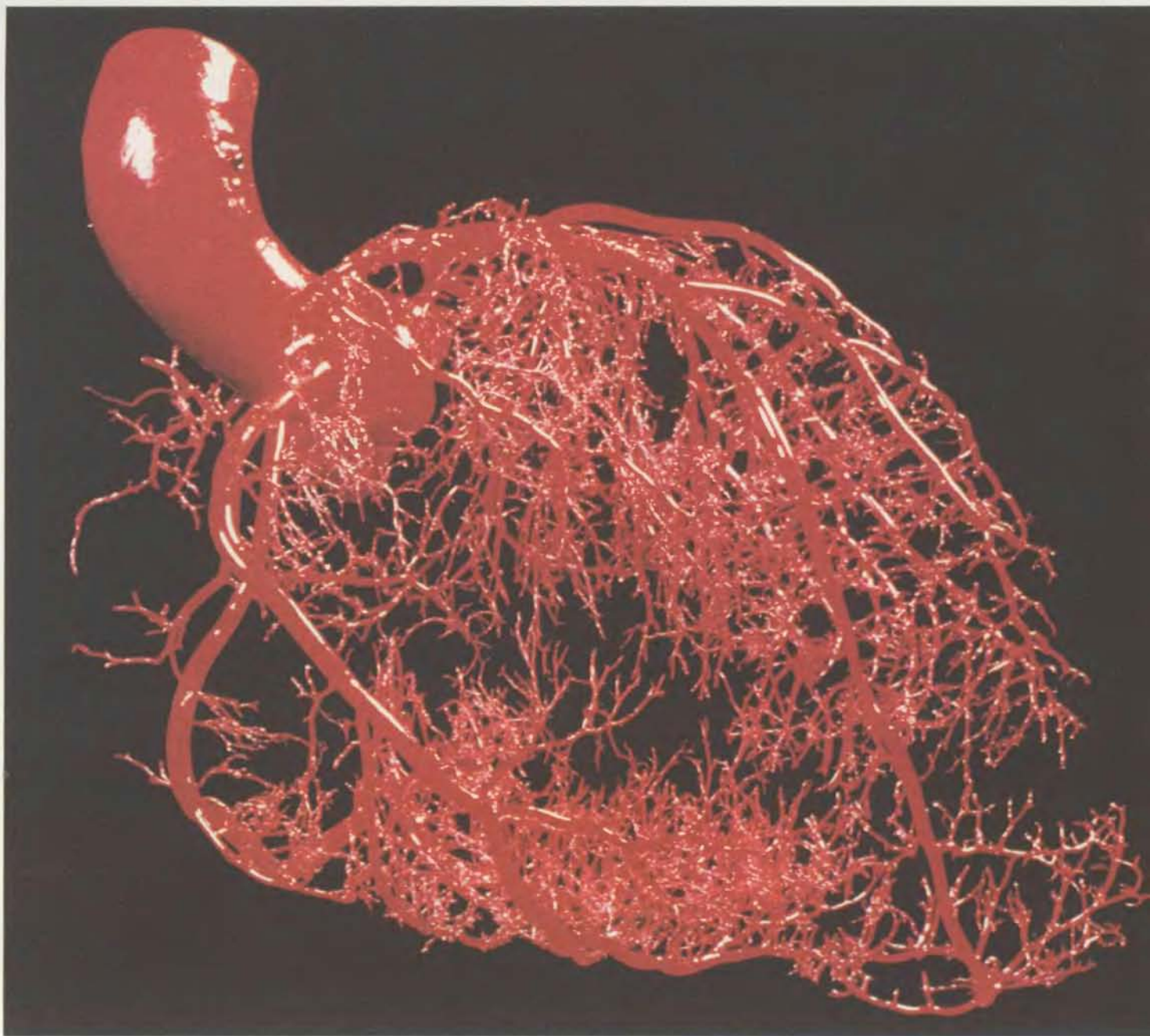
ба структура фрактала подобна (хотя и не обязательно идентична) структурам, наблюдаемым как в более крупных, так и в более мелких масштабах. Если взглянуть на две фотографии дендритов с разным увеличением, то, пожалуй, трудно решить, какая фотография соответствует большему, а какая меньшему увеличению. Все фракталы обладают этим внутренним свойством подобия на разных уровнях, которое можно назвать свойством «самоподобия».

Поскольку фрактал состоит из аналогичных друг другу структур из все более мелких деталей, его длина не поддается четкому определению. Если попытаться измерить длину фрактала с помощью линейки, то какие-то детали всегда окажутся меньше самого мелкого деления линейки. Поэтому с ростом разрешающей способности измерительного инструмента длина фрактала увеличивается.

Так как длина фрактала не является представительной величиной, математики вычисляют «размерность» фрактала, чтобы количественно оценить, как он заполняет пространство. Знакомое всем понятие размерности относится к классической, или евклидовой геометрии. Линия имеет размерность единица, круг имеет размерность два, сфера — три. Однако фракталы имеют не целую, а дробную размерность. В то время как гладкая евклидова линия заполняет в точности одномерное пространство,

САМОПОДОБИЕ системы означает, что структура или процесс выглядят одинаково в различных масштабах или на различных по продолжительности интервалах времени. Если рассматривать структуру тонкого кишечника при различном увеличении (вверху), то можно обнаружить сходство между большими и маленькими деталями, которое говорит о самоподобии. Когда сердечный ритм здорового человека регистрируется для интервалов 3, 30 и 300 минут (внизу), быстрые флуктуации выглядят почти также, как медленные.





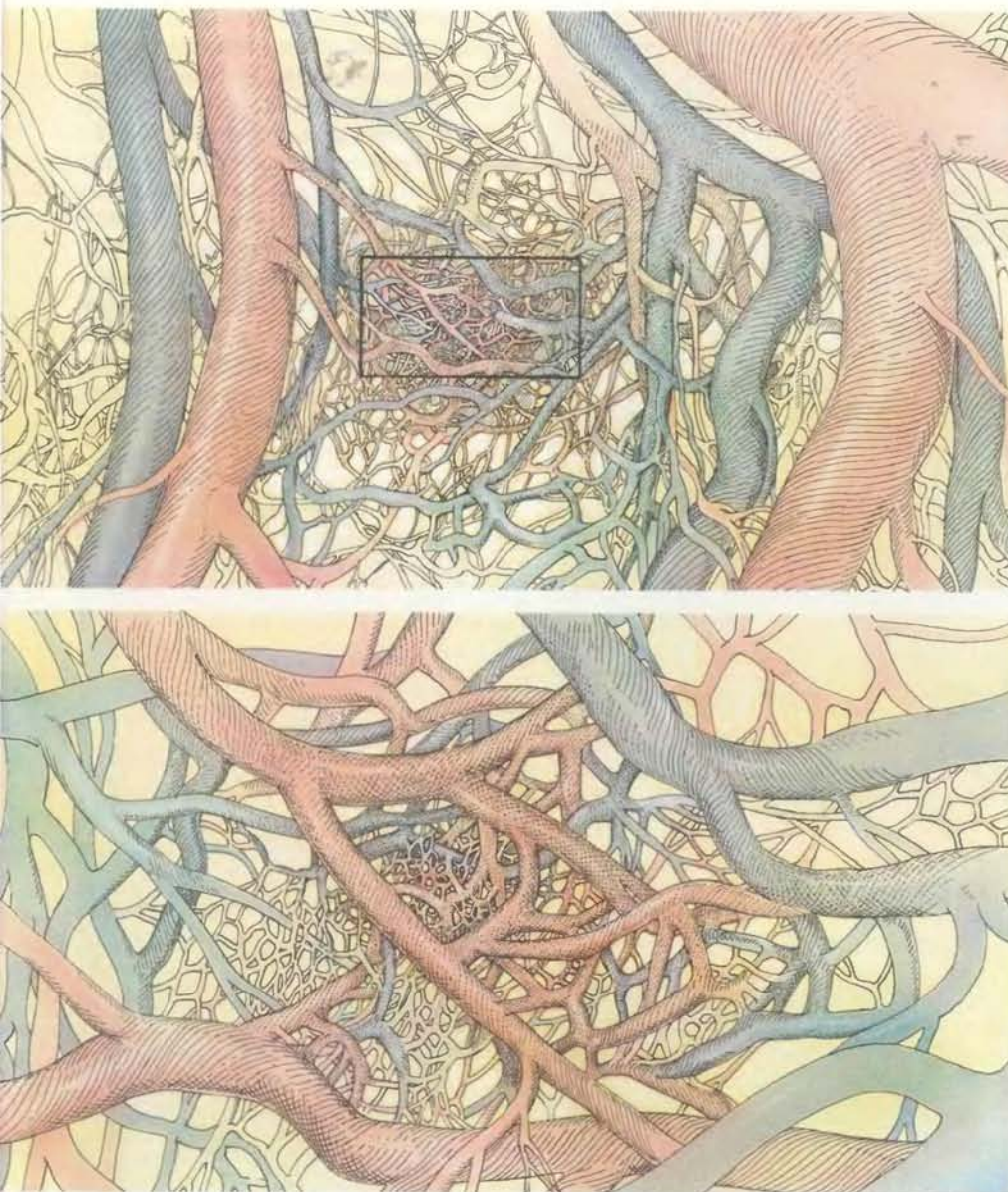
фрактальная линия выходит за пределы одномерного пространства, вторгаясь в двумерное. Фрактальная линия, например контур морского берега, имеет размерность между единицей и двойкой. Аналогичным образом фрактальная поверхность, горный рельеф, например, имеет размерность в пределах от двух до трех. Чем больше размерность фрактала, тем больше вероятность, что заданная область пространства содержит фрагмент этого фрактала.

В ЧЕЛОВЕЧЕСКОМ организме множество фракталоподобных образований — в структуре кровеносных сосудов и различных протоков, а также в нервной системе. Наиболее тщательно изучена фрактальная структура дыхательных путей, по которым воздух поступает в легкие. В 1962 г. Э. Уэйбел, Д. Гомес, а позже О. Раабе

и его коллеги измерили длину и диаметр трубок в этой нерегулярной системе. Недавно авторы этой статьи (Уэст и Голдбергер) в сотрудничестве с В. Бхаргавой и Т. Нельсоном из Калифорнийского университета в Сан-Диего повторно проанализировали такие измерения по следам легких человека и некоторых других видов млекопитающих. Мы пришли к заключению, что, несмотря на некоторые небольшие межвидовые различия, структура дыхательных путей всегда соответствует той, которая справедлива для размерностей фракталов.

Многие другие системы органов также представляются фрактальными, хотя их размерности еще не были количественно оценены. Фракталоподобные структуры играют важную роль в нормальной механической и электрической динамике сердца. Впервые, фракталоподобная структу-

ра сердечных артерий и вен осуществляет кровоснабжение сердечной мышцы. Дж. Бассингтуэйт и Х. фон Беек из Вашингтонского университета не так давно воспользовались фрактальной геометрией для объяснения аномалий в кровотоке к здоровому сердцу. Прекращение этого артериального потока может вызвать инфаркт миокарда (разрыв сердечной мышцы). Во-вторых, фракталоподобная структура соединительнотканых образований (сухожилий) в самом сердце прикрепляет митральный и трехстворчатый клапаны к мышцам. При разрыве этих тканей может произойти резкий отток крови от желудочков к предсердиям, за которым последует застойная сердечная недостаточность. И наконец, фрактальная организация прослеживается также в картине разветвления некоторых сердечных мышечных во-



КРОВЕНОСНЫЕ СОСУДЫ сердца имеют фракталоподобное ветвление. Крупные сосуды (слева; муляж), ветвятся на более мелкие сосуды (справа сверху), которые в свою очередь ветвятся на еще более мелкие сосудики (справа внизу).

локон и в системе Гиса, проводящей электрические сигналы от предсердий к желудочкам.

Хотя эти фрактальные анатомические структуры выполняют неодинаковые функции в различных органах, у них все же заметны некоторые общие анатомические и физиологические свойства. Фрактальные ответвления или складки значительно увеличивают площадь поверхности, необходимой для всасывания (в тонком кишечнике), распределения или сбора различных веществ (в кровеносных сосудах, желчных протоках и бронхах) и обработки информации (в нервной системе). Фрактальные структуры, отчасти благодаря своей избыточности и нерегулярности, являются робастными системами и хорошо противостоят повреждениям. Например, сердце способно продолжать работу при относительно небольшой

механической дисфункции, несмотря на значительные повреждения системы Гиса, проводящей необходимые для его функциональной деятельности электрические импульсы.

ФРАКТАЛЬНЫЕ структуры в человеческом организме являются результатом медленной динамики эмбрионального развития и эволюции. Мы высказали предположение, что эти процессы, подобно другим процессам, порождающим фрактальные структуры, демонстрируют детерминистский хаос. Недавно в ходе физиологических исследований были обнаружены другие явные примеры хаотической динамики в более коротких, доступных для эксперимента масштабах времени. В начале 80-х годов, когда исследователи начали применять теорию хаоса к физиологическим системам, они предполагали, что хаос

наиболее очевидно будет проявляться в больных или стареющих системах. Действительно, интуиция и устоявшиеся приемы медицинской практики давали для этого достаточно веские основания. Когда прослушиваешь сердце с помощью стетоскопа или щупаешь пульс на руке, ритм сердечных сокращений кажется устойчивым и неизменным. У человека в состоянии покоя сила пульсации и интервалы между ударами сердца кажутся приблизительно постоянными. Поэтому кардиологи традиционно описывают нормальную работу сердца в виде синусоидальной кривой.

Более тщательный анализ показывает, что у здоровых людей сердечный ритм подвержен значительным колебаниям, даже в состоянии покоя. У здоровых молодых людей частота пульса составляет в среднем около 60 ударов в минуту и может колебаться в пределах 20 ударов в минуту на протяжении каждых нескольких ударов. В течение дня частота сердечных сокращений может меняться от 40 до 180 ударов в минуту.

На протяжении по крайней мере пятидесяти лет врачи интерпретировали флуктуации сердечного ритма в концепции гомеостаза, что означает, что физиологические системы, как правило, ведут себя таким образом, чтобы уменьшать изменения и поддерживать постоянство внутренних функций. Согласно этой концепции, разработанной У. Кэнноном из Гарвардского университета, любая физиологическая переменная, включая частоту сердечных сокращений, должна после возмущения возвращаться к величине, соответствующей состоянию устойчивого равновесия. Согласно концепции гомеостаза, вариации сердечного ритма — это просто временные ответные реакции на флуктуации в окружающей среде. В рамках этой концепции разумно полагать, что во время заболевания или в результате старения организму становится труднее поддерживать постоянный сердечный ритм и амплитуда его вариаций возрастает.

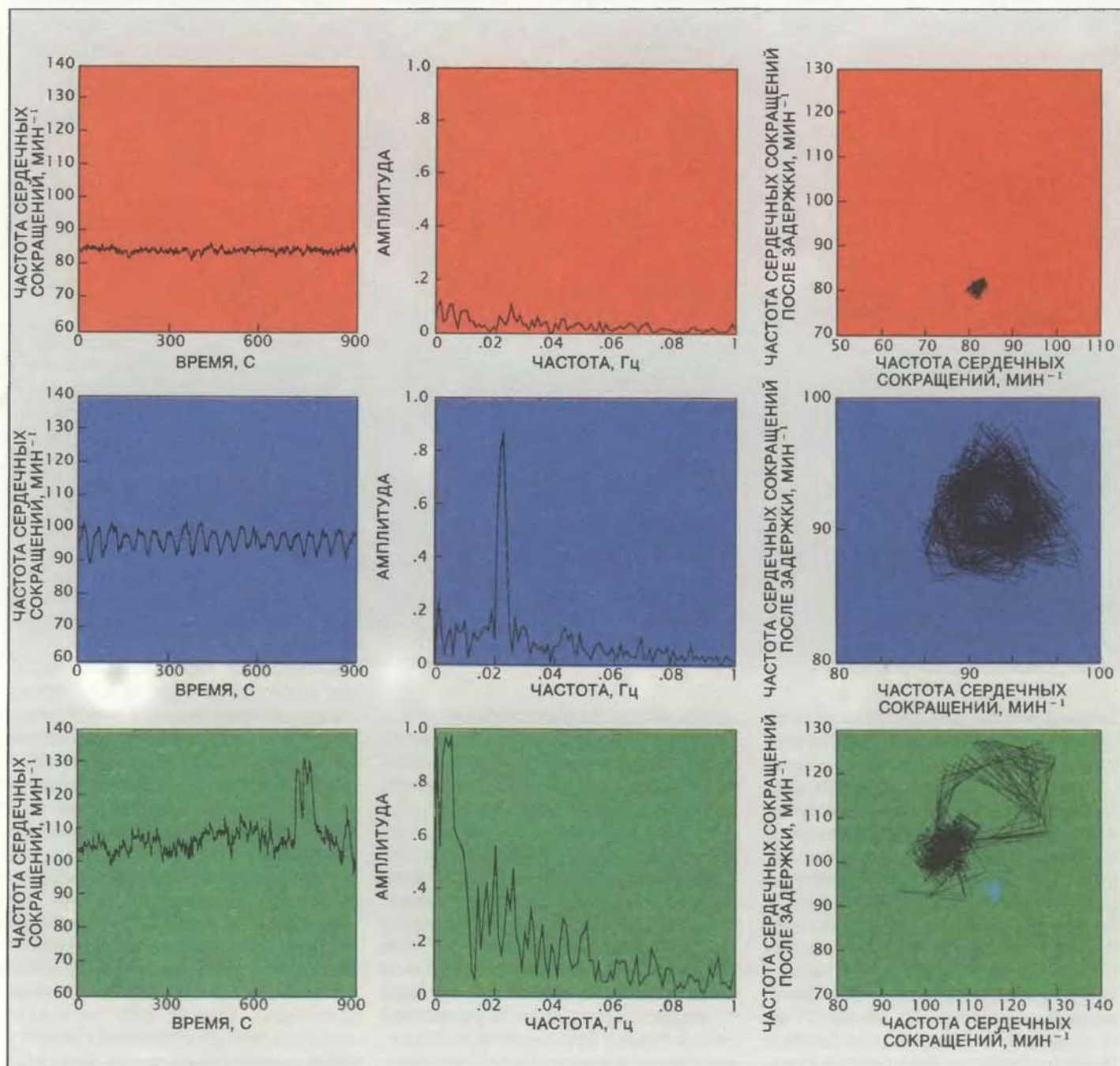
Совсем другая картина обнаруживается при тщательной регистрации нормального сердечного ритма удар за ударом в течение суток. Этот график выглядит «рваным», нерегулярным и на первый взгляд совершенно случайным. Однако если отложить данные о частоте сердечных сокращений в нескольких временных масштабах, то выявляется некая закономерность. Если проанализировать поведение кривой на участке в несколько часов, то на графике можно найти более быстрые флуктуации, диапазон и последовательность которых похожи на соответствующие характеристики

исходного графика, охватывающего более длительный интервал времени. В еще более мелком временном масштабе (минуты) можно обнаружить еще более быстрые флуктуации, которые опять-таки напоминают флуктуации на исходном графике. Флуктуации ритма в различных масштабах времени выглядят подобными самим себе точно так же, как ветви геометрического фрактала. Это наблюдение свидетельствует о том, что механизм, управляющий сердечным ритмом, по сути своей может быть хаотическим. Другими словами, частота сердечных

сокращений, вместо того чтобы стремиться к гомеостатической стабильной величине, может претерпевать значительные флуктуации даже в отсутствие флуктуаций во внешних стимулах.

ЧТОБЫ выяснить, являются ли вариации частоты сердечных сокращений хаотическими или периодическими, нужно вычислить спектр Фурье по временному графику показаний датчика. Спектр Фурье любой волновой функции (в частности, графика сердечных сокращений) позволяет

обнаружить присутствие периодических компонент. Если, например, график показывает ритм, в точности равный одному удару в секунду, то у спектра будет резкий пик на частоте, равной одному герцу. В то же время, график, отражающий хаотический характер сердечного ритма, порождает спектр, который либо покажет широкие пики, либо вообще отсутствие ярко выраженных пиков. Спектральный анализ нормальных вариаций частоты сердечных сокращений на самом деле обнаруживает широкий спектр, свидетельствующий о хаосе.



СЕРДЕЧНЫЙ РИТМ показан в виде временной развертки (слева), спектров Фурье (в центре) и в фазово-пространственном представлении (справа). За 13 часов до остановки сердца (вверху) сердечный ритм почти стабилен, что отражается плоским спектром и аттрактором в виде точки. За 8 суток до внезапной сердечной смерти (в середине) сердечный ритм характеризуется

выраженной периодичностью: в центральной части спектра имеется резкий пик, а в фазовом пространстве получается предельный цикл. У здорового человека (внизу) сердечный ритм характеризуется «хаосом»: спектр широкий, а фазовая диаграмма напоминает странный аттрактор.

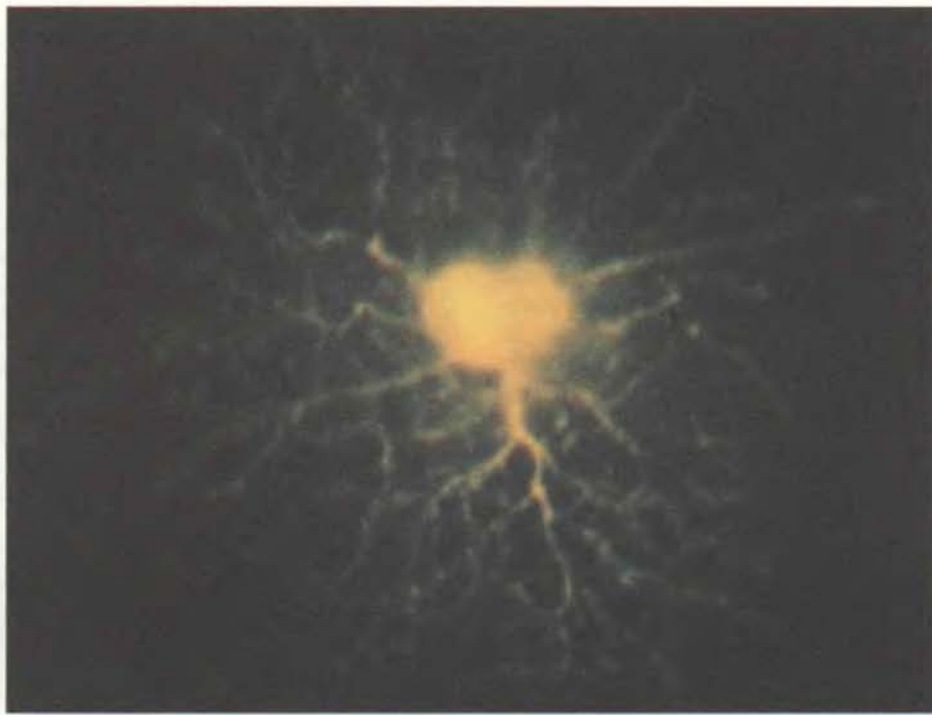
Другим инструментом динамического анализа сложных нелинейных систем является представление их поведения в «фазовом пространстве». При этом прослеживаются изменения во времени значений, принимаемых независимыми переменными. Число и тип независимых переменных зависят от свойств системы (см. статью: Дж. Кратчфилд, Дж. Фармер, Н. Паккард, Р. Шоу. Хаос, «В мире науки», 1987, № 2). Для многих сложных систем идентифицировать и измерить все независимые переменные просто невозможно. В таких случаях представление в фазовом пространстве можно получить, воспользовавшись методом карт задержки. В простейшей такой карте каждая точка соответствует значению некоторой переменной в заданный момент времени, взятому относительно значения той же переменной после фиксированного времени задержки. Последовательность этих точек для последовательных моментов времени образует кривую, или траекторию, которая описывает эволюцию системы.

Чтобы установить тип динамики системы (хаотический или периодический), нужно определить траекторию для многих различных исходных условий. Затем отыскивается аттрактор: область фазового пространства, которая притягивает к себе траектории. Простейшим аттрактором является фиксированная точка. Она описывает систему, такую, например, как маятник, которая эволюционирует к одному-единственному состоянию. В фазовом пространстве вблизи аттрактора в виде фиксированной точки все траектории сходятся к одной точке.

Другим, самым сложным аттрактором является предельный цикл. Он соответствует системе (такой, как идеальный, не имеющий трения маятник), который стремится к периодическому состоянию. В фазовом пространстве, вблизи предельного цикла, траектории следуют по регулярированной кривой, окружности или эллипсу.

Другие аттракторы называются просто «странными». Они описывают системы, не являющиеся ни статическими, ни периодическими. В фазовом пространстве, вблизи странного аттрактора, две траектории, начавшиеся при почти идентичных исходных условиях, уже через короткое время расходятся, а через значительное время будут совершенно отличаться друг от друга. Система, описываемая странным аттрактором, хаотична.

НЕДАВНО мы проанализировали представление нормального сердечного ритма в фазовом пространстве. Полученный результат был ближе



НЕЙРОНЫ — пример фрактальной структуры. От тела клетки отходят отростки, называемые дендритами, которые ветвятся на все более и более тонкие волокна. Возможно, эта структура связана с элементом хаоса в нервной системе.

к странному аттрактору, чем к периодическому, характерному для регулярированного процесса. Это еще одно свидетельство того, что динамика нормального сердечного ритма может быть хаотической.

Хаосогенный механизм в наблюдаемых вариациях биения здорового сердца, вероятно, кроется в нервной системе. Синусный узел, являющийся водителем ритма сердца, получает сигналы от вегетативной (неконтролируемой сознанием) нервной системы, которая подразделяется на парасимпатическую и симпатическую. Стимуляция парасимпатических нервных волокон уменьшает частоту импульсации нервных клеток синусного узла, а стимуляция симпатических нервов имеет противоположный эффект. В результате этих взаимно противоположных воздействий на водителя ритма сердца и возникают флуктуации частоты сердечных сокращений, наблюдающиеся у здорового человека. Недавно ряд исследователей, в частности Р. Коен и его коллеги из Массачусетского технологического института, экспериментально установили что вариации сердечного ритма уменьшаются после трансплантации сердца, при которой нервные волокна вегетативной системы оказываются отрезанными.

Результаты других исследований, проведенных в последнее время в нескольких лабораториях, свидетельствуют, что хаос является нормальным свойством многих компонентов нервной системы. Г. Майер-Кресс из Лос-Аламосской национальной лабо-

ратории, П. Рэпп из Пенсильванского медицинского колледжа, а также А. Баблюяц и А. Детекс из Брюссельского свободного университета проанализировали электроэнцефалограммы здоровых людей и обнаружили признаки хаоса в нервной системе. О. Ресслер и его коллеги из Тюбингенского университета в ФРГ также обнаружили признаки хаоса в компонентах нервной системы, управляющих секрецией гормонов. Они проанализировали временные изменения в содержании гормонов в крови у здоровых людей и установили наличие явных хаотических флуктуаций.

Недавно проведены исследования, в которых имитировались взаимодействия между нервными клетками с целью выяснить, каким образом может возникать хаос. У. Фримен из Калифорнийского университета в Беркли продемонстрировал, что хаос может порождаться в модели системы обоняния. В модели учитываются обратные связи между «нейронами» и задержка во времени реакции. Еще раньше Л. Гласс и М. Маккей из Университета Макгилла установили важную роль временных задержек в порождении хаоса.

Почему же сердечному ритму и другим процессам в организме, управляемым нервной системой, свойственна хаотическая динамика? Такая динамика дает много функциональных преимуществ. Хаотические системы способны работать в широком диапазоне условий и потому легко адаптируются к изменениям. Эта пластич-

ность позволяет системам удовлетворять требованиям непредсказуемой и изменяющейся внешней среды.

При многих патологических состояниях проявляется четко выраженная периодичность, сопровождающаяся потерей изменчивости. Одни из первых свидетельств того, что даже умирающее сердце может демонстрировать периодичность, были получены с помощью анализа Фурье электрокардиографических волновых форм во время желудочковой парасимпатической тахикардии — фибрилляции желудочков, обусловливающей чрезвычайно учащенный ритм и приводящей к остановке сердца. В середине 80-х годов Р. Айдекер и его коллеги с медицинского факультета Университета Дьюка зарегистрировали волновые функции, связанные с фибрилляцией внутренней части желудочков сердца у собаки. Они пришли к выводу, что фибрилляционные явления внутри сердца оказались намного более периодичными, чем представлялось до этого.

В 1988 г. авторы этой статьи (Голдбергер и Ригни) провели ретроспективное изучение амбулаторных электрокардиограмм пациентов, страдавших тяжелыми заболеваниями сердца. Мы установили, что характеристики сердечного ритма у этих людей часто становились менее подверженными вариациям по сравнению с нормой иногда за несколько минут, иногда за несколько месяцев перед внезапной остановкой сердца. В некоторых случаях уменьшались вариации, наблюдавшиеся в короткие промежутки времени, от удара к удару; в других — появлялись, а затем резко пропадали ярко выраженные периодические колебания сердечного ритма.

В нервной системе тоже могут наблюдаться потеря изменчивости и появление патологических периодичностей при таких заболеваниях, как эпилепсия, паркинсонизм и маниакально-депрессивный психоз. В то время как при нормальных условиях количество лейкоцитов в крови у здорового человека изменяется хаотически ото дня ко дню, в некоторых случаях при лейкозах оно колеблется периодически.

Периодические закономерности при заболеваниях и явно хаотическое «поведение» здорового организма не означают, что все патологические состояния связаны с повышенной регулярностью. В некоторых случаях при сердечной аритмии пульс изменяется настолько хаотически, что пациенты жалуются на «сердцебиение». Иногда за этими симптомами кроются колебания, которые хотя и кажутся нерегулярными, в действительности при тщательном изучении оказываются

периодическими. При других аритмиях пульс на самом деле ведет себя непредсказуемо хаотически. Однако ни при одном из этих нарушений не было обнаружено признаков нелинейного хаоса, хотя в рамках словесного описания пульс можно охарактеризовать как «хаотический».

ФИЗИОЛОГИЯ может оказаться одной из богатейших лабораторий для изучения фракталов и хаоса, так же как и других типов нелинейной

динамики. Физиологам еще предстоит лучше понять то, каким образом процессы развития приводят к возникновению фрактальных структур и как динамические процессы в организме порождают наблюдаемые признаки хаоса. В недалеком будущем благодаря изучению фракталов и хаоса мы, возможно, получим более тонкие методы анализа различных нарушений функций организма при старении, заболеваниях и употреблении токсичных лекарственных препаратов.

Наука и общество

Плантации антители

ВОЛНЫ прибоя на Калифорнийском побережье в Ла-Хойя, где находится Научно-исследовательский институт клиники Скриппса, не поддерживают сравнения с волнением в научных и деловых кругах, поднявшимся недавно в связи с новыми биотехнологическими достижениями сотрудников этого учреждения. В ноябре прошлого года А. Хайатт и его коллеги сообщили в журнале «Nature», что им удалось получить антители в растениях табака. Это совершенно оригинальный подход, ведь в естественных условиях только животные способны производить антители. Через месяц Р. Лернер и У. Хьюз с коллегами опубликовали в журнале «Science» описание метода сравнительно быстрого получения и скрининга моноклональных антители при помощи бактерий.

Эти результаты имеют огромное практическое значение, в частности, для фармацевтики. Моноклональные антители обладают способностью к избирательному связыванию со специфическими молекулярными мишенями. Это их свойство используется в лекарственных препаратах, обеспечивающих прицельную доставку действующего начала к желаемому месту в организме. Новые методы получения антители, быть может, позволили бы снизить стоимость препаратов моноклональных антители.

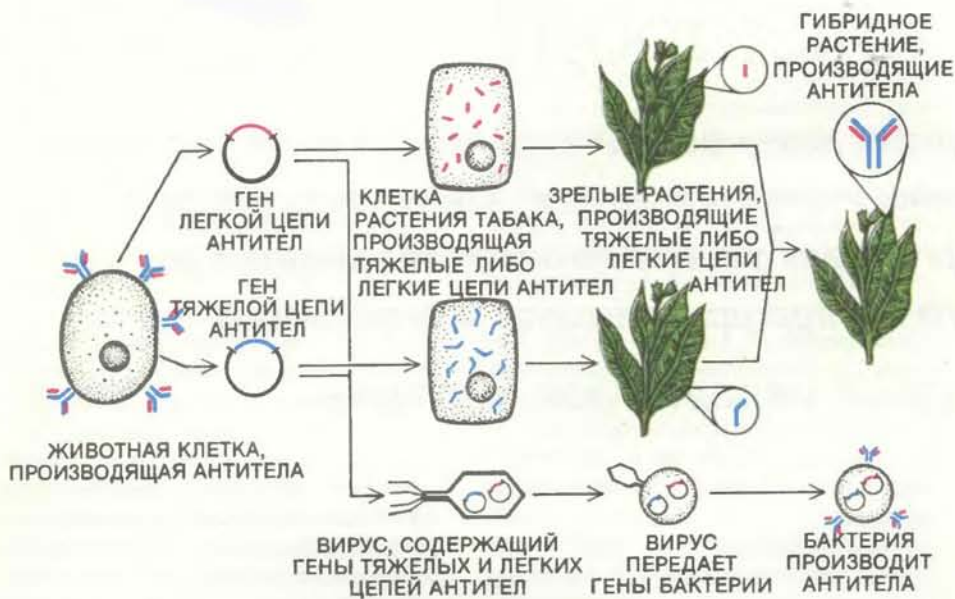
Однако путь из лабораторий на рынок может оказаться потруднее, чем сочинение броских заголовков в прессе. Научная общественность с энтузиазмом приняла сообщение Хайатта об успешном введении генов антители в растения табака. Бизнесмены же реагировали более умеренно. Компания Johnson and Johnson, которая финансирует медико-биологические исследования при клинике Скриппса и торгует рядом препаратов, основанных на моноклональных антителях, уже

отклонила предложение выдать лицензию на открытие Хайатта. В фирме PPG Industries этот вопрос пока еще рассматривается.

Представители Johnson and Johnson заявили, что подобные работы не вписываются в направления научных исследований, ведущихся сейчас в этой фирме. По мнению некоторых производителей моноклональных антители, метод их получения с помощью растений еще слишком далек от коммерческой разработки и вряд ли решит производственные проблемы.

Хайатт указывает три области потенциального применения антители, получаемых с помощью растений. Такие антители в составе лекарственных препаратов с меньшей вероятностью будут возбуждать иммунный ответ в организме человека по сравнению с антителями, получаемыми обычным способом — с помощью мышиных клеток. Сельскохозяйственные культуры, содержащие антители против патогенов, должны быть более устойчивы к заболеваниям. Наконец, растения с антителями против токсичных веществ, загрязняющих окружающую среду, можно использовать для извлечения таких соединений из грунтовых вод.

Хайатт также отмечает финансовые выгоды. В настоящее время моноклональные антители получают из культур специальных клеток, называемых гибридами, которые представляют собой продукт слияния мышиных В-лимфоцитов (клеток иммунной системы, производящих антители) и опухолевых клеток (обладающих способностью к неограниченному размножению). Поскольку выход антители при этом невелик, стоимость их высока — как правило, около 5 тыс. долл. за 1 г. Хайатт, экстраполировав свои данные по выходу белка, оценил стоимость «растительных» антители в 10 центов за 1 г. Правда, он признает, что его расчеты весь-



МОНОКЛОНАЛЬНЫЕ АНТИТЕЛА предлагается получать по-новому. Молекула антитела состоит из полипептидных цепей двух типов — «легких» (красные) и «тяжелых» (синие), кодируемых разными генами. Один из новых методов состоит в том, что изолированные гены легких и тяжелых цепей вводят по отдельности в клетки табака. Из этих клеток выращивают целое растение. Затем скрещивают растения, несущие гены разных цепей. Гибриды производят оба типа цепей, из которых образуются полные молекулы антител. Второй метод использует бактериальные клетки. Гены легких и тяжелых цепей попарно вводят в вирусы и этими вирусами заражают бактерий, которые начинают производить антитела

ма упрощены; в частности, не учитывалась стоимость очистки антител, выделенных из растений. Кроме того, высказывалось и другое сомнение в дешевизне таких антител: получить несколько граммов, может быть, и недорого, но при производстве больших количеств стоимость единицы продукции существенно возрастает.

«Нет никакой нужды обращаться к растениям, чтобы удешевить моноклональные антитела», — убежден Х. Бергер, руководящий научными исследованиями и разработками в фирме Centocor в Малверне (шт. Пенсильвания), производящей антитела. Эта точка зрения выглядит особенно разумной в свете работы Лернера и его коллег. Получение антител с помощью бактерий, вообще, не новость. Но метод Лернера являет собой новый подход. Он выделил и копировал множество различных генов компонентов антител из клеток иммунной системы, а затем соединил эти гены попарно случайным образом. Полученные комбинации генов были включены в состав вирусных частиц и такими вирусами заразили бактерий. Тем самым гены антител оказались в бактериальных клетках, которые стали синтезировать антитела.

При работе с гибридами на синтез и скрининг нескольких тысяч антител в поисках молекул с нужной специфичностью могут уйти годы. А при получении антител по методу Лернера синтез и скрининг миллионов антител занимают менее недели. Автор считает, что его метод позволит производить антитела, происходящие из иммунной системы человека, что повысит безопасность и эффективность лекарственных препаратов.

Фирма Centocor уже производит человеческие антитела, но Лернер полагает, что его метод сулит большие выгоды. Подход Лернера применяется в компании Stratagene (образовавшейся 5 лет назад на базе научного центра в Ла-Хойя). Один из ведущих специалистов компании Дж. Сорж, являющийся соавтором Лернера в разработке нового метода, сообщает, что фирма Stratagene (филиал Stratagene) будет снабжать лаборатории наборами реагентов и лицензирует технологию.

Хайатт продолжает свои исследования. Если ему удастся убедительно продемонстрировать коммерческие преимущества получения антител с помощью растений, они могут дать хороший урожай.

Вниманию
читателей!

С. Гилберт
**БИОЛОГИЯ
РАЗВИТИЯ**

В 3-х томах
Перевод с английского

Фундаментальное учебное и справочное пособие по относительно новой быстроразвивающейся дисциплине — биологии развития. На русском языке выходит в 3-х томах. В томе 1 описаны оплодотворение, дробление, гаструляция и раннее развитие позвоночных. Том 2 посвящен вопросам клеточной дифференцировки. В томе 3 рассматриваются клеточные взаимодействия в процессе развития.

Из рецензий: «Единственное в современной литературе и в то же время относительно популярное руководство по биологии развития» (проф. Т. А. Детлаф). «Это во многих отношениях уникальное руководство будет очень полезно не только для студентов-биологов, но и для широкого круга преподавателей и исследователей в области биологии развития и смежных с нею дисциплин» (докт. биол. наук Г. М. Игнатьева).

Для эмбриологов, молекулярных биологов, генетиков, цитологов и других специалистов-биологов, а также студентов биологических факультетов.

1991 г. 96 л. Цена 8 р. 60 к.
за комплект.

Издательство «Мир» выпускает в
1991 г. подписным изданием
Подписка начнется в мае—июне
1990 г.



Как растения производят кислород?

Биохимический механизм, называемый водоокисляющей системой, позволяет растениям и некоторым бактериям использовать солнечную энергию для расщепления молекул воды до газообразного кислорода, протонов и электронов

ГОВИНДЖИ, УИЛЛЬЯМ ДЖ. КОЛЕМАН

ПОСКОЛЬКУ молекулярный кислород необходим для жизнедеятельности человека, мы почти не задумываемся над тем, что примитивные организмы существовали без кислорода в течение сотен миллионов лет. Для таких ранних анаэробных организмов кислород был токсичным веществом, которое способно захватывать электроны из молекул в их клетках. Может показаться удивительным, что многие из этих анаэробных организмов были способны к особой форме фотосинтеза, поскольку фотосинтез обычно представляют как процесс, в котором создается весь атмосферный кислород. Механизм выделения кислорода при фотосинтезе до конца не ясен, однако некоторые его детали в настоящее время выяснены. Молекулы кислорода выделяются в результате функционирования системы окисления воды ("water-oxidizing clock"), действующей с четырехтактной периодичностью.

Основная цель фотосинтеза — обеспечение возможности для клеток превращать углекислый газ (диоксид углерода) в углеводы за счет поглощенной энергии Солнца. Продуцирование кислорода не является решающим фактором, поэтому анаэробные организмы могут участвовать в фотосинтезе без его выделения.

Если кислород токсичен, то почему и как зеленые растения и их предки начали продуцировать его при фотосинтезе? Ответ на первый вопрос затрагивает энергетический метаболизм. Солнечный свет дает энергию, которая обеспечивает жизнь на Земле, но клетки не могут запастись или использовать эту световую энергию непосредственно; она должна быть превращена в более удобную, химическую форму. Электроны выполняют роль "денег" в процессах превращения биологической энергии: многие энергетические реакции в клетках могут быть представлены как процессы переноса

(транспорта) электронов между молекулами.

Таким образом, для того чтобы жить, клеткам необходим источник электронов. Фотосинтезирующие бактерии, не выделяющие кислород, обычно окисляют (т. е. используют как источник электронов) органические кислоты или простые неорганические соединения. Эти вещества встречаются в природе сравнительно редко, поэтому бактерии, не выделяющие кислород, в настоящее время существуют только в серных источниках, на дне озер и в других подобных местах, где содержится достаточно таких соединений.

Однако приблизительно 3 млрд. лет назад некоторые фотосинтезирующие организмы научились жить практически в любых условиях, используя электроны молекул воды — одного из самых распространенных веществ. Они приобрели способность расщеплять две молекулы воды (H_2O) на электроны (e^-), протоны (H^+) или ядро водорода) и молекулярный кислород (O_2). Электроны и протоны необходимы для энергетических процессов, а O_2 — это просто побочный продукт. Приобретение способности к выделению молекулярного кислорода стало достижением фотосинтезирующих организмов не из-за особого значения самого O_2 для них, а потому что фотосинтезирующие организмы могли теперь использовать воду и завоевывать новые, более разнообразные места обитания.

Каким образом клетки продуцируют кислород — это намного более сложный вопрос. Для развития способности использовать воду в качестве источника электронов потребовались некоторые изменения в установившемся фотосинтетическом механизме. Молекулы воды с трудом отдают электроны, поэтому относительно слабый окислитель (молекула, принимающая электроны), который фотосинтезирующие бактерии, не вы-

деляющие кислород, способны создать под действием солнечного света, необходимо было заменить на более сильный. Но даже при этом условии энергии одного фотона (кванта) видимого света недостаточно для расщепления молекулы воды. Проблема, по-видимому, может быть решена, если использовать энергию четырех фотонов для расщепления двух молекул воды; при этом должны выделяться четыре электрона и четыре протона. Однако такой механизм связан с новой трудностью, поскольку фотохимический аппарат может одновременно "манипулировать" только одним электроном.

Для решения этой проблемы у фотосинтезирующих клеток появился специальный катализатор расщепления воды, который мы назвали водоокисляющей системой. Это биохимический "храповик", предназначенный для стабилизации промежуточных стадий реакции расщепления воды, в результате чего электроны могут переноситься по одному. За последние годы получено много новых данных о функционировании водоокисляющей системы и ее месте в общем процессе фотосинтеза.

У ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ первичные процессы фотосинтеза происходят в специальных тилакоидных мембранах внутри клеточных оргanelл, называемых хлоропластами. В тилакоидные мембраны погружены

КИСЛОРОДНЫЕ ПУЗЫРЬКИ на листьях растения, погруженного в воду, показывают, что идет процесс фотосинтеза. Кислород (O_2) — это продукт индуцируемой светом реакции, в которой две молекулы воды (H_2O) отдают четыре электрона (e^-) и четыре протона (H^+). Фотосинтезирующие бактерии, не выделяющие кислород, не могут расщеплять молекулы воды и должны получать необходимые им электроны из других источников.

различные белковые комплексы, каждый из которых выполняет определенную функцию в полной фотосинтетической реакции. Генерация O_2 полностью осуществляется в комплексе белков и пигментов, известном, как фотосистема II, который найден в клетках всех фотосинтезирующих организмов, выделяющих кислород: цианобактерий, водорослей и других растений, содержащих хлорофилл.

Основной задачей фотосистемы II является ее функционирование в качестве крошечного конденсатора, запасующего энергию при разделении и стабилизации положительных и отрицательных зарядов по обе стороны тилакоидной мембраны. Для этого множество специальных пигментов фотосистемы II поглощают фотон и эффективно превращают эту световую энергию в энергию разделенных зарядов.

Для согласования движений в сложном процессе превращения энергии необходимо совместное действие многих специальных полипептидов и

белков. Полипептиды — это линейные полимеры аминокислот, расположенных в определенном порядке; часто они включают много сотен аминокислот. Белки состоят из одного или нескольких полипептидов, упакованных в сложную упорядоченную структуру.

Перенос электронов в фотосистеме II осуществляется на так называемом реакционном центре. Основными структурными компонентами реакционного центра являются крупные полипептиды, называемые D1 и D2, и белок меньших размеров — цитохром b_{559} . Белок с молекулярной массой 33 килодальтона и по крайней мере два других белка разной массы связаны с внутренней поверхностью тилакоидной мембраны. Эти полипептиды играют роль стабилизирующего матрикса для пигментов и других молекул фотосистемы II, осуществляющих реакции переноса электронов и выделение кислорода. С фотосистемой II ассоциированы и другие небольшие белки, но их функции пока еще не известны. Несколько органических и неорганических ионов (марганца, хло-

ра, кальция, железа и бикарбонат-иона) участвуют в катализе транспорта электронов, поддержании структуры белка или регуляции активности фотосистемы.

Кроме того, большое число “антенных” молекул хлорофилла собирают световую энергию и с высокой эффективностью направляют ее в реакционный центр. С каждым реакционным центром связаны несколько сотен антенных молекул этого пигмента.

СТРУКТУРА фотосистемы II очень сложна, поэтому значительные успехи в ее понимании были достигнуты путем изучения аналогичных комплексов из фотосинтезирующих бактерий. Работа И. Дейзенхофера, Р. Хуберта и Х. Михеля, которые определили структуру фотосинтетического реакционного центра из бактерии *Rhodospseudomonas viridis*, была удостоена Нобелевской премии по химии 1988 г.

Между фотосинтетическими комплексами бактерий и зеленых растений существует много различий. Как

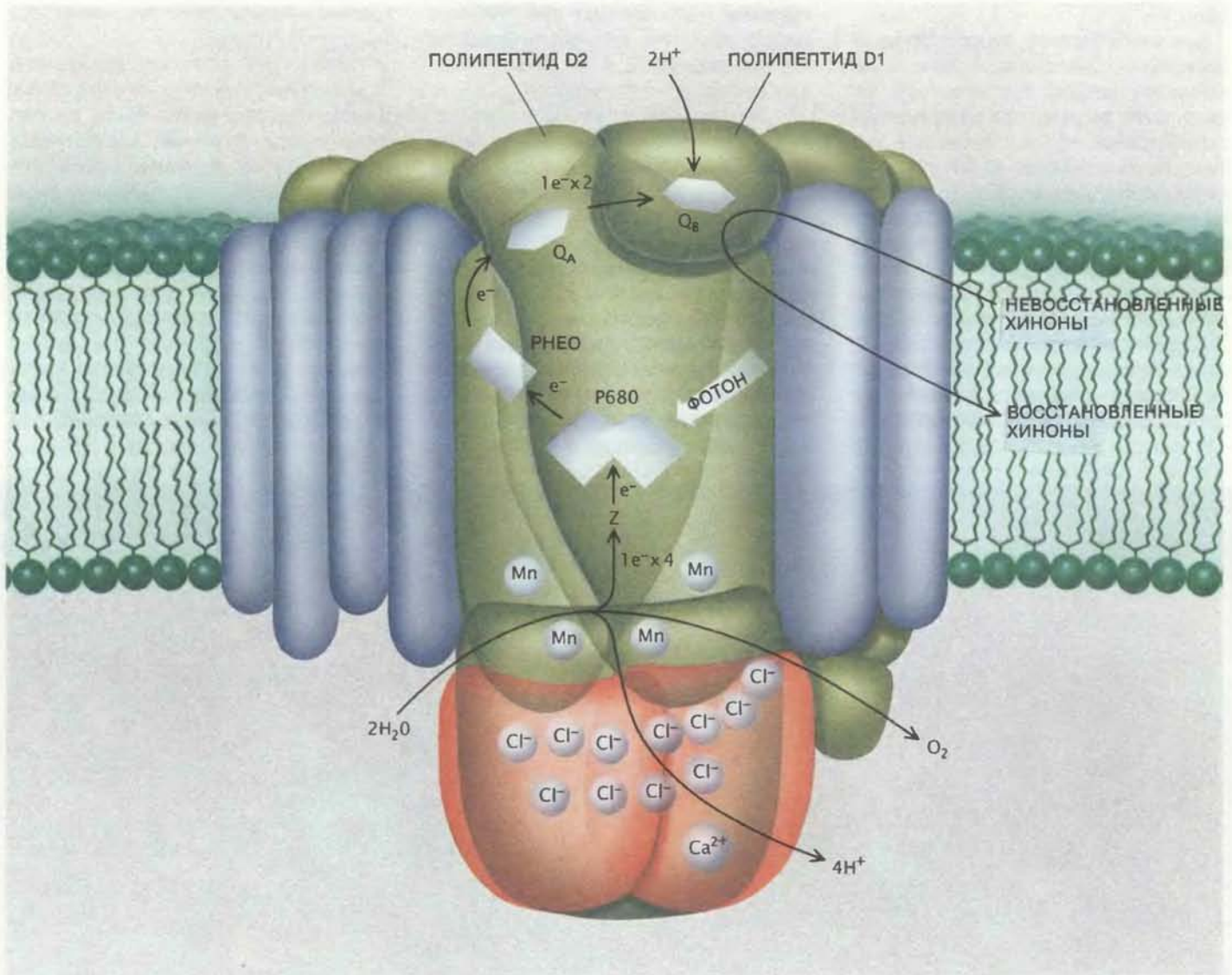


было отмечено выше, бактерии не продуцируют молекулярный кислород; кроме того, они содержат не хлорофилл, а бактериохлорофилл, который имеет значительно более длинноволновый максимум поглощения и является намного более слабым окислителем. Однако бактериальные реакционные центры катализируют важ-

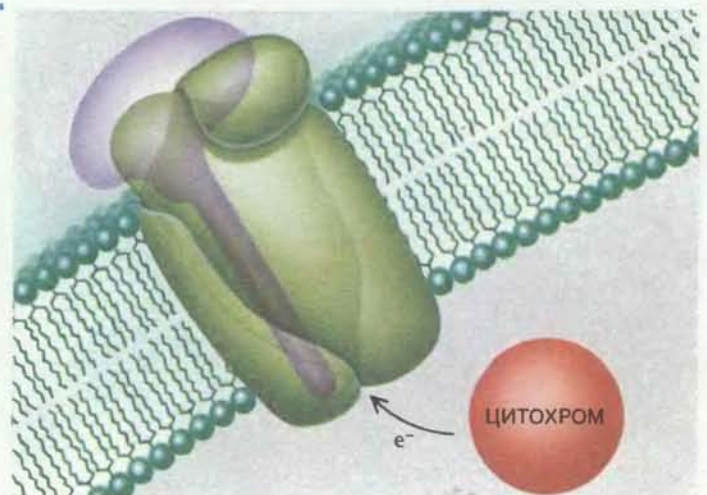
нейшую реакцию превращения света в трансмембранную разность электрических потенциалов ионов водорода (см. статью: Дуглас К. Юван, Барри Л. Маррс. Молекулярные механизмы фотосинтеза, «В мире науки», 1987, № 8).

Из работ по изучению бактерий следует, что электронотранспортная

цепь в реакционных центрах фотосистемы II состоит из пяти компонентов: хлорофилльного пигмента, который функционирует в качестве первичного донора электронов; вторичного донора электронов Z, который восстанавливает хлорофилл (т. е. возмещает электрон, который потерял хлорофилл); феофитина — пиг-



ФОТОСИСТЕМА II — это пигмент-белковый комплекс, расположенный в тилакоидных мембранах хлоропластов, который продуцирует кислород и поглощает энергию света. Поток электронов через фотосистему (вверху) индуцируется поглощением фотона специальной парой молекул хлорофилла (P680). В этом процессе участвуют много других молекул, таких как феофитин (PHEO) и два вида молекул хинона (Q_A и Q_B), а также такие атомы металлов и ионы, как марганец (Mn), хлор (Cl^-) и кальций (Ca^{2+}). В этой упрощенной модели несколько молекул пигментов не показаны. В реакциях фотосистемы II около внутренней поверхности мембраны используются четыре электрона из двух молекул воды и выделяется молекулярный кислород; эти реакции осуществляются водоокисляющей системой. Протоны, высвобождающиеся в процессе этих реакций, участвуют в синтезе аденозинтрифосфата. Более простая фотосистема из бактерий, не выделяющих кислород (справа), не имеет водоокисляющего комплекса. На эту фотосистему с помощью цитохромных белков поступают электроны не из воды, а из других соединений.



мента, который принимает электрон от хлорофилла; первичного пластохинонного акцептора электронов Q_A и вторичного хинонного акцептора электронов Q_B .

Полагают, что хлорофилльный пигмент в реакционных центрах состоит из специальной пары молекул хлорофилла, которые, по-видимому, химически идентичны многим антенным пигментам, но выполняют иную функцию. Этот пигмент называется P680, так как максимум его поглощения находится на длине волны 680 нм.

В 1988 г. Б. Бэрри и Р. Дибус, которые работали тогда в Мичиганском университете, а также В. Вермаас из Аризонского университета и их коллеги показали, что Z представляет собой одну из аминокислот (тирозин) полипептида D1. Хинон Q_A прочно связан с комплексом фотосистемы II, в то время как Q_B , приняв два электрона, может свободно диффундировать между белковыми комплексами в мембране.

В ПРОЦЕССЕ фотосинтеза антенные пигменты поглощают фотон и передают эту энергию молекулам P680 в реакционном центре, где энергия возбуждения преобразуется в энергию разделения зарядов: P680 переходит в возбужденное состояние и быстро передает один электрон соседней молекуле феофитина (см. рисунок на с. 38). Теперь феофитин несет дополнительный отрицательный заряд, в то время как на P680 в результате потери электрона образуется положительно заряженная "дырка": P680 превратился в $P680^+$. Разделение зарядов становится больше, когда феофитин передает свой дополнительный электрон молекуле Q_A . Расстояние между зарядами увеличивается еще значительнее, когда Z отдает электрон $P680^+$ и приобретает положительный заряд, а Q_A отдает свой дополнительный электрон молекуле Q_B .

Перенос заряда происходит быстро, особенно первичный перенос электрона от возбужденной молекулы P680 на феофитин, который осуществляется за триллионные доли секунды (несколько пикосекунд). Это было показано одним из нас (Говинджи) совместно с М. Василевским и Д. Джонсоном из Аргоннской национальной лаборатории, а также М. Сейбертом из Института изучения солнечной энергии в Голдене (шт. Колорадо).

С помощью ступенчатого переноса электронов удается далеко "растасить" взаимно притягивающиеся положительный и отрицательный заряды. Но циклический процесс в фотосистеме II не закончится до тех пор, пока все его участники вновь не станут электронейтральными и не будут

готовы начать новый процесс разделения зарядов. Каким же образом Q_B ликвидирует свой отрицательный заряд и как Z получает обратно потерянный электрон?

Для Q_B с одного конца фотосистемы II проблема решается относительно просто. Получив два электрона и два протона в процессе двух фотоциклов, дважды восстановленный Q_B диффундирует из комплекса фотосистемы II и заменяется невосстановленным Q_B . Электроны и протоны свободно диффундирующего Q_B переносятся на другой комплекс, участвующий в процессе фотосинтеза. Протоны, высвобождающиеся на внутренней стороне тилакоидной мембраны, в конечном итоге используются для синтеза аденозинтрифосфата — богатого энергией соединения, необходимого для клеточного метаболизма.

На противоположном конце фотосистемы II для Z намного труднее получить электрон, необходимый для его возвращения в исходное состояние. Электрон должно отдать какое-либо доступное в клеточной среде вещество, способное к окислению. Органические кислоты (такие, как ацетат, малат и сукцинат), а также простые неорганические соединения (например, сульфид и тиосульфат) могут быть хорошими источниками электронов. Они используются фотосинтезирующими бактериями, не выделяющими кислород; у этих бактерий цитохромный белок переносит электрон на окисленную специальную пару молекул хлорофилла в реакционном центре.

Однако существует намного более распространенное, чем органические кислоты, и поэтому потенциально более богатое в качестве источника электронов, вещество — это вода. Но хотя окислительная способность $P680^+$ довольно высокая, она все же недостаточна для того, чтобы отнять у молекул воды электроны.

Проблема состоит в том, что в результате реакции окисления воды одновременно высвобождаются четыре электрона, в то время как $P680^+$ может принимать только по одному электрону. Поэтому несколько десятилетий назад исследователям стало ясно, что вблизи Z и P680 должен существовать каталитический центр, способный связываться с двумя молекулами воды и стабилизировать их в процессе последовательного окисления, в результате которого электроны должны высвобождаться по одному. Поиск подобного механизма привел к открытию водоокисляющей системы.

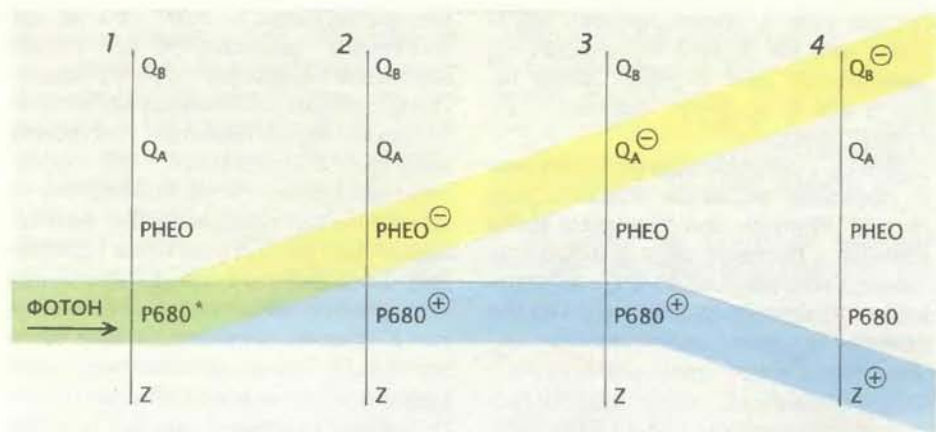
КЛЮЧОМ к пониманию этого механизма стало наблюдение, сви-

детельствующее о том, что не все электроны переносятся на хлорофилльные молекулы P680⁺ с одинаковой скоростью. Напротив, регистрируемое время переноса электронов менялось периодически. Это продемонстрировано в экспериментах с мембранами, содержащими реакционные центры фотосистемы II, которые помещаются в темноту, а затем освещаются короткими вспышками света. Каждая вспышка должна быть не только очень интенсивной, но и возможно более короткой, так чтобы (в среднем) только один фотон попадал на фотосистему. Наблюдаемый результат состоит в том, что скорость восстановления P680⁺ в темноте зависит от порядкового номера вспышки.

Например, время, за которое половина всех молекул P680⁺ превращается в P680, после первой и пятой вспышки составляет приблизительно 20 нс, но оно намного больше после второй, третьей и четвертой вспышек. Время восстановления меняется циклически через каждые четыре вспышки. Четырехтактная периодичность предполагает циклическую реакцию, в результате которой электроны передаются на реакционный центр в четыре стадии.

Эти исследования поведения P680 были особенно важны. В 1969 г. П. Жолио из Института физико-химической биологии в Париже показал, что существует четырехтактная периодичность в процессе выделения кислорода при фотосинтезе. С помощью прибора с высокочувствительным платиновым электродом, который реагировал на очень низкие концентрации O_2 , Жолио измерил количество кислорода, выделяющегося в ответ на серию вспышек. Не регистрировалось выделение O_2 после первой и (или очень небольшое) после второй вспышек, но наблюдался максимальный выход O_2 в ответ на третью вспышку. С этого момента количество выделяемого кислорода колебалось с периодом 4, до тех пор пока разница в амплитудах постепенно не сглаживалась.

В 1970 г. Б. Кок из Лаборатории Мартина Мариетты в Балтиморе предложил простую гипотезу для объяснения данных Жолио. Это была идея о водоокисляющей системе, или цикле. Кок предположил, что продуцирующий кислород комплекс фотосистемы II существует в нескольких различных промежуточных состояниях окисления, называемых S-состояниями. Он не мог точно определить химическую природу S-состояний, но полагал, что каждое из них вносит



СТУПЕНЧАТЫЙ ПЕРЕНОС электронов в реакционных центрах фотосистемы II позволяет запастись энергией света в форме разделенных положительных и отрицательных зарядов. Когда P680 поглощает фотон, он переходит в возбужденное состояние и превращается в P680* (1). P680* отдает электрон молекуле феофитина и становится положительно заряженным (2). Отрицательный заряд с феофитина переносится на первичный хинон Q_A (3). В результате P680⁺ получает электрон от аминокислоты Z, а Q_A отдает свой дополнительный электрон другой молекуле хинона Q_B (4). Электронотранспортная цепь возвращается к исходному состоянию, когда Z получает электрон от водоокисляющей системы, а дважды восстановленный Q_B заменяется невосстановленным хиноном.

свой вклад в четырехтактный циклический механизм.

По предположению Кока, в темноте система находится в одном из двух S-состояний: S₀ или S₁. Преобладающим (и более стабильным) является состояние S₁, которое содержит на один окислительный эквивалент больше, чем состояние S₀; другими словами, комплекс молекул, соответствующий состоянию S₁, содержит на один электрон меньше, чем комплекс S₀. Химическая основа преимуществ состояния S₁ не ясна.

После вспышки света P680 превращается в P680⁺ и должен, в конце концов, восстанавливаться электроном. Согласно предположению Кока, водоокисляющая система должна подвергнуться изменению, которое переводит ее в следующее состояние с более высокой степенью окисления: система, находившаяся в состоянии S₁, переходит в S₂, а система, находившаяся в состоянии S₀, — в S₁. Этот переход происходит из-за того, что один электрон высвобождается из системы для восстановления P680⁺ до P680. Вторая вспышка приводит к образованию другой молекулы P680⁺ и переводит S₂ в S₃, а третья вспышка превращает S₃ в S₄. К моменту, когда система достигает состояния S₄, она уже отдала четыре электрона и готова к реакции разложения воды. Затем система получает четыре электрона от двух молекул воды, связанных с нею, при этом выделяется O₂ и система переходит из состояния S₄ назад в S₀; теперь цикл может повториться.

Ситуация несколько напоминает ту, в которой оказывается полевой

игрок в бейсболе; он должен последовательно пройти все четыре позиции и закончить там же, где начал. Если игрок пропустит одну позицию, его могут заставить отступить; аналогично водоокисляющая система может не перейти из одного состояния в другое. Например, существует небольшая вероятность того, что после вспышки света состояние S₁ не перейдет в S₂, поскольку фотосистема не смогла эффективно утилизировать фотон. Существует также небольшая вероятность того, что фотосистема способна поглотить два фотона за одну вспышку (если вспышка не достаточно короткая), при этом водоокисляющая система продвигается за один шаг от S₁ до S₃, через S₂.

Механизм, предложенный Коком, помог объяснить данные о функционировании продуцирующей кислород системы, полученные Жолио. Поскольку большинство водоокисляющих систем в адаптированных к темноте препаратах находятся в состоянии S₁, максимальный выход O₂ происходит в ответ на третью вспышку, когда осуществляется переход из состояния S₃ в S₄ и S₀ и самопроизвольное выделение кислорода. В системах, находящихся в состоянии S₀, кислород выделяется в ответ на четвертую вспышку, поэтому после нее также наблюдается небольшой выброс O₂.

Случайные ошибки, связанные с тем, что некоторые водоокисляющие системы не могут изменить своего состояния во время вспышки или продвигаются сразу на два состояния вперед, могут объяснить постепенное затухание в колебаниях выхода O₂. Эти

процессы медленно десинхронизируют системы в исследуемом образце. После множества вспышек наступает равновесие, когда в каждом из состояний S₀, S₁, S₂ и S₃ находится приблизительно одинаковое число систем, и выход кислорода после каждой вспышки остается постоянным. Это напоминает комнату, полную старинных часов: сначала они все вместе бьют громко и синхронно, но по мере того как разные часы начинают постепенно уходить вперед или отставать, комната наполняется постоянным мягким звоном.

ИССЛЕДОВАНИЯ водоокисляющей системы, проведенные Жолио и Коком, позволили создать новую теоретическую модель процесса выделения кислорода. Однако эта теория не объясняла физического строения этой системы или способа ее взаимодействия с молекулами воды. Вскоре начался длительный поиск веществ, аккумулирующих заряд в водоокисляющей системе, переменная валентность которых соответствовала бы каждому из S-состояний.

С самого начала ученые предполагали, что это неуловимое химическое вещество — металл. Связанные с белком атомы переходных металлов, таких как марганец, железо и медь, являются хорошими кандидатами на роль катализаторов окислительно-восстановительных реакций, поскольку они способны и принимать, и отдавать электроны.

Полагают, что марганец (Mn) аккумулирует по крайней мере часть заряда, так как давно было известно, что выделение O₂ не происходит, когда содержание марганца в фотосистеме II составляет меньше четырех атомов на одну молекулу P680. Известно также, что марганец катализирует электронотранспортные реакции в других ферментах. Он может находиться в нескольких относительно стабильных состояниях окисления — от +2 до +7; таким образом, ионы марганца могут делить с различными другими атомами от 2 до 7 общих электронов. Когда этот металл связан с такой большой молекулой, как белок, степень его окисления обычно обозначается как Mn(II), Mn(III) и т. д.

Металлосодержащие белки интенсивно изучаются с помощью широко распространенных методов спектроскопии, поскольку некоторые комплексы металлов поглощают электромагнитное излучение на определенных длинах волн. Тщательно измеренные спектры поглощения могут служить спектроскопическими «отпечатками пальцев» металла, связанного с белком, и дают ключ к определению

нию их ядерной или электронной структуры. Спектроскопия особенно хорошо подходит для изучения соединений марганца. Многие комплексы марганца, встречающиеся в биологических объектах, являются "парамагнетиками": атом марганца содержит неспаренные электроны, которые как миниатюрные магниты сильно взаимодействуют с приложенным внешним магнитным полем.

Применение ряда высокочувствительных экспериментальных методов основано на парамагнитных свойствах марганца; наиболее эффективный из них — спектроскопия электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). С помощью ЭПР были изучены изменения в электронной структуре комплексов марганца в ответ на поглощение света фотосистемой II. Другой информативный метод — спектроскопия ядерного магнитного резонанса (ЯМР), с помощью которого можно изучать свойства атомов марганца косвенно, регистрируя сигналы протонов в молекулах воды, которые взаимодействуют с марганцем. Работа в Иллиноиском университете в Урбане-Шампейн в середине 70-х годов, Видрзинский впервые использовал ЯМР для изучения динамических изменений при окислении марганца.

Использование метода рентгеновской спектроскопии внесло значительный вклад в изучение состояний окисления и физического окружения атомов марганца в фотосистеме II. В других исследованиях химического состава S-состояний применялись методы оптической спектроскопии, поскольку комплексы марганца имеют характерные полосы поглощения в ультрафиолетовой области спектра.

Однако следует подчеркнуть, что, несмотря на широкий круг применяемых спектроскопических методов, существуют две основные проблемы, затрудняющие изучение фотосинтетических мембран. Во-первых, эти мембраны имеют сложное строение, и спектры поглощения многих их компонентов перекрываются. Во-вторых, так как ни структура, ни химическая природа фотосистемы II точно не известны, данные спектроскопических исследований не могут интерпретироваться однозначно. Поэтому нам еще окончательно не ясна химическая природа различных S-состояний. Тем не менее стало возможным создание предварительной картины происходящего.

ЯСНО, ЧТО атомы марганца подвергаются динамическим изменениям, включая изменение степени их окисления при переходах из одного S-состояния в другое. Как и предпо-

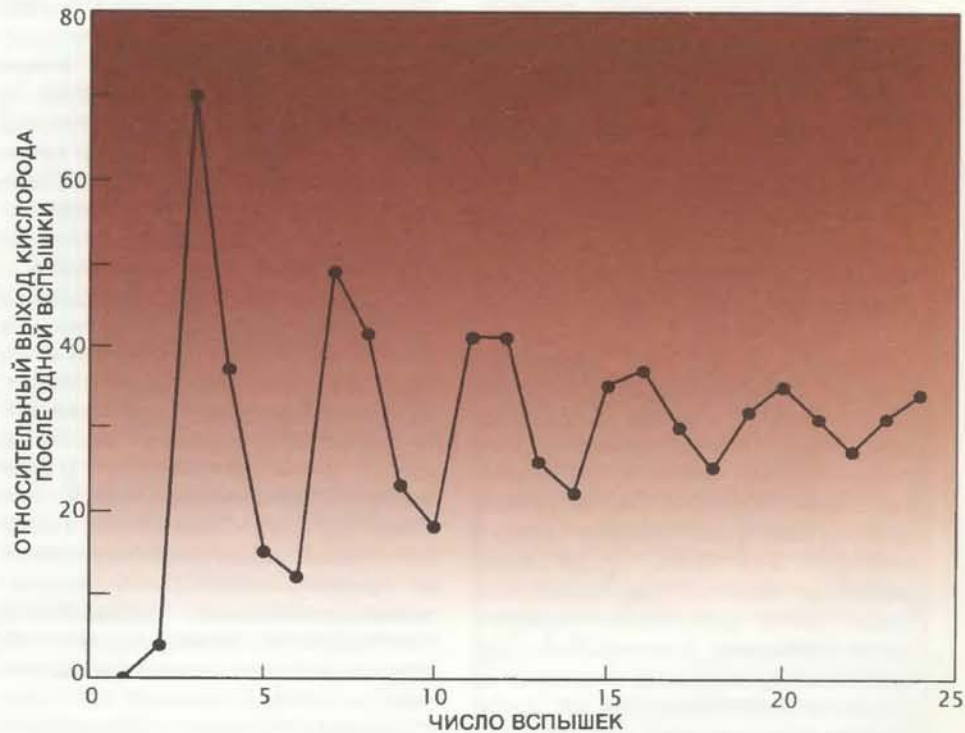
лагалось в модели Кока, наблюдается четырехтактная периодичность в изменении состояния окисления марганца. Удивительное открытие состоит в том, что при прохождении цикла не происходит последовательного окисления атомов марганца. Степень окисления состояния S_2 выше, чем состояния S_1 , степень окисления состояния S_1 выше, чем S_0 , но не зарегистрировано изменение степени окисления марганца при переходе из состояния S_2 в S_3 . По-видимому, положительный заряд, возникающий при переходе из S_2 в S_3 , переносится не на атомы марганца, а на какой-то другой элемент системы. В 1986 г. один из нас (Говинджи) совместно с С. Падхи, Т. Камбара и Д. Хендриком из Иллинойского университета в Урбане-Шампейн предположили, что положительно заряжается гистидин — аминокислота одного из белков системы.

Исследования М. Клейна, К. Сауэра и их сотрудников из Калифорнийского университета в Беркли, а также Р. Шарпа и его коллег из Мичиганского университета в Энн-Арборе помогли более точно определить степень окисления некоторых атомов марганца. Экспериментально было показано, что состоянию S_0 соответствует присутствие Mn(II), S_1 — Mn(III), а S_2 — Mn(IV). Оба атома Mn(II) и Mn(III) являются стабиль-

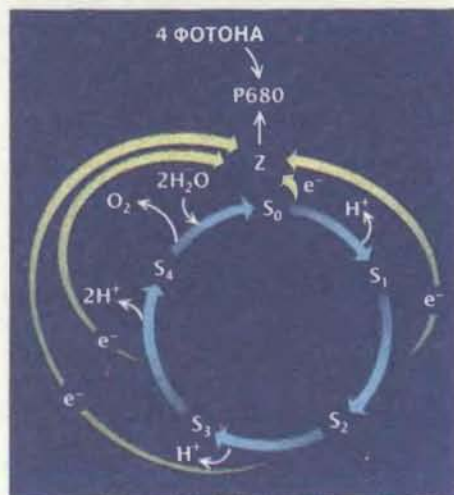
ными и долгоживущими в фотосистеме II; эти наблюдения подтверждают предсказание Кока о стабильности состояний S_0 и S_1 . Напротив, Mn(IV), связанный с S_2 , — относительно короткоживущий интермедиат. Последние данные, полученные в лаборатории Х. Витта в Техническом университете Западного Берлина, показывают, что во время перехода из состояния S_0 в S_1 ион Mn(II) превращается в ион Mn(III). Единственное превращение, наблюдаемое во время всех последующих переходов, соответствует окислению Mn(III) до Mn(IV).

Низкотемпературные данные по ЭПР, полученные Ч. Дисмукисом и И. Сидерер из Принстонского университета, свидетельствуют о том, что состояния S_2 и S_3 включают многоядерные комплексы, содержащие до четырех атомов марганца. Например, состояние S_2 может соответствовать группе со смешанной валентностью, содержащей один атом Mn(III) и один атом Mn(IV) или три атома Mn(III) и один атом Mn(IV).

Таким образом, динамические изменения в состояниях окисления атомов марганца, связанных с фотосистемой II, соответствуют изменениям S-состояний в системе Кока. Точное химическое и электронное строение этих состояний еще не ясно и в настоящее время изучается.



ВЫХОД КИСЛОРОДА в фотосинтетических мембранах в ответ на серию коротких вспышек периодически колеблется с периодом, равным 4. Максимальный выход достигается после третьей вспышки и снова возрастает через четыре вспышки, однако разница в амплитудах постепенно уменьшается при возрастании числа вспышек. Расположение пиков и спадов объясняется четырехтактной периодичностью функционирования водоокисляющей системы.



ВОДООКИСЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА — это циклический механизм, который подставляет электроны на молекулы хлорофилла P680 в реакционном центре фотосистемы II. При поглощении каждого фотона система продвигается на одно S-состояние (состояние окисления), поэтому высвобождает один электрон (e^-). Когда система достигает состояния S_4 , она спонтанно высвобождает молекулу кислорода (O_2) и возвращается в исходное состояние S_0 , завершая цикл.

Различные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что марганец непосредственно не связан с каким-либо малым полипептидом комплекса фотосистемы II. По-видимому, места связывания марганца находятся на больших полипептидах D1 и D2. Недавно мы предположили, что четыре марганец-связывающих центра расположены на полипептидах D1 и D2 на внутренней стороне тилакоидной мембраны, однако другие исследователи полагают, что марганец связывается в месте контакта D1, D2 и полипептида с молекулярной массой 33 килодальтона.

С помощью рентгеновской спектроскопии Клейн, Сауер и их сотрудники из Калифорнийского университета в Беркли, а также Г. Джордж и Р. Принс из Исследовательского центра фирмы Экхон в Аннандейле (шт. Нью-Джерси) выявили некоторые детали расположения атомов марганца. В состоянии S_1 два атома, вероятно, образуют биядерный комплекс, причем расстояние между атомами составляет только 2,7 Å. Два других атома марганца находятся на большем расстоянии друг от друга. Можно предположить, что эти четыре атома расположены в четырех углах трапецоида.

В РЕЗУЛЬТАТЕ всех этих исследований в настоящее время стало намного больше известно о том, как атомы марганца принимают участие

в катализе отщепления электронов от воды для восстановления P680⁺. Однако в реакции разложения воды выделяются также четыре протона. Все ли четыре протона высвобождаются сразу, одновременно с O_2 , или это происходит последовательно вместе с электронами?

Ответ на этот вопрос был получен при тщательном измерении выброса протонов в ответ на серию вспышек. Поскольку высвобождающиеся протоны повышают кислотность среды, процесс выброса протонов может быть изучен с помощью электродов и красителей, высокочувствительных к кислоте. К. Фаулер из Лаборатории Мартина Мариетта и вскоре после него С. Сафон и Э. Р. Крофтс, в то время работавшие в Бристольском университете в Англии, обнаружили, что четыре протона высвобождаются последовательно. Один из них высвобождается в процессе перехода из состояния S_0 в S_1 , ни одного во время перехода из состояния S_1 в S_2 , один в процессе перехода из состояния S_2 в S_3 и два во время перехода из состояния S_3 в S_4 и в S_0 .

Эти открытия имеют важное значение для понимания механизма окисления воды, хотя их интерпретация зависит от того, является ли источником выделяющихся протонов непосредственно вода или какие-либо другие молекулы, например полипептиды, связывающие атомы марганца. Если источником протонов служит вода, ее молекулы должны подвергаться каким-то химическим превращениям до перехода в состояние S_4 . Наоборот, если последовательный выброс протонов происходит прямо из полипептидов (затем они заменяются протонами из молекул воды), то окисления воды не происходит до последнего перехода из состояния S_4 в S_0 . Вопрос о непосредственном источнике протонов еще не решен.

НЕЗАВИСИМО от природы источника протонов в настоящее время представляется вероятным, что высшие S-состояния (особенно S_2) аккумулируют положительный заряд. Возможно, для стабилизации этого положительного заряда нужен отрицательно заряженный ион. Это согласуется с экспериментальным наблюдением, что такие ионы, как ионы хлора, необходимы для нормального функционирования водоокисляющей системы. С. Идзава из Йенского университета в Детройте был одним из первых, кто продемонстрировал, что ионы хлора могут "включать" водоокисляющую систему.

В 1982 г. в сотрудничестве с Г. Гуттовским и его коллегами из Иллинойского университета в Урбане-Шампейн

мы начали применять метод ЯМР для измерения связывания ионов хлора с фотосинтетическими мембранами. В начале этих исследований И. Байану, К. Кричли и один из нас (Говинджи) показали, что ионы хлора свободно и быстро связываются с изолированными мембранами хлоропластов и отделяются от них. Эти данные позволили в 1983 г. сделать предположение о том, что связывание отрицательно заряженных ионов хлора может объясняться появлением положительного заряда в водоокисляющей системе от P680⁺ и что высвобождение ионов хлора может совпадать с выбросом протонов.

Эксперименты по ЯМР, выполненные К. Пристоном и Р. Пейсом из Австралийского национального университета в Канберре показали, что ионы хлора более прочно связываются в состояниях S_2 и S_3 , чем в состояниях S_0 и S_1 . Эти данные хорошо согласуются с тем, что высшие S-состояния несут больший положительный заряд. Результаты, полученные Клейном и его коллегами с помощью рентгеновской спектроскопии, свидетельствуют о том, что в низших S-состояниях хлор не связывается непосредственно с атомами марганца.

П. Хофман и его сотрудники из Флоридского университета предположили, что хлор связывается с положительно заряженными аминокислотами. Работая с Гуттовским, мы наблюдали связывание хлора комплексами фотосистемы II из шпината. Проведенные нами измерения показывают, что несколько ионов хлора связаны с водоокисляющей системой и, очевидно, поделены между двумя большими участками связывания: один расположен около марганца, возможно на полипептидах D1 и D2, а другой — на полипептиде с молекулярной массой 33 килодальтона.

Все эти эксперименты свидетельствуют о том, что функция ионов хлора в водоокисляющей системе заключается в ускорении процесса высвобождения протонов из молекул воды. Ионы хлора могут повышать эффективность реакции окисления воды и (или) стабилизировать заряженные ионы марганца. Роль хлора до конца не ясна; может оказаться, что хлор просто стабилизирует белки фотосистемы II.

Другой ион, кальций (Ca^{2+}), необходим как для водоокисляющей системы, так и для функционирования реакционного центра фотосистемы II; он также, возможно, тесно связан с функцией хлора. Эксперименты, проведенные в нескольких лабораториях, показывают, что ионы кальция могут функционально заменить два полипептида в основании фотосистемы II,

которые участвуют в выделении кислорода. Установлено, что удаление ионов кальция блокирует как функционирование водоокисляющей системы (не происходит перехода из состояния S_3 в S_4 и S_0), так и быстрое восстановление $P680^+$ до $P680$.

Поэтому представляется вероятным, что кальций играет структурную или регуляторную роль в фотосистеме II. Было показано, что кальций имеет большое значение для регуляции многих различных белков в других биологических системах; он "включает" и "выключает" активность этих белков и поддерживает их

третичную структуру. Ионы кальция в фотосистеме II способствуют укладке полипептидов водоокисляющей системы в правильную функциональную конформацию.

РАЗРАБОТАННЫЙ механизм выделения кислорода составляет лишь небольшую часть всего процесса фотосинтеза у организмов, которые выделяют O_2 . Хотя в общем этот процесс аналогичен для всех видов фотосинтезирующих организмов, в ходе эволюции возникли значительные различия.

Большинство исследований пока-

зывают, что разница между фотосистемой II у цианобактерий и растений сравнительно невелика, поэтому цианобактерии, по-видимому, являются предками или близкими "родственниками" растений. Различия между реакционными центрами у цианобактерий и других фотосинтезирующих бактерий выражены более ярко, что свидетельствует об эволюционном расхождении между этими группами. Несомненно, что глубокое изучение фотосистем с помощью методов молекулярной генетики, рентгеноструктурного анализа и спектроскопии прольет свет на эволюцию жизни.

Наука и общество

Нежные родственники

ЕСЛИ СКРЕСТИТЬ слона с гиппопотамом, слонопотам не получится. Особи разных видов не могут успешно скрещиваться из-за различий в ДНК: потомство не жизнеспособно или бесплодно, потому что отцовская и материнская ДНК не сочетаются. Это относится и к близкородственным видам, геномы которых по нуклеотидной последовательности различаются не более чем на 10%. Недавно две группы исследователей независимо друг от друга выявили механизм, исключающий соединение несочетаемых цепей ДНК. Их открытие проясняет, что препятствует скрещиванию близкородственных видов, каким образом в ходе эволюции могут возникать новые виды, а также освещает клеточные процессы, предотвращающие некоторые злокачественные изменения хромосом.

Предотвращение межвидового скрещивания, по-видимому, обеспечивается молекулярным механизмом, называемым системой репарации ошибок, который участвует в нормальной репликации ДНК. Система репарации ошибок состоит из белков, детектирующих ошибки в нуклеотидных последовательностях новообразованных цепей ДНК. Если новая цепь не комплементарна исходной, то система устраняет ошибочную последовательность вместе с соседними участками ДНК. Затем ферменты-полимеразы заполняют «пробел», синтезируя правильную последовательность ДНК (см. статью: М. Радман, Р. Вагнер Высокая точность репликации ДНК, «В мире науки», 1988, № 10).

М. Радман и К. Рейсиге из Института Жака Моно в Париже и Д. Талер из Университета шт. Юта предпо-

жили, что система репарации ошибок участвует также в подавлении рекомбинации между аналогичными, но различающимися последовательностями ДНК разных видов. Для проверки своей гипотезы они попытались скрестить два вида бактерий (у бактерий существует половой процесс, называемый конъюгацией, при котором происходит обмен генетической информацией между двумя клетками).

Виды бактерий *Escherichia coli* и *Salmonella typhimurium* обособились примерно 150 млн. лет назад; в настоящее время их последовательности ДНК различаются примерно на 20%. В норме между этими видами невозможна успешная конъюгация. Однако, используя мутантов с дефектной системой репарации ошибок, Радман с коллегами увеличили частоту рекомбинации в 1000 раз; об этих результатах сообщалось в журнале «Nature» в ноябре прошлого года.

В процессе эволюции система репарации ошибок ДНК может способствовать возникновению новых видов, репродуктивно изолируя группы организмов с небольшими различиями в ДНК даже в том случае, когда они не разделены географически. Постепенно в результате накопления случайных мутаций разделившиеся популяции расходятся генетически. В какой-то момент генетические различия становятся столь значительными, что система репарации ошибок исключает критическое число рекомбинаций и успешное перекрестное оплодотворение делается невозможным. Таким образом популяции превращаются в самостоятельные виды.

П. Шэнь и Г. Хуан из Медицинской школы Вашингтонского университета также продемонстрировали роль системы репарации ошибок в регуляции рекомбинации. Они изучали не-

сколько различающиеся варианты генов иммуноглобулинов мыши. Когда эти гены вводили в нормальные клетки *E. coli*, рекомбинации не происходило. А у *E. coli* с дефектной системой репарации ошибок гены иммуноглобулинов часто рекомбинировали. Комментируя работу Шэня и Хуана, Талер высказывает предположение о том, что система репарации ошибок способна препятствовать нежелательной рекомбинации между повторяющимися последовательностями в хромосомной ДНК. Это может предотвращать хромосомные перестройки, которые приводят к раку.

Вниманию читателей!

Журнал «ТИИЭР»
готовится к печати
тематический выпуск

ТЕХНИКА СУПЕР-ЭВМ

(ТИИЭР, т. 77, № 12 декабрь 1989)
Обзоры и результаты оригинальных исследований и разработок по вопросам архитектуры супер-ЭВМ, построения соответствующих алгоритмов, применения оптических методов обработки данных. Объем выпуска 25 авт. л.

Заказы — до 1 июня 1990 г.

О порядке приема заказов читайте в объявлении на с. 13.



Полупроводниковые структуры на арсениде галлия

Это полупроводниковое соединение не является кандидатом на замену кремния. Тем не менее масштабы его применения в вычислительной технике и средствах связи благодаря высокому быстродействию и исключительным оптоэлектронным свойствам постоянно расширяются

МАРК Х. БРОДСКИЙ

СОВРЕМЕННЫЙ уровень электроники был достигнут благодаря микросхемам на кристаллах кремния. Имеющиеся успехи и перспективы дальнейшего использования кремния в бытовых, промышленных и военных электронных системах заставляют многих специалистов, работающих в этой области, критически оценить возможности другого перспективного полупроводника — арсенида галлия. «Арсенид галлия, — говорят они, — всегда был и будет материалом будущего».

Теперь, спустя почти 30 лет, на протяжении которых арсенид галлия считался материалом будущего, он начинает находить свое место в практическом применении, не вытесняя кремний, а дополняя его в новых применениях. Достоинства этого материала заключаются в большой скорости электронов, с которой они могут двигаться в нем, в способности реагировать на слабые сигналы, а также в возможности генерировать и детектировать оптическое излучение (свет). Эти достоинства особенно ценны для вычислительной техники, телевидения и систем волоконно-оптической связи, основанных на оптоэлектронной передаче информации (иногда эта область техники называется фотоникой). Ежегодный объем продажи лазеров и светодиодов на арсениде галлия, используемых в электронной аудиопроектирующей аппаратуре и системах визуального изображения, уже достиг более 1 млрд. долл. На рынке ежегодно сбываются также сотни тысяч параболических антенн для систем спутниковой связи, в которых используются арсенидогаллиевые детекторы. Ожидается, что в ближайшие годы широкое применение найдут и интегральные схемы, содержащие быстродействующие

транзисторы на арсениде галлия. Все это будет определяться растущими потребностями общества и экономики в быстром обмене информацией и ее обработке, а для этого в дополнение к кремниевым микропроцессорам потребуются арсенидогаллиевые компоненты.

РАЗВИТИЕ арсенидогаллиевой технологии следует тому же курсу, который ранее был пройден кремниевой технологией. С тех пор как в 1948 г. Дж. Бардин, В. Браттейн и В. Шокли изобрели транзистор, работая в компании Bell Telephone Laboratories, исследователи пытались усовершенствовать полупроводники, следуя двум направлениям. Во-первых, физики и инженеры пытались найти такие материалы, которые могли бы выполнять операции переключения более быстро и по возможности решали другие задачи, такие, скажем, как регистрация и генерирование световой энергии. Исследования, проводимые именно в этом направлении, привели к созданию в 1950 г. Х. Велкером в Siemens Laboratories нового материала — арсенида галлия (который в природе не встречается). Велкер также исследовал другие полупроводники, синтезированные из элементов III и V групп периодической таблицы, которые расположены рядом с германием и кремнием, основными элементами, применявшимися для изготовления первых транзисторов.

Во-вторых, инженеры совершенствовали технологию получения полупроводников. Эта работа требует точного знания физических и химических свойств полупроводников и создания совместимых материалов и процессов изготовления из них диэлектриков, проводников, соединительных контактов и других важных

компонентов. Нужно было, чтобы полупроводники поддавались тщательной очистке, соединялись с другими веществами в строго заданных соотношениях и формировались в совершенные кристаллы. Дефекты, вносимые в процессе изготовления транзисторов и схем, не должны были ухудшать их электронные характеристики. Ни одна из этих задач не считается легко выполнимой даже теперь; еще более сложными они были в первые годы, когда материаловедение только создавалось как новая наука на базе фундаментальных исследований в области физики, химии, металлургии и других дисциплин. Я попытаюсь совершить экскурс в те области знаний, которые лежат на стыке физики, техники, материаловедения и электроники, чтобы показать читателям, почему арсенид галлия является и многообещающим, и коммерчески привлекательным материалом.

Наиболее ценным свойством арсенида галлия, обещающим ему благоприятные перспективы в дальнейшем использовании, является большая скорость движения (дрейфа) электронов в нем. При прочих равных условиях интегральные схемы на арсениде галлия будут обладать большим быстродействием при равном или меньшем потреблении мощности, чем схемы на кремнии. Вследствие меньшего потребления мощности схемы на арсениде галлия будут меньше выделять тепла, которое нужно отводить от схемы. Это свойство имеет особую значимость, поскольку скорость дрейфа электронов в полупроводнике и потребляемая им мощность всегда являются конкурирующими параметрами.

Для инженера определяющим показателем является быстродействие

прибора, а не чистота кристалла или его состав. В современной электронной аппаратуре в качестве переключающих элементов в основном используются транзисторы нескольких видов (см. рисунки на с. 44 и 45). За счет происходящих в этих приборах изменений осуществляются такие функции, как математические расчеты и обработка данных. Эти изменения, или переходные процессы, не могут происходить за более короткое время, чем то, которое требуется электрону, чтобы пройти область полупроводника под воздействием электрических сигналов, поступающих от другой части электронной схемы.

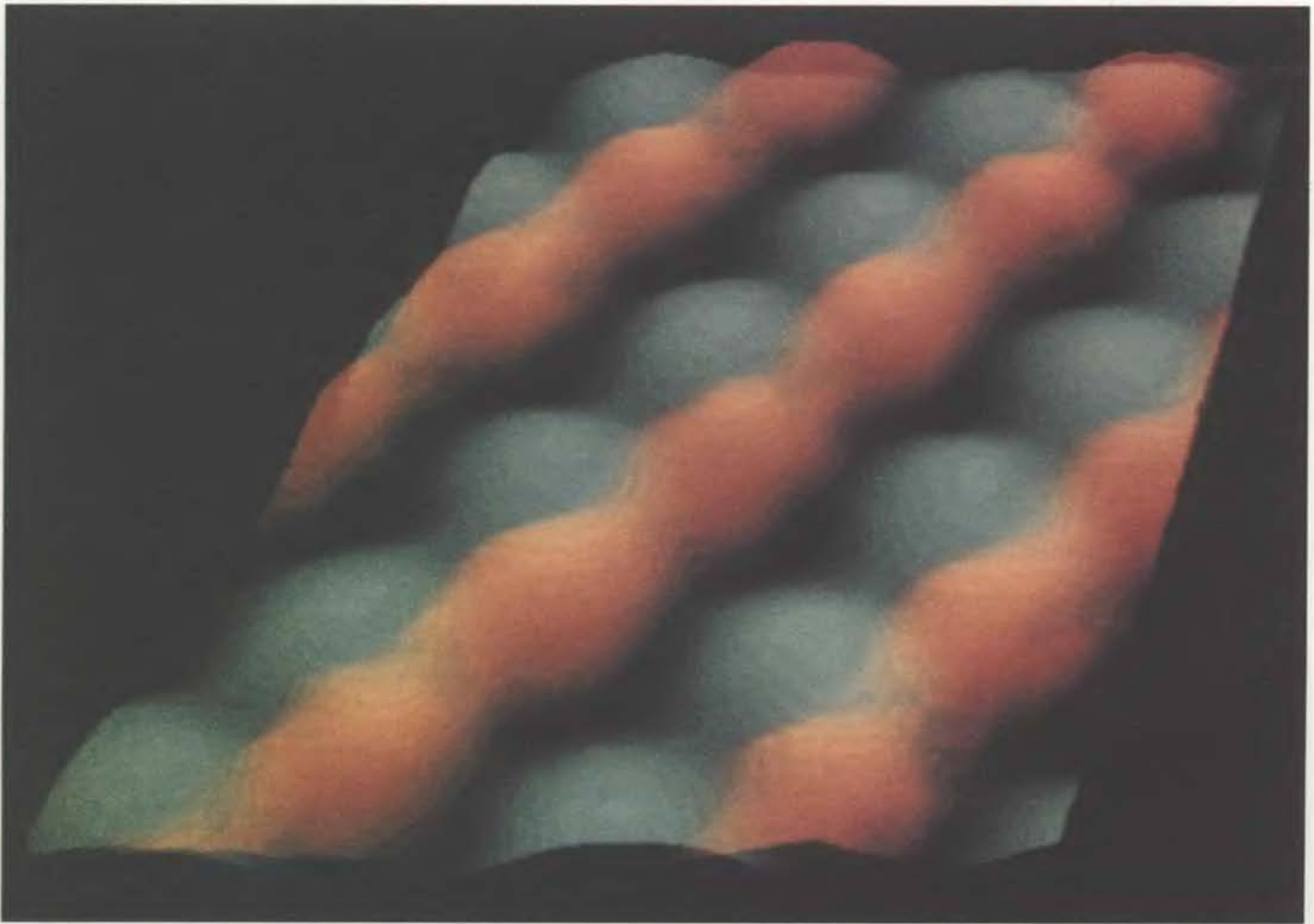
Скорость переключения зависит от средней скорости дрейфа электронов (примерно равной 10^6 см/с или больше), которая определяется многочисленными препятствиями на пути их движения в транзисторе. После многих столкновений с атомами, ионами и между собой устанавливается определенное распределение электронов по скоростям, которое зависит от величины ускоряющего электрического поля и характеристик рассеивающих центров: остаточных примесей и ато-

мов полупроводника. При соударениях электроны рассеиваются во всех направлениях, теряя энергию и скорость в направлении электрического поля.

ЧТОБЫ лучше понять, каким образом физические свойства могут влиять на движение электронов в полупроводниках, прибегнем к аналогии из области поведения механической системы. Для этого представим два различных полупроводниковых материала как две параллельные трубки, заполненные стационарными и вибрирующими препятствиями и одинаково наклоненные по отношению к земле. Препятствия моделируют рассеивающий механизм, наклон (разность потенциальной энергии в гравитационном поле) соответствует электрическому полю, а направляемые в трубки шарики представляют электроны. В этой механической модели скорость переключения определяется временем, за которое шарики достигают нижнего конца трубок. Что же касается подвижности электронов, то ей соответствует легкость, с которой шарики преодолева-

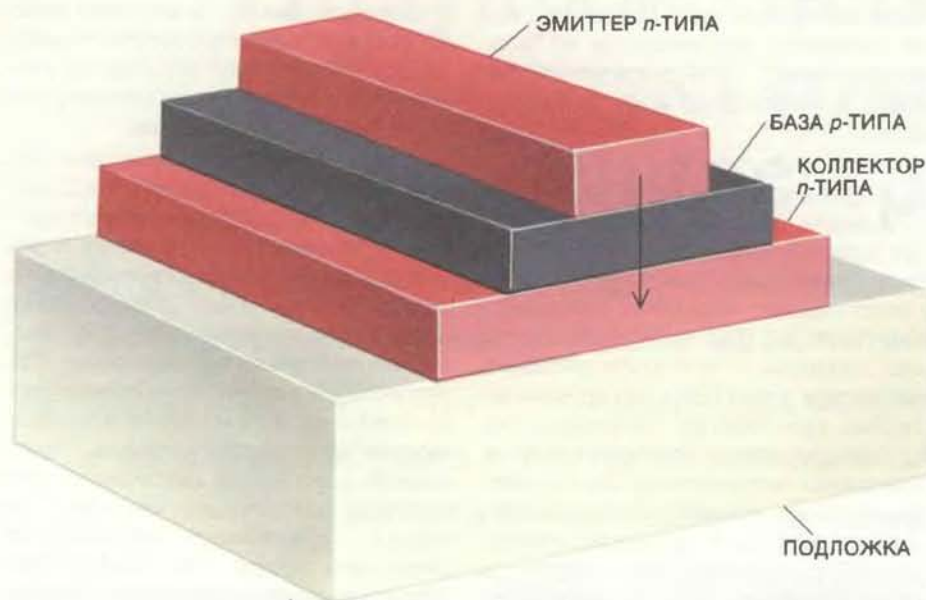
ют препятствия. В то же время можно считать, что способность преодолевать препятствия отражается размером шариков: чем они меньше, тем легче обходят препятствия.

В полупроводниках электроны движутся через периодически расположенные атомы, образующие кристаллическую решетку. Поскольку в создании электронов проводимости участвуют все атомы, решетку можно представить в виде одной трубки, по которой движутся электроны. Периодическая структура, образованная атомами галлия и мышьяка и изображенная на микрофотографии, полученной с помощью растрового туннельного микроскопа (см. рисунок внизу), притягивает движущиеся электроны слабее, чем аналогичная структура из атомов кремния. Поэтому физики говорят, что в арсениде галлия электроны имеют меньшую эффективную массу, чем в кремнии. Поскольку более высокая подвижность электронов является следствием воздействия и ряда других факторов, то отсюда следует, что электроны в арсениде галлия в общем могут достигать больших скоростей на за-



АТОМЫ галлия (зеленые) и мышьяка (оранжевые) видны на этой микрофотографии соединения GaAs, полученной с помощью растрового туннельного микроскопа сотрудни-

ками Исследовательского центра им. Т. Уотсона фирмы IBM Р. Финстра и Дж. Стросио. Очертания атомов соответствуют их электронному контуру.



БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР выполняет переключение в цепях, подсоединенных к его эмиттеру и коллектору, двум областям, содержащим электроны донорных примесей (*n*-типа). Эти области разделены тонким слоем, называемым базой, которая содержит дырки (*p*-типа). Когда к базе приложено напряжение, электроны, инжектированные эмиттером, проходят в коллектор, переключая схему. Этот прибор может быть изготовлен непосредственно на пластинке кремния методом фотолитографии или другими технологическими способами. Арсенид галлия для биполярного транзистора выращивается в виде трехслойной структуры, причем один или два слоя могут сплавляться с различным содержанием алюминия.

данном расстоянии и двигаться быстрее между столкновениями, чем в кремнии.

Сокращая длину критического пути электронов до значений, меньших среднего расстояния, проходимого ими между столкновениями, можно совсем исключить рассеяние электронов. Это означало бы, что большая часть электронов может проходить критическую переключающую область баллистическим образом, т. е. без столкновений (см. статью: М. Хейблум, Л. Итмен «Баллистические электроны в полупроводниках», «В мире науки», 1987, № 4). Однако практическое использование этого принципа наступит не раньше, чем обычные транзисторы на арсениде галлия получат широкое распространение.

Аналогия между столкновением электронов в реальном полупроводнике и поведением скатывающихся по трубке шариков справедлива только для случаев, когда действующее на электроны ускоряющее электрическое поле меньше 10 000 В/см. При более сильных электрических полях начинают проявляться другие физические механизмы взаимодействия электронов, которые приводят к так называемому насыщению, когда устанавливается некоторая постоянная скорость дрейфа электронов. Каждый электрон становится как бы эффективно тяжелее; это обстоятельство

сужает или даже сводит на нет преимущества арсенида галлия над кремнием. Фактически арсенид галлия может проявлять свои преимущества по сравнению с кремнием только при низких электрических напряжениях, что затрудняет сочетание оптимально работающих интегральных схем на этих двух полупроводниках в одной схеме. Поэтому при выборе оптимального напряжения приходится идти на компромисс.

Подвижность электронов важна также и при работе прибора на высоких частотах в малошумящем режиме. Шум — это случайные флуктуации напряжения, определяющие наименьший уровень полезных сигналов; на высоких частотах его можно минимизировать путем увеличения подвижности электронов до максимально возможной, как в самом транзисторе, так и в цепях, соединяющих его с остальными участками схемы. Создание малошумящего режима в работе схем на арсениде галлия особенно важно при приеме телевизионных и высокочастотных сигналов.

ДРУГОЕ важное преимущество арсенида галлия над кремнием заключается в том, что его энергетический зонный спектр можно легко модифицировать в процессе изготовления прибора. Такая «зонная инженерия» дает большую свободу в опти-

мизации параметров оптоэлектронных приборов и транзисторов в процессе их конструирования. Энергетические зоны, определяющие предельные уровни энергий, которые могут иметь электроны в кристалле, по существу являются расширенными энергетическими состояниями электронных орбит отдельных атомов. В чистых полупроводниках валентная зона (которая содержит электроны, участвующие в химических связях) почти полностью заполнена; следующий, более высокий уровень — зона проводимости, почти свободна от электронов. Подвижные заряды в этих зонах создаются в процессе легирования (допирования), которое состоит в добавлении очень малых количеств примеси в основу полупроводника, которые имеют электроны в зоне проводимости и называются полупроводниками *n*-типа, легируются атомами, выполняющими функции электронных доноров. Области *p*-типа создаются введением положительно заряженных дырок (т. е. удалением электронов из валентной зоны).

Энергетический перепад между нижним уровнем зоны проводимости и верхним уровнем валентной зоны называется запрещенной зоной. В арсениде галлия она шире, чем в кремнии, но она может быть сужена или расширена путем изменения состава арсенида галлия в результате добавления других атомов. Например, если галлий полностью заменить алюминием, то получится арсенид алюминия, имеющий более широкую запрещенную зону. При частичном замещении ширина запрещенной зоны пропорциональна доле алюминия в сплаве. Другие сплавы можно получить путем замены атомов галлия на индий или атомов мышьяка на фосфор, или тех и других атомов одновременно.

Сплавы алюминия, галлия и мышьяка имеют такое же расстояние между атомами в кристалле, как и в чистом арсениде галлия, поэтому атомы в этих двух материалах можно «подогнать» друг к другу без дефектов. Путем чередования очень тонких слоев двух и более сплавов можно создать гетеропереходы, т. е. такие структуры, в которых запрещенные зоны изменяются от слоя к слою. Примером могут служить сверхрешетки, изобретенные Л. Исаки и его коллегами в фирме IBM. В этой структуре чередующиеся слои арсенида галлия-алюминия и арсенида галлия наносятся на подложку арсенида галлия. Электроны, которые в таком многослойном сэндвиче движутся параллельно слоям, ограничиваются потенциальным барьером в слоях с

меньшей запрещенной зоной арсенида галлия. Электроны, которые движутся поперек слоев, должны проходить через потенциальный барьер или над барьером, образуемым на границе слоев арсенида галлия и алюминия. Путем варьирования числа, толщины или состава слоев можно получать желательные электронные и физические свойства гетеропереходов.

Выращивание совершенных кристаллов переменного состава по существу достигается путем изменения ширины запрещенной зоны в арсенидогаллиевых сплавах. К сожалению, многие сплавы на основе арсенида галлия с подходящими электронными свойствами имеют существенные различия в расстоянии между атомами; их кристаллические решетки не согласуются друг с другом или с арсенидом галлия. Если сращиваются вместе два кристалла с несогласованными решетками, то дефекты упаковки атомов на границе кристаллов могут распространяться по всему слою, делая непригодными для использования его электронные свойства. Этот эффект ограничивает набор материалов, которые могут соединяться в процессе выращивания. Небольшое рассогласование кристаллических решеток может быть скомпенсировано, если слой одного из материалов сделать очень тонким, но такой подход налагает определенные ограничения на конструкцию прибора.

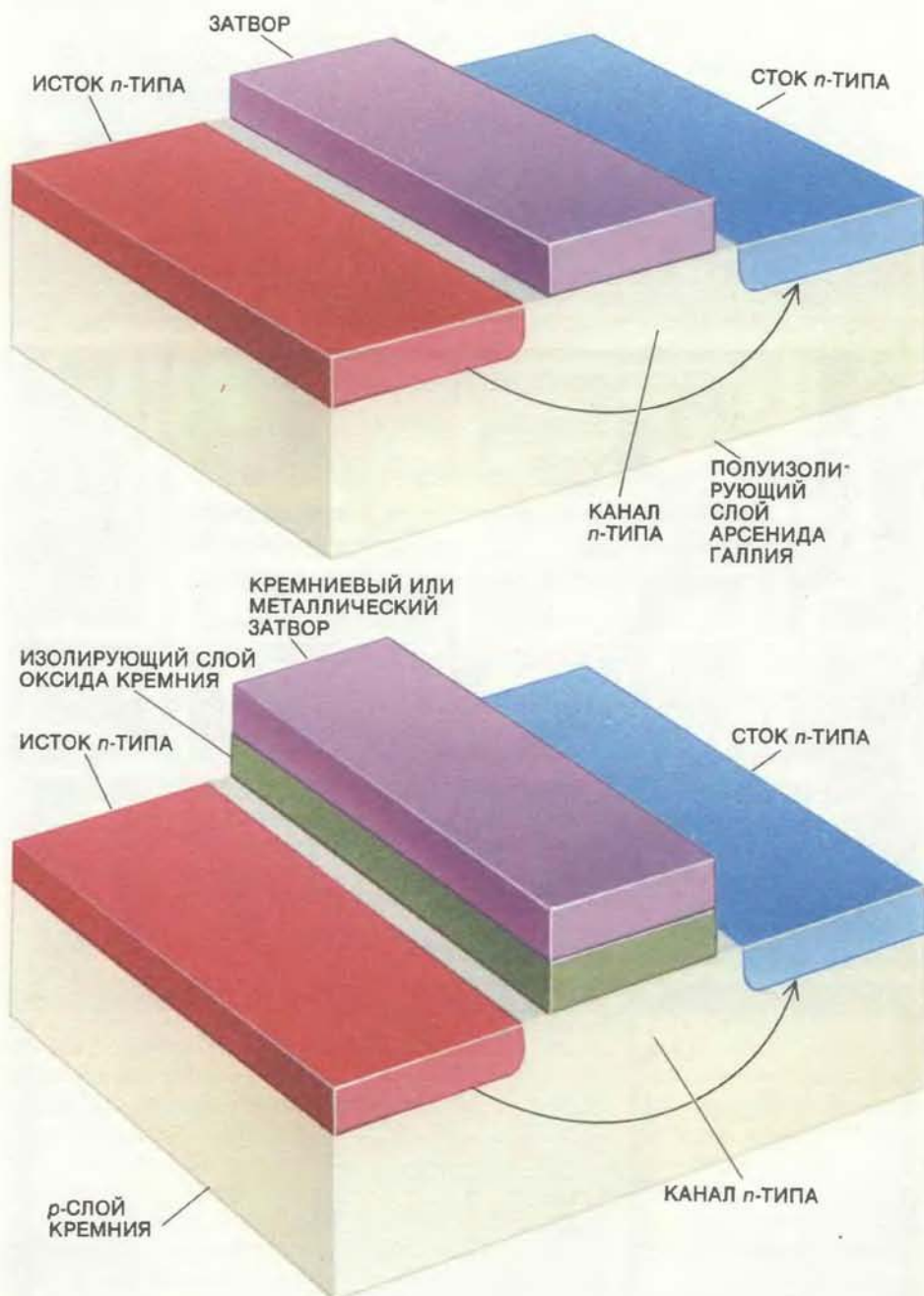
Больших изменений в ширине запрещенной зоны иногда можно достичь использованием различных подложек. Так, в лазерах на основе индия—галлия—мышьяка—фосфора, которые оптимальны для волоконно-оптической связи на большие расстояния, применяются подложки из фосфида индия.

ПРЯМОГО рассогласования между двумя кристаллическими слоями с нужными электронными свойствами иногда можно избежать выращиванием буферного слоя специально выбранной сверхрешетки. Такой буфер изготавливается из различных сплавов, межатомное расстояние в кристаллической решетке которых имеет промежуточную величину между значениями аналогичного параметра активных слоев; эти буферы компенсируют механические напряжения, действующие на несколько слоев. Буферные слои могут также изолировать интегральную схему от остаточных дефектов арсенидогаллиевой подложки. Именно выращивание слоев буферной сверхрешетки позволило значительно улучшить характеристики лазеров и транзисторов.

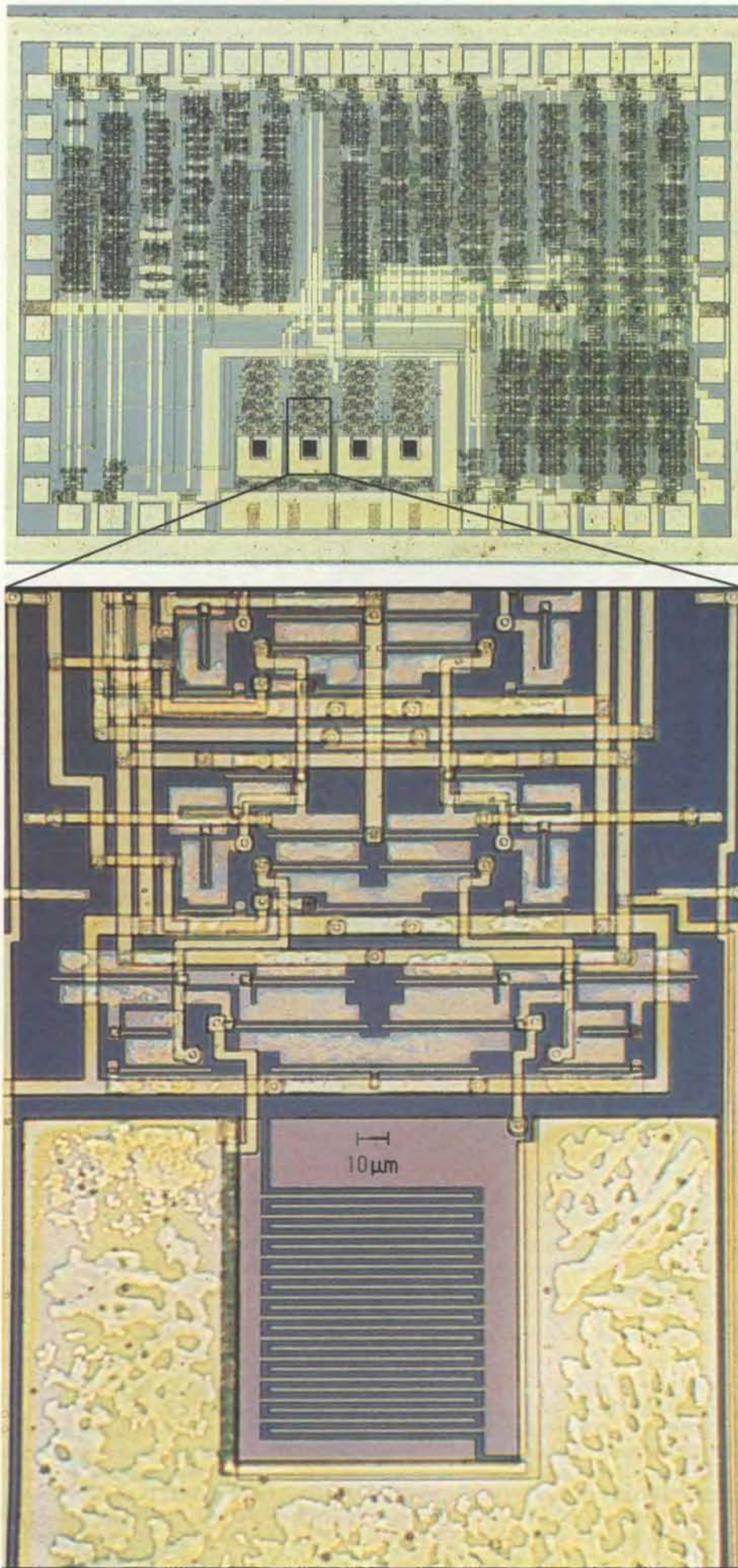
В 1979 г. Р. Дингл и его коллеги из

Bell Laboratories продемонстрировали конструкцию полевого транзистора с гетеропереходом, в котором канал из арсенида галлия находился под слоем арсенида галлия—алюминия. При этом слой арсенида галлия—алюминия был легирован донорными примесями; в итоге электроны атомов примесей оказывались в соседнем слое арсенида галлия как более узкозонном полупроводнике. То есть электроны и положительно заряженные ионы примесей (являю-

щиеся центрами рассеяния электронов) удалось разделить пространственно. Тем самым за счет устранения центров рассеяния подвижность электронов в слое арсенида галлия существенно увеличилась. Эта технология, называемая модулированным легированием, была быстро применена в производстве полевых транзисторов на основе арсенида галлия японской фирмой Fujitsu Laboratories и французской фирмой Thomson-CSF. Она позволила увеличить подвиж-



ПОЛЕВОЙ ТРАНЗИСТОР управляет прохождением электронов через канал, расположенный под электродом, называемым затвором. Когда к затвору прикладывается положительный потенциал, он притягивает электроны к поверхности подложки, создавая в канале проводимость n-типа. Канал пропускает электроны из области n-типа — истока в область n-типа — стока, перекрывая цепь, к которой они подключены. В аналогичной кремниевой структуре (внизу) между затвором и поверхностью полупроводниковой подложки создается слой оксида, который изолирует затвор от подложки. В обычной конструкции на арсениде галлия (вверху) затвор непосредственно контактирует с подложкой.



ность электронов при комнатной температуре примерно на 20%, а при охлаждении до 77 К транзисторы с модулированным легированием имели в три раза большую подвижность электронов, чем при обычном легировании.

Другая особенность арсенида галлия, которая позволяет увеличить быстродействие схем, заключается в том, что из него можно делать пластины с полуизолирующими свойствами. Такие пластины служат подложками, на которых формируются интегральные схемы. Кремниевые подложки в определенной степени являются электропроводящими из-за того, что кремний имеет меньшую запрещенную зону и в нем всегда имеется большее количество остаточных (нежелательных) примесей. Заряженные частицы этих остаточных примесей создают дополнительную емкость, которая снижает скорость прохождения сигнала через схему и, следовательно, уменьшает ее быстродействие. Наличие у арсенида галлия более широкой запрещенной зоны позволяет сделать его полуизолирующим либо путем полной очистки материала подложки от примесей, либо введением дополнительных примесей, компенсирующих влияние остаточных примесей. Такое преимущество арсенида галлия над кремнием не позволяет, однако, увеличить уровень интеграции и формировать на одном кристалле более нескольких тысяч приборов, так как расстояние между соединительными проводниками в этом случае становится уже настолько малым, что их емкость начинает сказываться на снижении скорости прохождения сигнала.

ПОМИМО двух указанных преимуществ арсенида галлия и его

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ КРИСТАЛЛ арсенида галлия принимает инфракрасное излучение фотодетектором (в рамке) со скоростью 1 млрд. бит/с и преобразует его в слабый электрический сигнал. Фотодетектор, электронный усилитель и схема обработки сигнала изготовлены на одном кристалле. Межсоединения делаются настолько короткими, что исключают наводки сигнала в цепи фотодетектора и предусилителя. Другая часть схемы, включающая несколько тысяч транзисторов, формирует восьмиразрядные слова (байты), которые затем поступают в компьютер. Такой кристалл является составной частью структуры из трех кристаллов, которая принимает и передает данные оптоэлектронным способом. Это устройство является опытным образцом фирмы IBM.

сплавов над кремнием — высокой подвижности электронов и возможности изменения ширины запрещенной зоны — отметим еще одну и, пожалуй, наиболее значительную его особенность, а именно способность генерировать и детектировать излучение ближнего инфракрасного диапазона. Когда электрон в арсениде галлия переходит из зоны проводимости в валентную зону, его потенциальная энергия выделяется в виде кванта электромагнитного излучения, или фотона. В кремнии подобные переходы возможны только при столкновениях электрона с какой-либо частицей, чтобы обеспечить выполнение закона сохранения импульса. Это различие в зонной структуре и объясняет, почему арсенид галлия в отличие от кремния способен выполнять оптоэлектронные функции.

Арсенид галлия как источник излучения представляет собой диод, в котором в результате легирования одна область кристалла *n*-типа (содержит избыток электронов в зоне проводимости), а другая *p*-типа (содержит избыток дырок в валентной зоне). Напряжение, приложенное к такому *p*—*n*-переходу инжектирует электроны и дырки через границу этих двух областей, создавая избыточную концентрацию электронов и дырок. В результате их рекомбинации энергия, соответствующая запрещенной зоне, выделяется в виде фотона.

Высокая эффективность электронно-дырочной рекомбинации (которая при определенных условиях сопровождается переходом большей части электрической энергии в световую) используется для создания известных электронных приборов — светодиодов. Светодиоды из арсенида галлия—алюминия или арсенида—фосфида галлия можно видеть во многих устройствах отображения информации (дисплеях) соответственно в виде светящихся красных или желтых точек. Предприятия по производству электронной аппаратуры ежегодно выпускают миллионы таких приборов.

Лазерные диоды генерируют более концентрированное излучение. Строго параллельные грани кристалла в таких приборах выполняют роль полупрозрачных зеркал. Свет, отражаемый такими зеркалами в область рекомбинации, стимулирует генерирование излучения такой же длины волны и того же направления. В результате создается направленный пучок когерентного излучения. Первые полупроводниковые диодные лазеры были изготовлены на основе *p*—*n*-перехода в арсениде галлия в независимых экспериментах в фирме IBM и General Electric в 1962 г. (В то же вре-

мя аналогичные приборы были созданы в Физическом институте им. П.Н. Лебедева АН СССР. — *Перев.*) Более совершенные приборы на основе зонной инженерии были позднее созданы на структурах, содержащих слои различного состава. Например, арсенидогаллиевые лазеры излучают в ближней инфракрасной области, соответствующей ширине запрещенной зоны арсенида галлия. Сплавы арсенида галлия с одним или более элементами (алюминием, индием, фосфидом) сдвигают запрещенную зону в сторону больших или меньших энергий, изменяя излучение лазера в видимую или инфракрасную область спектра.

СТОЛЬ же важным свойством арсенида галлия и его сплавов является способность детектировать (регистрировать) свет, который вызывает переходы электронов, обратные тем, что имеют место в светодиодах и лазерах. Фотоприемники (фотодетекторы) можно изготавливать на любую длину волны с помощью той же техники зонной инженерии, которая применяется для изготовления лазерных диодов. По сравнению с кремниевыми фотоприемниками на арсениде галлия обладают лучшим быстродействием благодаря их большей эффективности. Кроме того, они легче интегрируются в быстродействующие микросхемы на основе арсенида галлия.

Возможность такой интеграции — важный фактор как с точки зрения экономики, так и в смысле практического применения материала. Во-первых, как при всякой миниатюризации, повышенная интеграция значительно снижает стоимость одного прибора (за счет возможности изготовления на одной пластинке нескольких интегральных схем с несколькими тысячами приборов в каждой). Во-вторых, предусилительную часть схемы можно изготавливать вместе с фотодетектором и тем самым уменьшать длину и число нежелательных электрических связей. Благодаря этому снижаются различные нежелательные наводки электрических сигналов от соседних участков схемы. Помимо возможности интегрирования оптических и электронных функций имеется еще более заманчивая перспектива создания кристаллов, в которых один оптический сигнал непосредственно модулирует другой. Большое число такого типа схем уже разработано, но все они пока далеки от практической реализации.

Возможность генерировать и детектировать свет — не единственное преимущество арсенида галлия, кото-

рое потенциально можно использовать в различных специальных применениях этого материала. Так, широкий диапазон рабочих температур и высокая радиационная стойкость арсенида галлия открывают широкие возможности для его применения соответственно на транспорте и в военной технике.

ВЫЯВИТЬ замечательные свойства арсенида галлия еще не достаточно для того, чтобы их использовать и производить из этого материала высококачественную и дешевую продукцию. Эта наиболее важная из всех рассмотренных до сих пор проблем решается уже на уровне промышленной технологии, о чем далее мы будем говорить.

Арсенид галлия, так же как и кремний, служит основой для активных элементов интегральных микросхем, формируемых с учетом физических и химических свойств этого материала. Технология изготовления интегральных схем осложняется тем, что любая схема должна содержать другие элементы, изготавливаемые из полупроводниковых материалов. К числу таких элементов относятся металлические перемычки для взаимного соединения компонентов схемы, изолирующие прокладки, резисторы и емкости, управляющие электрическим током, а также легирующие примеси, поставляющие электроны и дырки.

Один из наиболее серьезных недостатков арсенида галлия и его сплавов заключается в том, что при нагревании на воздухе на нем не образуется технологически необходимая для надежной изоляции оксидная пленка, какая образуется на кремнии. Оксидная пленка обладает рядом электронных и механических свойств, которые используются в микросхемах. В полевых транзисторах (см. рисунок на с. 45) оксидная пленка, являясь диэлектриком, выполняет роль изолирующего элемента между затвором и каналом. В биполярных транзисторных схемах она используется для изоляции транзисторов друг от друга. Оксид кремния используется также при формировании транзисторов и интегральных схем в полупроводниковом кристалле. Он образует защитную маску, в которой формируют технологические окна. Через эти окна осуществляется химическое травление, осаждение проводящих металлических пленок и легирование примесью для создания активных областей приборов.

При изготовлении микросхем на основе арсенида галлия технологам приходится прибегать к различным, иногда не очень эффективным спосо-

бам создания маскирующих и изолирующих покрытий. В обычных конструкциях полевых транзисторов металлический электрод затвора наносится прямо на арсенид галлия; за счет образующегося на границе металл—полупроводник так называемого барьера Шоттки затвор управляет толщиной канала (см. рисунок на с. 45). В других конструкциях на арсениде галлия специально выращивают слой более широкозонного полупроводника арсенида галлия—алюминия, образующего изолирующий барьер. Хотя арсенид галлия—алюминия создает благоприятные условия для модулированного легирования (о чем уже говорилось), ни эта технология, ни барьер Шоттки не могут заменить изолирующие свойства оксида кремния, способного выдерживать широкий диапазон напряжений.

Другой важный недостаток арсенида галлия и его сплавов связан с тем, что этот материал является химическим соединением, а не чистым элементом. В элементарном кремнии различные дефекты могут исправляться за счет упорядочения положения атомов при отжиге, когда кристалл нагревают. Нагрев кристалла арсенида галлия приводит к испаре-

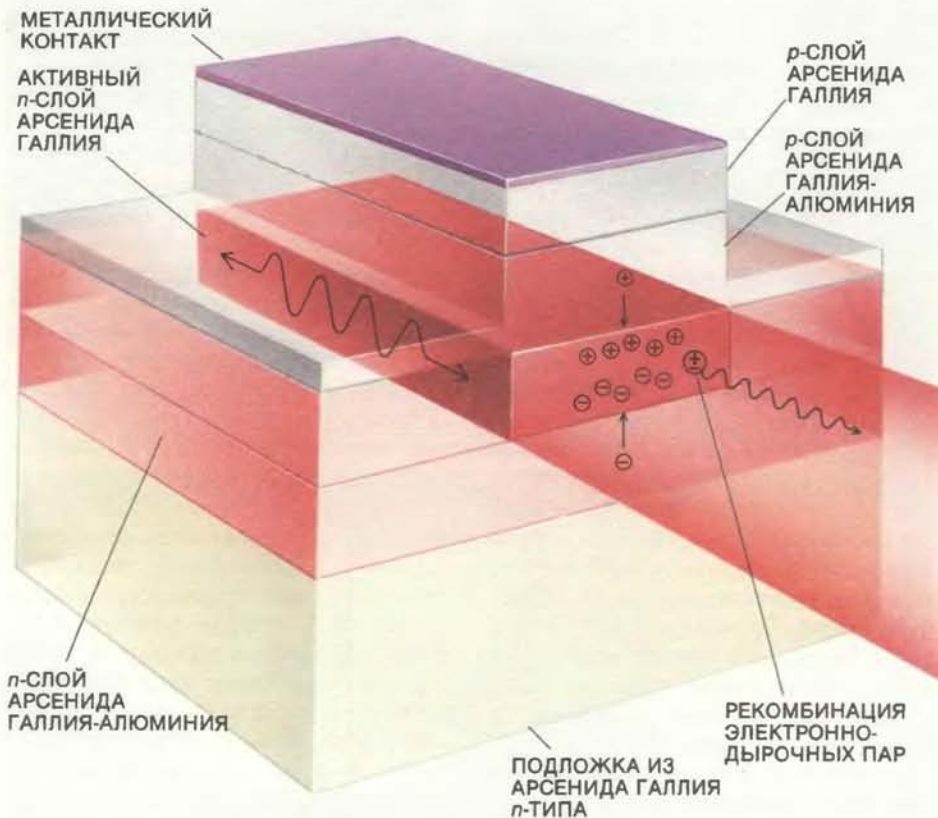
нию мышьяка. Различные дефекты возникают также и в процессе технологических операций при изготовлении интегральной схемы. Особенно сильно это проявляется при легировании полупроводника примесями методом ионной имплантации. В кремнии возникающие при этом дефекты легко устраняются при отжиге: все введенные в кристалл атомы примеси занимают соответствующие места в кристаллической решетке в процессе отжига при 1000°C в течение нескольких минут (за это время примеси не успевают испариться из кристалла через образующийся на его поверхности слой оксида кремния). Отжиг арсенида галлия после ионной имплантации даже при более низких температурах (около 800°C) не дает таких положительных результатов. Даже если применять специальные меры, то удастся лишь частично исключить испарение мышьяка и легирующих примесей: после отжига только 90—95% легирующих примесей становятся электрически активными.

В настоящее время испытывается новая технология, основанная на кратковременном циклическом отжиге в течение нескольких секунд и использовании специальных покрытий,

однако до сих пор практически приемлемого режима отжига арсенида галлия не найдено. Поэтому характеристики различных приборов на одном кристалле далеко не одинаковы и это обстоятельство наряду с другими факторами ограничивает возможно достижимый уровень интеграции. Если в одном кремниевом кристалле площадью 1 см^2 можно изготовить более миллиона транзисторов, то в арсениде галлия при использовании самой современной технологии удается разместить только десятки тысяч схемных компонентов. Учитывая, что стоимость обработки пластинок из арсенида галлия такая же или даже выше, чем стоимость обработки кремния (каждая пластинка состоит из нескольких кристаллов), указанный уровень интеграции существенно снижает достоинства арсенида галлия. Серьезным недостатком с экономической точки зрения следует также считать и меньший размер пластинок арсенида галлия; обычно их диаметр составляет 7,5—10 см. Используемые в настоящее время в электронной промышленности кремниевые пластины имеют диаметр 13—20 см.

ПРИМЕНЕНИЕ арсенида галлия в настоящее время ограничивается относительно дорогостоящей аппаратурой специального назначения. Наиболее широко этот полупроводник сейчас используется в первых каскадах быстродействующих и маломощных приемников и в оптических генераторах, для которых не существует альтернативных материалов. Применение арсенида галлия в цифровых схемах лишь начинается, и то только для дорогостоящих уникальных компьютеров. Предлагается также использовать арсенид галлия в микропроцессорах.

Пожалуй, наиболее распространенное применение этого полупроводника видится в арсенидогаллиевых детекторах излучения, устанавливаемых в фокусе параболических антенн в системах спутниковой связи. В этой области используется СВЧ-диапазон до 12 ГГц, в котором сигналы свободно принимаются быстродействующими приборами на арсениде галлия, причем не только принимаются и преобразуются в сигналы, пригодные для дальнейшего прохождения в электронной схеме, но и усиливаются почти без увеличения уровня шума. Усилители на кремниевых схемах, работающие в этом же диапазоне частот, имеют более высокий уровень шума, и следовательно, их чувствительность хуже. Большая степень интеграции, ставшая возможной в настоящее время, делает экономически рен-

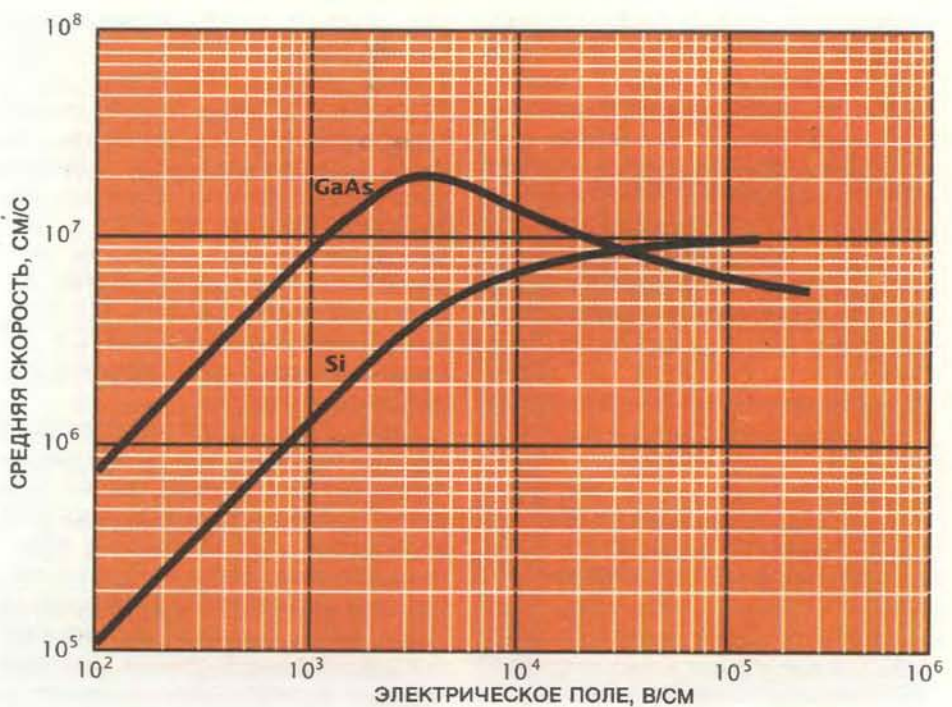


ЛАЗЕРНЫЙ ДИОД инжектирует дырки из p-слоя арсенида галлия—алюминия в активный слой арсенида галлия; в этот же слой инжектируются электроны из n-слоя арсенида галлия—алюминия. В результате рекомбинации электронов зоны проводимости с дырками валентной зоны разность энергии выделяется в виде кванта. Световые кванты распространяются в активном слое между гранями кристалла, выполняющими роль зеркал резонатора. Световые кванты, отраженные в активный слой, стимулируют излучение квантов света такой же длины волны и того же направления.

табельным использование таких маломощных схем в бытовой электронной аппаратуре, например в переключателях телевизионных программ, которые недавно были продемонстрированы фирмами Японии и европейских стран. Ожидается, что такие переключатели позволят получать четкое изображение даже при приеме предельно слабых сигналов.

Наиболее важной и становящейся все более широкой областью применения арсенида галлия, несомненно, является фотоэлектронная передача информации. С помощью света, распространяющегося по кварцевому волокну, можно передавать значительно большие объемы информации и гораздо быстрее, чем при передаче электрических сигналов по обычным проводам. Соединение цифровых и других систем оптическими волокнами получает все большее распространение. Уже используются трансконтинентальные и проложенные по дну океанов волоконные линии оптической связи. Расширяются масштабы применения оптических волокон в системах телефонной связи и кабельного телевидения. С целью увеличения расстояний и повышения быстродействия оптические волокна приходят на смену обычным кабелям и в системах межкомпьютерной связи. Такие оптические сети становятся частью самих систем цифровой обработки информации. Некоторые специалисты считают, что в ближайшие годы оптоэлектроника окажет столь же сильное влияние на научно-технический прогресс, какое уже оказала компьютеризация.

Диодный лазер так же отличается от газового лазера, как транзистор от вакуумной радиолампы; такую же аналогию можно провести между светодиодом и обычной лампой накаливания. В каждом случае полупроводниковые изделия имеют меньшие размеры, более эффективны и экономичнее в эксплуатации и дешевле в производстве, чем их аналоги. И эти отличия измеряются не несколькими процентами, а порядками величин. Превосходные свойства полупроводников позволили существенно улучшить качество электронной аппаратуры и перейти, например, от обычных электропроигрывателей к современным лазерным устройствам на компакт-дисках. В этой бытовой аппаратуре используются лазеры на арсениде галлия—алюминия, которые считывают запись с вращающегося диска. Лазеры на арсениде галлия—алюминия, работающие при повышенных мощностях, — неотъемлемый компонент используемых в современных компьютерах запоминающих уст-



СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ ЭЛЕКТРОНОВ в арсениде галлия в пять раз больше, чем в кремнии в электрических полях до 1000 В/см.

ройств на оптических дисках, с которых лазеры считывают хранящуюся на них информацию.

ТАКИЕ твердотельные лазеры являются исключительно подходящим объектом для зонной инженерии. Эта технология способна обеспечить точный контроль длины волны лазерного излучения. Видимый свет в красной области излучают лазеры на основе слоев алюминий—галлий—индий—фосфид, выращенных на подложке арсенида галлия и согласованных по параметру решетки. Такие устройства сейчас испытываются на возможность их применения вместо громоздких и неудобных в эксплуатации газовых лазеров, используемых в качестве сканирующего устройства в кассовых аппаратах для считывания кода, нанесенного на продаваемые товары, или с деталей на сборочных конвейерах предприятий автомобильной промышленности. Диодные лазеры на основе многокомпонентной структуры индий—галлий—мышьяк—фосфид широко используются в волоконно-оптических линиях связи на большие расстояния, так как такие лазеры могут генерировать излучение на длинах волн вблизи 1,3 и 1,5 мкм, которое слабо поглощается оптическим волокном.

Пока разработчики оптоэлектронной аппаратуры главное внимание уделяют улучшению параметров дискретных приборов, а не созданию на них интегральных схем. Большая часть этих работ сосредоточена в

крупнейших телефонных компаниях, обеспечивающих связь на большие расстояния и испытывающих потребность в средствах оптической связи на таких линиях, где стоимость единичного прибора играет не столь важную роль, поскольку она распределяется между многими абонентами. Поэтому в коммерческих системах применяют отдельные кристаллы для лазеров, для детекторов и для транзисторов.

Создание систем связи на оптических волокнах для сетей взаимосвязанных компьютеров в перспективе потребует большого количества менее дорогих оптоэлектронных приборов. Эта проблема может быть решена только путем создания больших интегральных схем. Оптоэлектронные линии связи в конце концов должны будут передавать данные со скоростью до миллиарда бит в секунду, а то и больше; обеспечить такие скорости передачи данных можно будет только с помощью полевых или биполярных транзисторов на основе арсенида галлия. Новейшие кремниевые биполярные транзисторы тоже способны справиться с этой задачей. Однако полевые транзисторы на арсениде галлия стали их серьезными конкурентами, поскольку они потребляют меньшую мощность и имеют перспективы на увеличение быстродействия.

В 1979 г. А. Ярив и его коллеги в Калифорнийском технологическом институте изготовили лазер и транзистор на одном кристалле арсенида галлия. Аналогичные приборы на фосфиде индия были изготовлены и в

исследовательских лабораториях японских фирм Matsushita и Nippon Electric. Поисковые работы с ориентацией на использование различных полупроводниковых соединений проводятся и в других лабораториях. Основная практическая трудность состоит в том, чтобы преодолеть несоответствие технологий, обеспечивающих получение оптимальных параметров транзисторов и лазеров, изготавливаемых на одном кристалле.

МОИ КОЛЛЕГИ из лаборатории по перспективным разработкам структур на арсениде галлия и из других подразделений фирмы IBM, работающие в шт. Нью-Йорк и в Швейцарии, недавно изготовили схему на трех кристаллах, быстродействие которой составляет 1 млрд. бит/с. Но эту скорость нельзя считать удовлетворительной, так как линия связи должна передавать данные в 10 раз быстрее, чем их обрабатывают компьютеры, которые эта линия соединяет. Такое соотношение связано с тем, что данные по линии связи передаются последовательно (бит за битом), в то время как в компьютерах они обрабатываются группами по восемь битов, или байтами (плюс два бита на коррекцию ошибок в процессе передачи). Наиболее быстродействующие компьютеры выдают поток информации с такой скоростью, которая превосходит пропускную способность соединительных кабелей, если их длина более 200 м (в этом случае два следующих друг за другом сигнала уже не разрешаются как отдельные). Оптоэлектронные системы с их огромной полосой пропускания постепенно заменяют все более короткие кабельные линии, связывающие компьютеры; в конце концов они придут на смену традиционным межблочным соединениям внутри самих компьютеров.

Наша схема состоит из трех кристаллов и соединяющего их жгута оптических волокон. Первый кристалл — арсенидогаллиевый передатчик осуществляет обработку сигналов, поступающих на его вход со скоростью 100 млн. бит/с, и передает их второму кристаллу, состоящему из линейки лазеров на арсениде галлия—алюминия. Один из четырех лазеров направляет сигналы по оптическому волокну со скоростью 1 млн. бит/с в третий кристалл — фотоприемник из арсенида галлия, в котором один из четырех фотодетекторов преобразовывает оптические сигналы в электрические импульсы. Эти импульсы подаются на вход арсенидогаллиевых транзисторов, которые усиливают их (см. схему, приведенную на рисунке на с. 46). Другие части схемы фотоприемника затем форми-

руют из поступающих сигналов серии байтов. На каждом конце оптоэлектронного волокна передатчик и фотоприемник на арсениде галлия связаны с кремниевыми интегральными схемами, которые фактически осуществляют параллельную обработку информации (байтов) как часть вычислительной системы. Однако по мере увеличения скорости обработки информации можно ожидать, что арсенид галлия будет использоваться для взаимосвязанных схем цифровой обработки информации.

Такие схемы являются ключевым звеном в системах цифровых вычислений, в которых арсенид галлия пока еще не получил достаточно широкого применения. Для построения обычных цифровых систем требуются схемы с высокой степенью интеграции (и стало быть, с низкой стоимостью каждой отдельной схемы), которые пока еще не достижимы для арсенида галлия. Как материал, обеспечивающий большее по сравнению с кремнием быстродействие, арсенид галлия используется пока только в наиболее ответственных узлах центральных компьютеров и суперкомпьютеров, для которых главным считается высокая производительность, а не стоимость. (Быстродействие современных суперкомпьютеров составляет до 200 млн. операций в секунду, что примерно в шесть раз выше, чем в самых быстродействующих компьютерах настольного типа.) Кроме того, высокой степени микроминиатюризации в таких специальных применениях нельзя достичь на кремнии, так как мощные кремниевые транзисторы выделяют огромное количество тепла и потому плотность их упаковки сильно ограничена. По этой причине кремниевые схемы приходится рассредоточивать по разным кристаллам, соединения между которыми приводят к задержке сигналов. Разработчики вычислительной техники, стремясь свести к минимуму эти задержки, стараются располагать функционально связанные схемы как можно ближе к другу.

До тех пор пока не удастся повысить уровень интеграции на арсениде галлия и добиться лучшей совместности, кремний будет оставаться основным полупроводниковым материалом в системах цифровой обработки. К тому же необходимо свести к минимуму внутренние межсоединения, чтобы все преимущества арсенида галлия, реализованные в одном кристалле, сказались на улучшении параметров всей системы. В проектах японских и американских суперкомпьютеров предусматривается достичь допустимый в настоящее время для арсенида галлия уровень интегра-

ции и плотность упаковки. Предполагается, что быстродействие первого суперкомпьютера на арсениде галлия «Cray-3» будет составлять 300 млн. операций в секунду.

НЕ ВСЕ недостатки арсенида галлия непреодолимы для технологии изготовления на его основе электронных приборов. Хотя в производстве изделий из арсенида галлия используются многие методы, которые впервые были разработаны и применены для кремния, такие как фотолитография, преимущество этого полупроводника есть результат больших финансовых вложений в прошлом и потому нельзя сказать, что кремний лучше арсенида галлия даже там, где он, казалось бы, работает не хуже. Кроме того, поскольку основной объем ассигнований на исследования полупроводников по-прежнему приходится на усовершенствование кремниевых структур, новый материал продолжает считаться недосягаемым для практических целей. Преимущества арсенида галлия как материала, способного обеспечить более высокое быстродействие и низкий уровень шума, а также возможность его использования в оптоэлектронике, должны быть по достоинству оценены, чтобы, несмотря на экономическую нерентабельность, технология производства приборов из арсенида галлия достигла такого же высокого уровня, как и в производстве кремниевых изделий.

Один из подходов, благодаря которому арсенид галлия может стать основным полупроводниковым материалом в массовом производстве вычислительной техники, заключается в упрощении компьютерных программ (RISC), предполагающем ускоренную обработку данных одним кристаллом с уменьшенным числом элементов, выполняющих специализированные операции. Несколько американских фирм, специализирующихся на выпуске рабочих станций, уже работают над созданием программ ускоренной обработки сигналов по методу RISC, реализовать которые можно будет только на устройствах из арсенида галлия. Современные кристаллы ускоренной обработки RISC основаны на кремниевых транзисторах, которые выполняют 35 млн. операций в секунду. Существующая кремниевая технология может утроить эту скорость. Однако скорости, превышающие 100 млн. операций в секунду, могут быть достигнуты только на схемах с транзисторами из арсенида галлия. Если ориентироваться на соображения экономической целесообразности, то современные рабочие станции должны собираться на схемах, содер-

жащих по меньшей мере 40 тыс. транзисторов на одном кристалле. Такой уровень интеграции уже достигнут в ряде компаний Калифорнии; ожидается, что в ближайшие год-два эти компании будут поставлять на рынок новые схемы. Видимо, только когда

компьютеры, линии компьютерной связи, телевизоры и проигрыватели на компакт-дисках будут производиться на схемах из арсенида галлия, мы сможем сказать, что технология будущего наконец-то стала реальностью.

Наука и общество

Новая техника для банков

В САМОМ сердце Манхэттена, в подвальном помещении обычного конторского здания, служащие банка Citibank проводят испытания будущей технологии взаимодействия клиентов с банком.

Уже более 10 лет Citibank, крупнейший в стране банк, в своей «лаборатории» втихомолку отработывает идеи новых услуг, которые банк сможет оказывать своим клиентам. Лаборатория «дает нам возможность свободного полета», говорит Л. Уэйс, возглавляющий в банке отдел разработок. В 70-х годах лаборатория внесла свой вклад в создание автоматов, выполняющих стандартные банковские услуги и получивших название обслуживающих терминалов. А недавно при участии лаборатории было сконструировано новейшее устройство, позволяющее клиенту совершать банковские операции, не выходя из дома, по телефону. Устройство получило название «усовершенствованного телефона», или сокращенно, «УТ».

Создание лаборатории, существование которой на протяжении многих лет хранилось в секрете даже от сотрудников банка, отражает стремление банка постоянно совершенствовать свою деятельность на основе современных технических достижений. (Корреспондентам нашего журнала было разрешено посетить лабораторию при условии, что они не будут разглашать сведений о ее местонахождении.) По оценке консультантов фирмы McKinsey, в 1988 г. банк израсходовал около 1,5 млрд. долл. на различные технические системы, от компьютеров до средств телекоммуникаций, что составляет приблизительно 13% суммарных расходов банка.

Хотя конструирование новых технических устройств обычно осуществляется компанией Transaction Technology, Inc., Уэйс все же больше полагается на лабораторию, когда нужно выявить, какие нововведения придутся по душе клиентам. «Это наш театр», — говорит Глория Мендес, возглавляющая лабораторию. Лаборатория получает опытный образец,

меняет декорации в своих помещениях, чтобы имитировать ту или иную обстановку — скажем, банковское служебное помещение или жилую комнату — и приглашает добровольцев испытать новое устройство.

Банк не тратит много времени на изготовление опытных образцов. Когда он начал отработывать конструкцию первого обслуживающего терминала, вице-президент лаборатории Д. Фэннон-младший сам прятался за дисплеем и выдавал деньги вместо автомата. Прозрачные в одну сторону стекла и система видеокамер, расставленных в помещениях лаборатории, не исключались. Сотрудники лаборатории наблюдали за клиентами и регистрировали их реакцию на устройство, а затем вносили соответствующие изменения в его конструкцию.

Усовершенствованные телефоны, которые Citibank планирует широко внедрить в начале 90-х годов, более двух лет отработывались в стенах лаборатории. По словам Уэйса, банк отработывал способы, позволяющие клиентам осуществлять финансовые операции, не выходя из дома. Выяснилось, что они неохотно прибегали к помощи своих персональных компьютеров как средств связи с банком. (Прямой доступ к банку в настоящее время имеют около 40 тыс. абонентов, намного меньше, чем банк считывал, но все же больше, чем у основных конкурентов.)

Группа разработчиков, возглавляемая Уэйсом, обратилась к системам, основанным на телефонной связи. Как вспоминает Фэннон, в лаборатории были опробованы десятки конструкций, прежде чем специалисты пришли к окончательному выводу, что в первую очередь устройство должно выглядеть и работать как обычный телефонный аппарат, и лишь во вторую очередь быть инструментом для банковских операций. Сообщения, выводимые на экран, также прошли тщательную проверку. Люди чувствовали себя наиболее комфортно, когда сообщения выглядели достаточно дружелюбными, но в то же время нелегкомысленными.

«Мы постарались создать максимально знакомую обстановку», — за-



УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ ТЕЛЕФОН, разработанный в банке Citibank, может выводить на экран банковские счета клиента и другие интересные его данные. Аппарат может использоваться и как обычный телефон.

явил Уэйс. Клиент может сделать обычный телефонный звонок или, нажав на кнопку, вызвать на встроенный экран перечень возможных действий. Затем он может быстро установить связь и ввести соответствующие числа, воспользовавшись подвижной клавиатурой, или получить доступ к своему банковскому счету. После того как клиент выбрал среди прочих услуг доступ к банковскому счету, на экране появляется другой перечень, включающий такие операции, как выдача информации о текущем балансе, платежах, о текущем банковском проценте в Citibank и т. д. После завершения операции на экране появляется традиционная для Citibank фраза: «Спасибо. Всегда рады обслужить Вас».

В банке говорят, что техника используется не для того, чтобы заменить ею персонал, указывая при этом, что за последнее десятилетие банк увеличил количество своих служащих, несмотря на то, что его затраты на технические средства значительно возросли. Тем не менее внедрение этих средств вызывает некоторое беспокойство у служащих. Уэйс подчеркивает, что новый телефон, как и вообще любая новая техника, помогает персоналу банка перейти от простого обслуживания клиентов к предвидению их потребностей.

Тем временем внизу, в лаборатории, Мендес и Фэннон заняты сменой декораций в помещениях.

Взаимопомощь у вампиров

Не напившись крови в течение двух ночей подряд, вампир умирает голодной смертью, если только не выпросит пищу у другой особи. Система взаимопомощи обеспечивает равномерное распределение пищи у этих летучих мышей

ДЖЕРАЛД С. УИЛКИНСОН

ПО НОЧАМ, когда большинство хищников, руководствующихся зрением, уже давно прекратили охоту, летучие мыши-вампиры снимаются со своих дневных «насестьев» и летают низко над землей в поисках теплокровной добычи. За 1—2 часа вампир находит подходящую жертву и, напившись ее крови, возвращается на насест поспать, покормить детенышей и пообщаться с другими особями.

Еще недавно было мало известно о поведении и образе жизни обыкновенных вампиров, *Desmodus rotundus*. Многие годы биологи больше интересовались физиологией этих животных, чем их социальной организацией, которая считалась относительно простой. Однако в последнее время проделан ряд работ, показавших, что вампирам свойственны сложные взаимодействия между особями. Самки в течение дня висят гроздью, а по ночам перегруппировываются, образуя подвижную социальную организацию, поддерживающуюся в течение многих лет. Более того, стало известно, что в длительно существующих ассоциациях самки в определенных ситуациях делятся друг с другом пищей и тем самым значительно повышают свои шансы на выживание.

Причины такого поведения выявились в результате исследований, проведенных более 15 лет назад Б. Макнабом из Флоридского университета. Он показал, что вампир умирает, если ему не удастся покормиться в течение двух ночей подряд. После 60 часов голодания животное теряет около 25% своего веса и не может больше поддерживать критическую температуру тела. Для нормальной жизнедеятельности вампиру нужно ежедневно небольшое количество крови — 50%, а иногда даже 100% от веса тела. Однако добыть кровь не всегда бывает легко, особенно молодым особям, которые должны научиться кусать быстро, не причиняя при этом боли своей жертве. Мне приходилось наблюдать

лошадей, которые трясали головой, хлестали хвостом и терлись о загородку, когда их осаждали голодные вампиры. Чтобы избежать такого защитного поведения жертвы, вампиры посещают несколько ночей подряд одно и то же животное (т. е. пользуются знакомой «мишенью») или же сосут одна за другой из свежих ран. И все же каждую ночь от 7 до 30% особей остаются голодными. Выпрашивая пищу у других членов грозди, вампир может избежать голодания по крайней мере еще на одну ночь и получить лишний шанс добыть пищу.

В 1978 г. У. Шмидт из Боннского университета представил первые доказательства того, что самки вампиров отгрыгивают кровь своим детенышам. К этому времени он уже более 10 лет наблюдал за летучими мышами в башне Поппельсдорфер Шлосс — старом здании, в котором сейчас располагается главный исследовательский корпус Зоологического института. Шмидт обнаружил, в частности, что вскоре после рождения детенышей их матери, помимо вскармливания молоком, отгрыгивают им кровь. Оказалось также, что в некоторых случаях детеныш может получать кровь не только от своей матери. Однажды он видел, как осиротевшего детеныша кормила приемная мать. Такое поведение, когда пища делится между неродственными особями, у млекопитающих встречается очень редко. Кроме летучих мышей-вампиров, оно известно еще только у диких собак, гиен, шимпанзе и человека.

Казалось, что дележ пищей у вампиров альтруистичен: особь-донор отдает пищу, которая могла бы способствовать ее собственному выживанию или выживанию ее потомства, особи-реципиенту, шансы на выживание которой повышаются без какой-либо видимой платы за это. Однако до сих пор нет достоверных данных об истинном альтруизме у какого-либо вида живых существ, кроме че-

ловека. Вероятно, дело в том, что такая односторонняя система эволюционно нестабильна, поскольку доноры, утрачивая ресурсы, оказываются в проигрыше по сравнению с реципиентами, которые, приобретя дополнительные ресурсы, могут за счет этого дольше прожить, оставить больше потомков и передать больше своих генов следующему поколению. Тщательное изучение альтруистического поведения у животных показало, что многие внешне истинно альтруистические акты на поверку либо осуществлялись между родственниками (и таким образом были формой отбора родичей), либо между неродственными особями совершался более или менее эквивалентный обмен ресурсами, т. е. имел место реципрокный (перекрестный) альтруизм.

УЗНАВ о работе Шмидта, я заинтересовался желанием изучить вампиров в их естественных местообитаниях и выяснить, что представляет собой свойственная им форма альтруизма — отбор родичей, реципрокный обмен или и то, и другое. Я отправился на Коста-Рику, и там, при участии Р. Вайсса, М. Джонса и Т. Лэмпа, в течение в общей сложности 26 месяцев в 1978—1983 гг. изучал популяцию *Desmodus rotundus*.

Я надеялся выяснить, служит ли отгрыгивание крови для кормежки только родственников и, следовательно, способствует отбору родичей, или же происходит реципрокный обмен пищей (между неродственными особями или между родственника-

ОБЫКНОВЕННЫЙ ВАМПИР, *Desmodus rotundus*, распространен от южных районов Мексики до Аргентины и Чили, особенно в тех районах, где земля используется под пастбища. Днем самки собираются в пещерах и полых деревьях, а ночью вылетают на поиски теплокровной добычи.

ми). Для доказательства реципрокности необходимо было продемонстрировать выполнение пяти критериев: ассоциации самок должны существовать в течение длительного времени, так что каждая имеет большое, но непредсказуемое число возможностей делиться пищей; для данной особи вероятность дележа пищи с другой особью грозди должна быть предсказуема на основе предшествующей принадлежности каждой к той или иной ассоциации; роли донора и реципиента должны часто меняться местами; кратковременная выгода для реципиента должна быть больше, чем цена помощи для донора; доноры должны уметь распознавать и изгонять из системы мошенников.

ВАМПИРЫ, обычные в тропической Америке повсюду, где имеются пастбища, представлялись идеальным объектом для моего исследования. Местом работы я выбрал ранчо под названием Хасиенда Ла Пасифика, на котором держали крупный рогатый скот, в северо-западной части Коста-Рики (теперь там научно-исследовательская станция — Эколо-

гический центр Ла Пасифика). Я обнаружил, что в отсутствие пещер вампиры проводят дневное время суток в полых деревьях, где постоянная температура, высокая влажность и темно даже днем. У большинства таких деревьев в Ла Пасифика есть только одно отверстие у основания ствола; мы наблюдали за летучими мышами лежа внутри этого отверстия и всматриваясь вверх при помощи бинокля и источника рассеянного света. В течение нескольких месяцев, постепенно увеличивая количество света, мы приучили животных к своему присутствию и могли наблюдать за их взаимодействиями друг с другом. Единственное отверстие в основании дерева давало еще и другое преимущество: мы закрыли его мелкоячеистой сетью и ловили вампиров, когда ночью они отправлялись охотиться. Благодаря этому удалось их пометить и проследить индивидуальное поведение.

Было обнаружено, что вампиры вылетают на поиски добычи каждую ночь; время вылета варьирует в зависимости от фазы луны: если снаружи слишком светло, животные ждут, по-

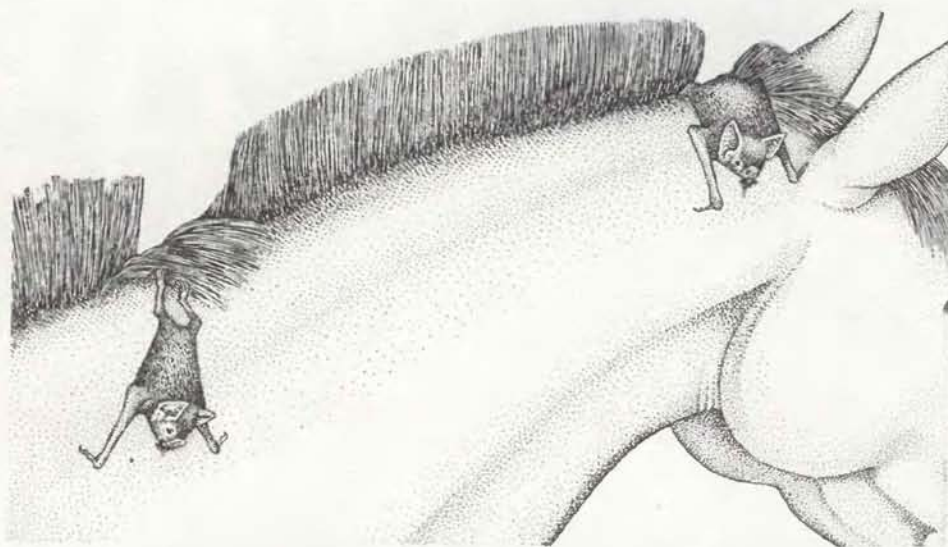
ка зайдет луна. В отличие от двух других видов кровососущих летучих мышей (белокрылого вампира *Diaemus youngi* и мохноногого вампира *Diphylla ecaudata*), сосущих кровь в основном у птиц, *Desmodus rotundus* питается преимущественно кровью млекопитающих, предпочитая лошадей и коров. Летучие мыши ищут добычу, руководствуясь запахами, звуками, а также с помощью эхолокации.

Найдя жертву, вампир садится ей на хвост или гриву и, повиснув, выбирает подходящее место для укуса, при помощи специализированных термочувствительных клеток в носу определяя, где кровеносные сосуды близко подходят к поверхности. В таком месте животное быстро вырезает небольшой кусочек кожи своими острыми, как бритва, верхними резцами и начинает кормиться. Антикоагулянт, содержащийся в слюне вампира, не дает крови сворачиваться в течение 20—30 мин, пока он насытится. Затем вампир, живот которого заметно раздут, возвращается на «наест», где остается до следующей ночи. По мере того как летучие мыши возвращались в свое дупло перед рассветом, мы их





ВНЕШНИЙ ВИД ВАМПИРА отражает характер его питания. Крупные уши помогают искать добычу и ориентироваться путем эхолокации. Летучие мыши испускают высокочастотные сигналы, которые отражаются от препятствий, и ушами улавливают эхо. Хемо- и терморецепторы, расположенные в широком и плоском носу, позволяют вампиру обнаружить подходящую добычу. Найдя удобное для укуса место, зверек своими острыми, как бритва, резцами выгрызает кусочек кожи жертвы и пьет ее кровь. В слюне вампира содержатся антикоагулянты, которые не дают крови жертвы сворачиваться.



ДОБЫЧА обыкновенного вампира — это различные млекопитающие, предпочтительно лошади и крупный рогатый скот. Обычно вампир садится на хвост или гриву животного и висит 20—30 мин, высасывая кровь. Жертва не всегда остается невозмутимой — она может встряхивать головой или махать хвостом, пытаясь согнать кровососа. Когда вампиру не удастся добыть пищу в течение двух ночей подряд, он умирает голодной смертью, но может ее избежать, если другая особь отрыгнет ему часть добытой ею крови.

отлавливали, чтобы выяснить, кто из них успешно покормился прошедшей ночью.

Первой задачей было пометить всех летучих мышей в районе исследования. Для этого мы использовали легкие разноцветные кольца; самкам кольца надевали на левое запястье, самцам — на правое. К каждому кольцу был прикреплен кусочек отражающего свет материала, благодаря которому удавалось узнавать зверьков даже при очень низком уровне освещенности в дупле. После того как кольцевание завершилось, мы случайным образом выбирали особь для наблюдения и регистрировали ее поведение с 10-секундными интервалами сериями по 100 регистраций. В целом было помечено 600 животных и проведено более 400 часов таких наблюдений. Раз в неделю делалась перепись вампиров в каждом дереве, чтобы установить распределение по ассоциациям животных, занимающих один дневной «наест». Затем 37 животных «снабдили» радиопередатчиками, что позволило установить степень и величину перекрытия их кормовых участков.

ОКАЗАЛОСЬ, что в социальной организации вампиров преобладают группы, состоящие из 8—12 взрослых самок и равного числа детенышей. Детеныши рождаются в течение всего года, у каждой самки приблизительно раз в 10 месяцев; молодые самки остаются со своими матерями, а самцы покидают их в возрасте 12—18 месяцев, когда достигают половой зрелости. В отличие от некоторых других тропических видов летучих мышей, у которых самцы защищают «гаремы», у вампиров самцы защищают территории. В пределах дупла между самцами устанавливается иерархия доминирования; особь, добившаяся высшего ранга («альфа»), занимает положение у вершины дупла, где висят гроздью самки. Самцы яростно охраняют свои территории от чужаков и дерутся иногда до смерти. В роли чужаков выступают те самцы, которые обычно устраиваются на дневку в одиночку или малыми группами на деревьях, редко посещаемых самками.

Наблюдая за ассоциациями вампиров, мы с удивлением обнаружили, что их социальная организация и устойчива, и подвижна одновременно. Животных, обитавших в районе наших исследований, можно было подразделить на 3 группы примерно по 12 особей; каждая из групп в свою очередь подразделялась на более мелкие. Эти 3 группы были изолированы одна от другой, внутри же групп со-

став подгрупп постоянно варьировал. Каждая группа обладала исключительными правами примерно на 6 деревьев, и один или два раза в неделю самки меняли насест (иногда перетаскивая с собой в другое дерево детенышей). В результате таких перемещений подгруппы перетасовывались.

Поскольку молодые самки остаются вместе со своими матерями, то обычно в одном дереве живут вместе несколько поколений. Судя по результатам биохимического анализа крови, в грозди только 50% детенышей — дети одного отца. Причина этого, видимо, в том, что в противоположность самцам самкам не свойственна приверженность к какому-то конкретному дереву, и таким образом, они периодически могут спариваться с новыми самцами. К тому же, по непонятным причинам, самки время от времени меняют группу (возможно, потому, что становится трудно находить пищу); в среднем каждые два года к группе присоединяется новая самка. В результате в каждой группе существует несколько материнских линий; внутри этих линий степень родства высокая, а между ними — низкая.

Анализ ассоциаций на «насесте» показал, что каждая взрослая самка среди других самок предпочитает определенных особей, причем это предпочтение нельзя объяснить просто физическими особенностями самого «насеста». Кроме того, предпочтение, по-видимому, проявляется не только к родственникам, но и к неродственным особям; такие данные говорят в пользу теории реципрокного обмена. Коль скоро вампиры избирательны в

отношении друг друга, следует ответить на такой вопрос: остаются ли животные вместе в течение длительного времени и, следовательно, есть ли благоприятные условия для того, чтобы установилась и сохранялась система взаимной поддержки?

Ответ, видимо, будет утвердительным. Р. Лорд (в настоящее время сотрудник Пенсильванского университета) на основании подсчета годичных колец на зубах определил максимальную ожидаемую продолжительность жизни вампиров; по его данным самки могут жить до 18 лет. Кроме того, по данным кольцевания, проведенного Т. Флемингом из Университета Майами в 1970-х годах, в Ла Пасифика по меньшей мере две самки устраивались на «насест» вместе в течение более чем 12 лет. Принимая во внимание большую продолжительность жизни и то, что каждая особь периодически терпит неудачу в добычании корма, можно заключить, что у вампиров выполняется первый критерий реципрокного обмена пищей: животные способны поддерживать стабильные, продолжительные связи друг с другом, и существует постоянная возможность для дележа пищи между особями.

НА СЛЕДУЮЩЕМ этапе исследования надо было определить, происходит ли отрывание пищи другой особи в группе случайным образом либо самки делятся пищей только с близкими родственниками или особями, долгое время занимающими тот же «насест», как предсказывают теория отбора родичей и теория реципрокного обмена соответственно.

Для этого требовалось оценить относительную частоту (в расчете на одну особь) дележа пищей и других форм поведения в естественных условиях.

За 5 лет мы зарегистрировали 110 случаев отрывания крови. Из них 70% произошли между матерью и ее детенышем и, следовательно, рассматривались как родительская забота. В остальные 30% вошли случаи кормления самками чужих детенышей, кормления взрослыми самками других взрослых самок и два случая кормления детенышей взрослыми самцами.

Чтобы установить, отгрызают ли вампиры пищу друг другу избирательно, мы учитывали степень родства между донором и реципиентом, а также показатель ассоциированности (долю времени, которую данные две особи проводят в одной группе на «насесте»). При этом всякий раз оценивалось, больше ли отгрызается крови, чем при случайном выпрашивании пищи реципиентом у всех потенциальных доноров «насеста». Мы обнаружили, что и родство, и принадлежность к одной ассоциации имеют значение для предсказания результатов выпрашивания пищи: вампиры делятся пищей не случайным образом, а предпочтительно с теми особями, которые часто бывают их соседками по насесту, и часто, но не всегда, им родственны. Эти данные поддерживают как теорию реципрокности, так и теорию отбора родичей.

Мы решили экспериментально выяснить, существует ли у вампиров реципрокность. Если им свойствен реципрокный альтруизм, то помощь должна оказываться только тем осо-



ИЗУЧЕНИЕ ВАМПИРОВ в полевых условиях сопряжено с неудобствами для исследователя. Летучие мыши охотятся ночью, а днем висят внутри полых деревьев, а также в пещерах и других темных местах. Автор и его помощники проводили по несколько часов в день, лежа на спине и всмат-



риваясь вверх при слабом освещении (слева). Зверьков метили цветными кольцами, одевавшимися на запястье (справа), что позволяло различать животных индивидуально и следить за их взаимодействиями на протяжении длительного времени.

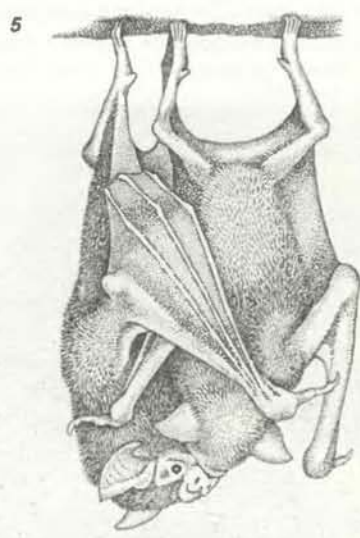
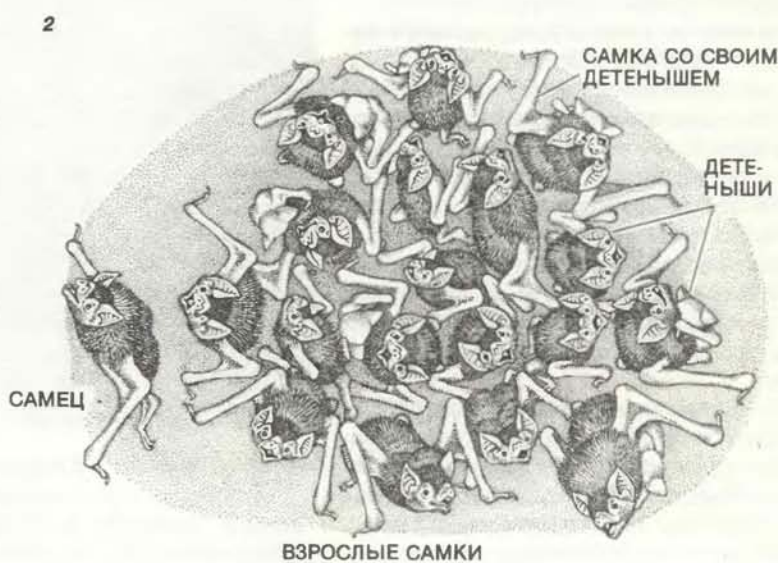
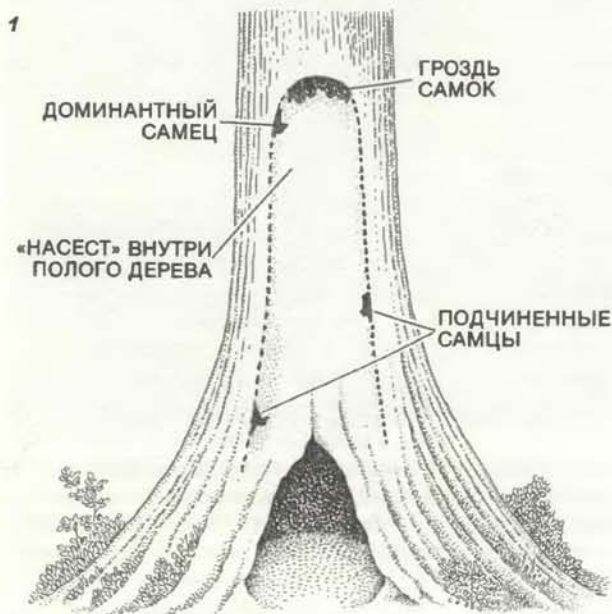
бям, которым непосредственно угрожает голодная смерть и доноры должны прежде всего «расплачиваться» с теми особями, которые раньше кормили их. Для проверки этих предсказаний мы поймали четырех взрослых самок в Ла Пасифика и четырех — в другом районе исследований — в Национальном парке Санта Роза, расположенном примерно в 50 км к северу. Эти особи были ранее помечены и, судя по меткам, две самки из Ла Пасифика являлись бабушкой и внучкой (т. е. были родственны друг другу на 1/4), а остальных не связывали родственные отношения, но они характери-

зовались высокой степенью ассоциированности на «насесте».

Сначала этих животных приучили к неволе, причем кормили их по ночам из градуированных стеклянных бутылочек, что позволяло регистрировать количество крови, поглощаемое каждой особью за кормление. Когда вампиры освоились в клетках, мы стали каждую ночь случайным образом выбирать одну особь, отсаживали ее в отдельную клетку и не давали пищи. На следующее утро этого зверька возвращали в общую клетку и наблюдали за его взаимоотношениями с остальными. Оказалось, что отрыги-

вание крови происходило почти всегда между особями из одной популяции и только один раз это имело место между чужими друг другу животными. Более того, дележ пищи был неслучайным даже среди особей с высоким уровнем ассоциированности на «насесте». Между неродственными вампирами устанавливалась система взаимного обмена, так что две особи кормили почти исключительно друг друга — весьма надежное свидетельство в пользу того, что они регулярно меняются ролями.

Критерием реципрокного обмена является также то, что затраты доно-



САМЦЫ И САМКИ вампиров часто подвешиваются на день в одном и том же дереве (1). Самки гроздью висят вверху полости дерева, на расстоянии 4 м от земли и более; там их охраняет единственный доминантный самец. В том же дереве обитают 2—3 подчиненных самца, располагающихся ниже. В одном дереве собирается до 12 самок, каждая с детенышем; детеныши изображены разного размера, потому что рождаются на протяжении всего года (2). Хотя состав групп на одном таком «насесте» день ото дня меняется, некоторые самки держатся вместе в течение многих лет и де-

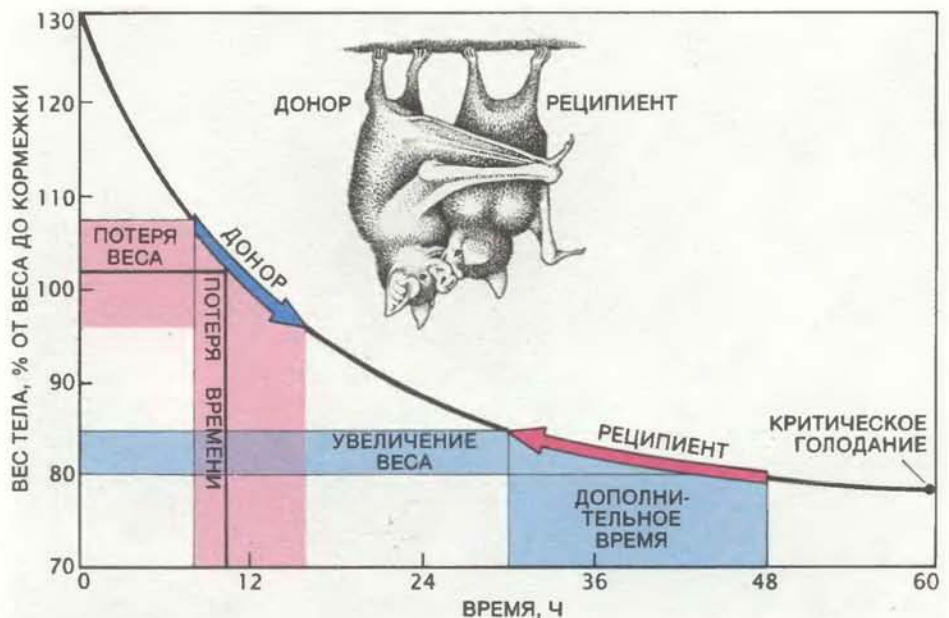
лятся пищей друг с другом, отрыгивая добытую кровь. Такое поведение представляет собой форму реципрокного альтруизма. Голодный зверек просит пищи у потенциального донора сначала путем груминга (3), который состоит в вылизывании другой особи под крыльями, а затем облизывая ему губы (4). В ответ на выпрашивание донор отрыгивает кровь (5). Кормят друг друга только те особи, которые длительное время принадлежали к одной ассоциации или близкородственны между собой.

ра на отдаваемую пищу должны быть относительно меньше, чем польза, которую она приносит реципиенту. Иными словами, когда вампир отгрыгивает кровь другой особи, спасая ей жизнь, это не должно быть сопряжено с существенным риском для него самого. Чтобы проверить, так ли это, следовало определить цену и выгоду дележа пищей двумя способами: непосредственно — измеряя количество крови и частоту ее заглатывания, необходимые для предотвращения голодной смерти, и косвенно — оценивая с помощью компьютерного моделирования влияние дележа пищей на выживание в течение длительного времени.

По результатам работы Макнаба и нашим данным вампир, чтобы не умереть от голода, должен каждые 60 ч поглощать от 20 до 30 мл крови. Кроме того, было известно, что, находясь на грани голодной смерти, вампир может прожить еще до 12 ч и получает дополнительный шанс найти пищу, если ему даст кровь другая особь. Отгрыгнув кровь, донор утрачивает пищу, которая может обеспечить ему 12 ч жизни, но если он только что покормился, то у него впереди 36 ч и две ночи охоты, прежде чем голод станет угрожающим. Согласно теории реципрокного обмена, донорский корм получит только та особь, которой осталось менее 24 ч жизни. Наш эксперимент, в котором вампиры, содержащиеся в неволе, лишались пищи на периоды длительностью 24 ч, показал, что именно так оно и есть.

Но для того, чтобы действовала система реципрокного обмена, необходимо, чтобы вампиры, занимающие один «наест», узнавали друг друга и могли обнаруживать и исключать из системы мошенников, т. е. особей, которые выпрашивают кровь, но сами не отвечают на выпрашивание. Хотя еще не доказано, что мошенники существуют или что они исключаются из системы, есть указания на способность вампиров к индивидуальному узнаванию. Прежде всего, по нашим наблюдениям, в неволе отгрыгивают друг другу пищу только те особи, которые находились в одной ассоциации. Стало быть, они должны каким-то образом узнавать друг друга.

Косвенные данные подтверждают, что во взаимном узнавании особей с одного «наеста» определенную роль играет груминг. Вампиры ежедневно более 5% времени проводят чистя и вылизывая друг друга. Это поведение, по-видимому, является важной предлюдей к отгрыгиванию крови: голодные особи часто чистят потенциальных доноров (самок, которые недавно покормились). Как и отгрыгива-



АНАЛИЗ ВЫГОДЫ И ЗАТРАТ при дележе пищей у вампиров показывает, что выгода для реципиента больше, чем затраты донора. Взрослых самок взвешивали по возвращении на «наест» после кормежки, а затем каждый час на протяжении 24 ч. Вес особи, которая успешно покормилась, при возвращении достигает 130% веса до вылета на охоту (половина веса поглощенной крови теряется за счет мочеиспускания в течение первого часа после кормежки). Если же животное не ело две ночи подряд, его вес падает на 20%. После отгрыгивания сгущенной крови вес донора понижается, например со 108 до 103% от веса до кормежки, но при этом время до критического голодания для него сокращается только на 3 ч. Реципиент прибавляет в весе с 80% до 85% и выигрывает 18 ч времени. Таким образом, выгода реципиента больше, чем затраты донора.

ние крови, груминг чаще наблюдается между особями, которые близкородственны или принадлежат к одной ассоциации, нежели между чужими друг другу.

Дополнительные факты в пользу того, что летучие мыши узнают друг друга, обнаружил Шмидт. Он и работавшие с ним студенты, анализируя сонограммы летучих мышей, выявили индивидуально различающиеся вокализации. Такие «контактные крики» часто сопровождают груминг и имеют акустические характеристики (изменчивую частоту и низкую интенсивность), необходимые для кодирования индивидуальной идентичности. Акустические сигналы (и, возможно, ольфакторные признаки) этого типа, по-видимому, позволяют вампирам узнавать друг друга, а также мошенников.

ТАКИМ образом, представляется вероятным, что и реципрокность, и отбор родичей способствуют дележу пищей между особями, занимающими один «наест», и что отгрыгивание крови выгодно — по крайней мере, на короткое время — для реципиента. В какой мере это поведение может влиять на общий уровень выживания популяции? Чтобы утверждать, что реципрокность может быть эволюционно стабильна, надо показать, хотя бы теоретически, что у жи-

вотных, которые делятся пищей друг с другом, выживаемость выше, чем у тех, которые не делятся.

Судя по результатам отловов сетями, каждую ночь в среднем около 30% неполовозрелых вампиров (моложе 2 лет) не удается добыть пищу; а среди половозрелых — только 7%. Полевые наблюдения показали, что неудачи в кормежке распределены между особями случайно: в пределах данной возрастной группы для всех особей вероятность остаться без еды примерно одинакова. Располагая этой информацией, мы с помощью компьютера определили, что годовая смертность взрослых особей при отсутствии обмена пищей (считая, что каждую ночь 7% не питаются и что голодание в течение 2 ночей подряд приводит к смерти) составит около 82%. Поскольку в действительности смертность среди взрослых вампиров составляет всего 24% в год, можно сделать вывод, что естественный отбор должен благоприятствовать дележу пищей.

У вампиров развилась система обмена пищей, предполагающая кормление нуждающихся животных другими особями, занимающими один с ними наест. Хотя такое поведение подвергает донора риску, повышается вероятность того, что реципиент выживет следующей ночью. Более того, наши исследования показали,



МЕКСИКАНСКИЙ СКЛАДЧАТОГУБ и некоторые другие летучие мыши растят своих детенышей в «яслях», в которых может находиться миллион и более новорожденных. Несмотря на плотность размещения детенышей — 3875 особей на 1 м², — матери (одна из них видна вверху слева) в 83% случаев находят своих собственных детенышей и только изредка кормят чужих.

что особи, которые отгрызают кровь своим соседям по насесту, получают непосредственное преимущество для своего собственного выживания и иногда выживания своих родственников. Отсюда следует, что в этой системе действуют и реципрокный обмен, и отбор родичей.

Свойствен ли дележ пищей только вампирам? Не совсем. У нескольких видов насекомоядных летучих мышей, включая обыкновенного длиннокрыла *Miniopterus schreibersi*, мексиканского складчатогуба *Tadarida mexicana* и американского гладконоса *Nycticeius humeralis*, самки кормят не только своих, но и чужих детенышей.

Обыкновенный длиннокрыл детально еще не изучен. Г. Маккрэкен со своими учениками из Теннесийского университета в Ноксвилле последние 9 лет изучает выкармливание детенышей у складчатогубов. Несколько миллионов таких летучих мышей обитают в пещерах на юго-западе США. Каждый год они синхронно рожают детенышей, и молодняк содержится в «детских яслях», где плотность детенышей достигает 3875 на 1 м². Самки могут подвешиваться где угодно и на-

вещают своих детенышей только дважды в день, чтобы их покормить. Когда самки приближаются, голодные детеныши лезут к ним; бывает, что от одной самки пытаются кормиться несколько детенышей подряд.

У наблюдателя создается впечатление, что самка кормит любого детеныша, который доберется до нее первым. По этой причине многие исследователи считали, что все самки — общий источник пищи для детенышей; казалось невозможным, что самка способна обнаружить своего собственного детеныша среди миллионов остальных. Однако Маккрэкен, сравнивая варианты белков крови у лактирующих самок и детенышей-сосунков, показал, что в 83% случаев матери успешно находят (очевидно, по специфическим ольфакторным и акустическим признакам) и кормят собственных детенышей. Все те случаи, когда детеныши сосут не у родителей, по-видимому, представляют собой кражу молока агрессивными детенышами.

У видов, для которых характерны такие колоссальные агрегации, как у складчатогубов, польза «яслей» (детенышам теплее, меньше риск хищни-

чества) перевешивает затраты на случайное кормление чужих детенышей. У складчатогубов молочное кормление чужих детенышей — когда оно происходит — не является ни формой отбора родичей, ни реципрокным альтруизмом, а просто результатом случайной ошибки.

Два последних лета я и мои ученики изучали молочное кормление чужих детенышей у американского гладконоса на севере шт. Миссури. У этого вида, так же как у складчатогубов, имеются «детские ясли». Но колонии относительно небольшие (30—200 взрослых особей) и располагаются они чаще не в пещерах, а на чердаках. В отличие от складчатогубов, которые рожают по одному детенышу за лето, у американского гладконоса самки рожают обычно по 2, а иногда по 3 детеныша. Наши исследования показали, что в течение недели после рождения детеныша кормит исключительно его мать, но, подрастая, он старается при случае покормиться и от других самок. В возрасте около 3 недель детеныш примерно в 20% случаев кормится не от своей матери, а от других самок.

Что это — случай реципрокного альтруизма или отбора родичей? Поскольку мы наблюдали, как самки активно принимают или отвергают детенышей, выпрашивающих у них молоко, можно думать, что они их каким-то образом различают. Предварительные данные, в частности, анализ маркеров белков крови, свидетельствуют, что самки избирательно кормят родственников. Кроме того, мой дипломник Дж. Шеррер недавно получил результаты, показывающие, что крики каждого детеныша индивидуальны, а родственники издают сходные крики. Мы предполагаем, что самка может узнавать чужих, но родственных детенышей, сравнивая их крики с криками ее собственных детенышей.

ИССЛЕДОВАНИЯ обмена пищей у летучих мышей иллюстрируют общее положение эволюционной биологии: сходные формы поведения у разных видов могут быть результатом давления совершенно различных факторов отбора. Хотя отбор родичей рассматривается как мощная, широко распространенная эволюционная сила, при определенных условиях — скажем, когда животные живут небольшими группами и имеют возможности для взаимопомощи — реципрокность, видимо, оказывается выгоднее, чем отбор родичей, если только мошенники обнаруживаются и исключаются из системы.

Для дальнейшего понимания движущих сил социальной эволюции у

позвоночных требуется установить механизмы, лежащие в основе индивидуального отбора и отбора родичей. Наши исследования пищевого поведения и взаимопомощи у летучих мышей показали, что отбор родичей и реципрокность играют роль в сообществе в зависимости от способностей членов этого сообщества узнавать друг друга.

В изучении индивидуального узнавания и взаимодействия с родственниками должны существенно помочь современные методы молекулярной биологии (такие как анализ ДНК, называемый генетической дактилоско-

пией), которые значительно расширяют возможности для оценки степени родства животных в полевых исследованиях. Поскольку летучие мыши обладают высокоразвитой слуховой системой, с помощью которой они находят и ловят добычу, я полагаю, что тщательное изучение их вокализации в социальных ситуациях может дать интереснейшую информацию о механизмах узнавания родственников и членов своего сообщества. Результаты таких исследований могут в свою очередь многое прояснить в социальном поведении позвоночных в целом.

скому вмешательству и умерли скорее, чем женщины, истории болезни которых анализировались Хрущески с коллегами.

Джелбер отвечает на это следующим образом. Да, эксперименты на животных дают основания для предположения о связи успешности лечения рака с менструальным циклом. Однако при анализе данных о людях приходится иметь дело с множеством аспектов и всегда есть шанс обнаружить какую-то корреляцию. Статистические методы позволяют определить вероятность того или иного результата, но они не дают однозначного ответа, существует ли сам эффект. Как он считает, даже в 20 случаях анализа случайных данных хотя бы в одном из них получатся результаты с вероятностью того, что они обусловлены действием случайных факторов, не превышающей 5%. Не исключено, что некоторые слабые факторы, не фигурирующие в гипотезе Хрущески, могут создавать ложный эффект связи с менструальным циклом.

Пока исследователи спорят о статистических методах, больные раком молочной железы продолжают, так сказать, участвовать в колоссальных рандомизированных испытаниях. Однако же хронобиология (изучающая влияние суточных, месячных и других ритмов жизнедеятельности организма на течение заболеваний и ход их лечения) уже утвердилась в других областях терапии. За последнее десятилетие клинические наблюдения показали, например, что токсическое действие ряда противораковых препаратов может варьировать в десятикратном диапазоне в зависимости от того, в какое время суток больной принимает лекарство. Сходным вариациям подвержена и способность этих препаратов убивать злокачественные раковые клетки. В одном исследовании 15 больных с раком яичника, подвергавшиеся химиотерапевтическим процедурам в случайное время суток, прожили в среднем 1,5 года после курса лечения, а у 11 больных, которым делали такие же процедуры в определенном суточном режиме, срок жизни достигал 7 лет.

По мнению Хрущески и других исследователей, хронобиология — это следующий важный шаг вперед в лечении рака, а возможно, и других заболеваний. Не столь уж несбыточна такая утопическая картина: в организм вживляется устройство, выделяющее лекарство в нужное время согласно расписанию, слишком сложно, чтобы ему следовал сам больной или даже врач. На сегодняшний день остается неясным, каким образом биоритмы влияют на развитие заболеваний и ход их лечения.

Наука и общество

Играя с цифрами

Если женщина, не достигшая возраста климакса, подвергается хирургическому вмешательству по поводу рака молочной железы примерно в середине своего менструального цикла, вероятность рецидива и смерти для нее в 4 раза меньше, чем в том случае, когда операция делается в пределах недели до или после менструации. Это утверждение может ужаснуть пациенток или, наоборот, внушить им надежду, а может также оказаться в противоречии с намерениями врача. Соответствует ли оно истине?

В конце прошлого года У. Хрущески из Нью-Йоркского медицинского центра Управления по делам ветеранов войны в Олбани и его коллеги объявили об этой закономерности как о фактическом открытии. Тотчас на них обрушился шквал возражений со стороны онкологов, которые вовсе не усматривают в имеющихся клинических данных корреляции между успешностью лечения рака молочной железы и фазами менструального цикла. Независимо от того, кто прав, само разногласие, возможно, указывает на некоторые пределы статистических исследований в медицине.

В основе работы Хрущески лежат весьма простые соображения. Во-первых, ряд фактов свидетельствует о том, что у женщин «сила» иммунной системы возрастает и падает в связи с менструальным циклом. Во-вторых, от состояния иммунной системы зависит распространение злокачественных клеток в организме. Хрущески с коллегами в течение пяти лет вели эксперименты на животных и установили, что у мышей срок жизни самок с раком молочной железы после удаления первичной опухоли максимален, если операция делается примерно во время овуляции (у человека этот момент соответствует середине менст-

руального цикла). Кроме того, эти исследователи анализировали подходящие данные о течении рака молочной железы у людей. При этом основной проблемой оказалось найти такие обследования, в которых регистрировалась дата последней перед хирургическим вмешательством менструации. В тех случаях, когда такие сведения имелись, корреляция между временем операции относительно менструального цикла и сроком жизни после операции казалась очевидной. Хрущески отмечает: «Если бы эффект был слабым, в группе из 44 больных мы бы его никак не могли обнаружить».

Однако этот эффект не проявился в двух других обследованиях, и проводившие их врачи оспаривают выводы Хрущески. Так, в Великобритании в группе из 81 женщины с раком молочной железы те, которых оперировали незадолго до или вскоре после менструации, прожили дольше, чем оперированные в середине менструального цикла (правда, разница не была статистически значимой). Исследователи, проводившие международное обследование, сообщили данные о результатах лечения 245 больных раком молочной железы, и в этих данных не прослеживалось на малейшей корреляции между сроком жизни после операции и временем операции относительно менструального цикла. (Хрущески заявил, что ему не удалось получить данные по этому обследованию. А Р.Джелбер из Онкологического института Даны—Фарбера, принимавший участие в проведении обследования, говорит, что не припоминает запроса от Хрущески.)

Так кто же прав? Хрущески считает, что в упомянутых двух обследованиях искомая корреляция могла не обнаружиться по ряду причин: у участвовавших в них больных развитие рака зашло дальше, пациентки подвергались более глубокому хирургиче-

Механизмы положительной обратной связи в экономике

Новая экономическая теория учитывает механизмы, посредством которых незначительные случайные события на ранних этапах развития промышленности или техники способны нарушить равновесие в конкуренции

У. БРАЙАН АРТУР

ТРАДИЦИОННАЯ экономическая теория исходит из представлений об убывающем обратном воздействии (ОВ). Хозяйственная деятельность порождает отрицательную обратную связь, которая в свою очередь приводит к прогнозируемому равновесию между ценами и долями рыночного участия. Обычно такая связь способствует стабилизации экономики, поскольку любые значительные изменения компенсируются ими же вызванными следствиями. Высокие цены на нефть в 1970-х годах активизировали меры по экономии энергии, разведку нефтяных месторождений, что в конечном счете привело к падению цен на это сырье к началу следующего десятилетия. В соответствии с общепринятой теорией равновесие знаменует собой «наилучший результат», возможный в данных условиях, т. е. наиболее эффективное использование и распределение ресурсов.

Однако такая картина сбалансированности часто не соответствует действительности. Во многих секторах экономики стабилизирующие факторы, кажется, не срабатывают. Напротив, положительная обратная связь усиливает последствия небольших экономических сдвигов, а модели, описывающие эти последствия, сильно отличаются от традиционных. Понятие об убывающем ОВ подразумевает наличие единственной для экономики точки равновесия, в то время как механизм положительной обратной связи (возрастание ОВ) делает возможным существование множества таких точек. Нет гарантии того, что то или иное экономическое решение, выбранное из множества возможных, окажется наилучшим. Кроме того, как только некогда случайные экономические события начинают развиваться по определенному пути, сделанный выбор может оказаться «замкнутым», независимо от преимуществ других вариантов. Если на

рынке какой-либо товар или страна «по воле случая» получают преимущество, то они обычно сохраняют или даже укрепляют свое лидерство. Сейчас уже нельзя гарантировать существование прогнозируемых рынков с долевым участием.

На протяжении ряда последних лет я вместе с группой экономистов из Станфордского университета, института в Санта-Фе (шт. Нью-Мексико) и других учреждений развиваю взгляд на экономику, исходя из представлений о положительной обратной связи и возрастающем ОВ. Понятие о возрастающем ОВ появилось не менее 70 лет назад, однако к экономике в целом его начали применять лишь недавно. Основанная на нем теория связана скорее с современной нелинейной физикой, чем с физическими моделями традиционной экономики, известными еще до начала нынешнего столетия. Эта теория требует принципиально новых математических методов и, судя по всему, именно она позволит понять механизмы функционирования современных высокотехнологичных отраслей экономики.

ПРОСТЫМ примером положительной обратной связи в экономике может служить эволюция рынка кассетных видеомagneтофонов. Сначала на нем появились две конкурирующие между собой и примерно одинаковые по цене стандартные системы — VHS и Beta. По мере расширения рынка доходы компаний от продажи каждой из этих систем неуклонно возрастали. Компании, торгующие системами VHS, увеличили ассортимент кассет с видеофильмами, что привело к большому спросу на видеомagneтофоны этой системы. (То же самое, конечно, произошло бы и в случае системы Beta.) Таким образом, даже небольшое увеличение доли участия на рынке повысило конкурентоспособность одной системы и способствовало дальнейшему

укреплению ее лидирующего положения.

На первых порах такой рынок отличается неустойчивостью. В нашем случае обе системы появились на рынке приблизительно в одно и то же время примерно в одинаковом количестве, т. е. имели одинаковые доли участия. Поначалу эти доли колебались под влиянием только внешних обстоятельств, «фактора удачи» и коммерческой политики компаний. Возрастающая доходность на ранних этапах в конечном счете привела к тому, что системы VHS стали более конкурентоспособными. Этого оказалось достаточно, чтобы в конце концов системы VHS завоевали весь рынок видеомagneтофонов. И тем не менее на начальной стадии конкуренции нельзя было предсказать, какая система «победит». Кроме того, если верно утверждение о техническом преимуществе системы Beta, то рыночный выбор не привел к наилучшему экономическому результату.

Сторонники традиционной экономической теории по-иному смотрят на конкуренцию двух технологий или двух систем, выполняющих одну и ту же функцию. В качестве примера они берут проблему использования воды или угля для производства электроэнергии. По мере того как начинают доминировать гидроэлектростанции, требуется сооружать все больше дорогостоящих плотин и может получиться так, что угольные станции окажутся дешевле. И наоборот, широкое распространение угольных станций приводит к повышению цен на уголь (а также к необходимости использовать дорогостоящие системы контроля загрязнения окружающей среды), и ГЭС становятся более конкурентоспособными. В результате происходит разделение рынка в предсказуемых пропорциях между обоими способами выработки электроэнергии, что дает возможность оптимально использовать преимущест-

ва каждого из этих способов в противоположность тому, что имело место для двух вышеуказанных систем видеоманитонов.

Эволюция рынка видеоманитонов не показалась бы странной выдающемуся экономисту викторианской эпохи Альфреду Маршаллу, одному из основателей современной традиционной экономической науки. В своем труде «Принципы экономики», опубликованном в 1890 г., он отмечал, что в случае уменьшения производственных расходов тех или иных фирм по мере увеличения их доли участия на рынке, та фирма, которая по воле случая с самого начала добилась преимущественного положения на нем, и впредь будет превосходить своих соперников. По словам автора, «удачное начало деятельности какой-либо фирмы на рынке» приводит к его монополизации. Маршалл, однако, не сформулировал в окончательном виде это свое наблюдение, а современная экономическая теория до недавнего времени практически игнорировала его.

Маршалл не верил в универсальность механизма возрастающего ОВ. Основные отрасли экономики той эпохи — сельское хозяйство и горно-рудная промышленность — функционировали по принципу убывающего ОВ, что было обусловлено ограниченным запасом плодородных земель и богатых рудных месторождений. С

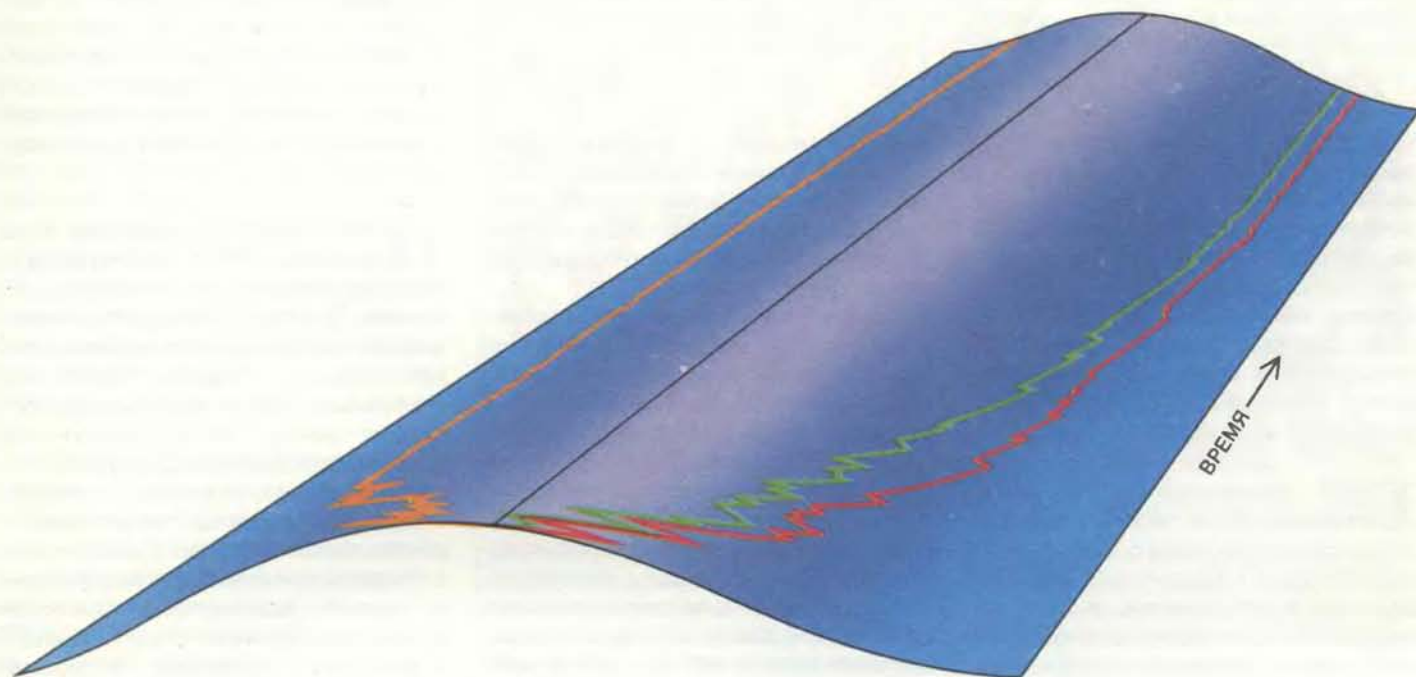
другой стороны, в промышленном производстве наблюдалось увеличение ОВ, поскольку крупные предприятия способствовали совершенствованию организации производства. Современные экономисты не считают крупномасштабное производство надежным источником возрастающего ОВ. Иногда крупные предприятия оказываются более экономичными, чаще же всего — нет.

Я бы внес некоторые коррективы в точку зрения Маршалла. Дело в том, что такие ресурсоемкие отрасли, как сельское хозяйство, легкая и горно-рудная промышленность, по-прежнему большей частью функционируют в режиме убывающего ОВ. Здесь сторонники традиционной экономики находят подтверждение своим взглядам, что же касается наукоемких, или высокотехнологичных отраслей, то для них характерно возрастающее ОВ. Под этими отраслями подразумеваются те, которые заняты производством конструктивно и технически сложной продукции, например компьютеров, фармацевтических средств, ракет, самолетов, автомобилей, программного обеспечения, систем связи и волоконной оптики. Эти отрасли требуют больших начальных капиталовложений на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР), а также на технологическую оснастку, но уже при налаженной реализации готовой

продукции дальнейшее наращивание производства обходится относительно дешево. Например, расходы на конструирование, испытание и производство нового корпуса самолета или авиационного двигателя обычно составляют 2—3 млрд. долл., а каждая последующая единица подобной продукции может стоить уже не более 50—100 млн. долл. При дальнейшем выпуске продукции единичные затраты продолжают снижаться, а прибыль возрастать.

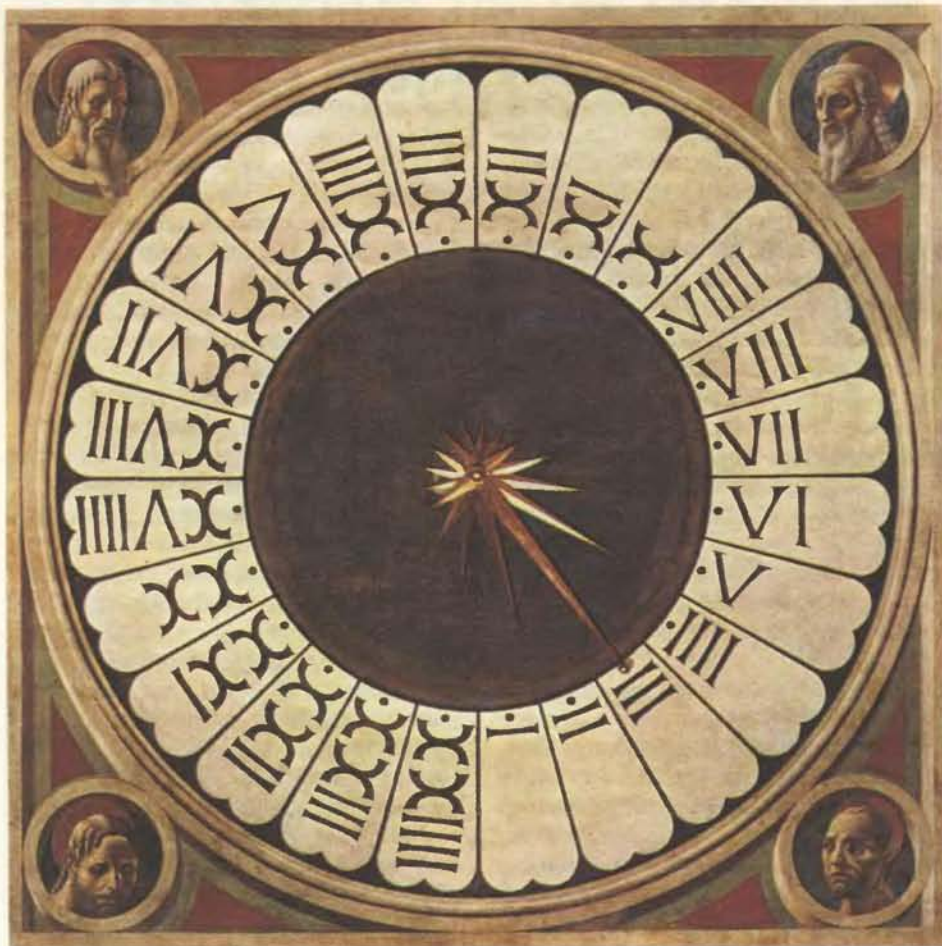
Расширяющееся производство включает в себе и другие преимущества, к которым можно отнести накопление технологического опыта и дальнейшее сокращение производственных затрат. Кроме того, опыт, накопленный в процессе производства одного вида продукции и использования той или иной технологии, может быть легко перенесен и на другие, аналогичные или родственные изделия. Япония, например, начав с капиталовложений в разработку и производство высокоточных измерительных приборов, впоследствии наладила у себя производство потребительских электронных товаров, а затем и интегральных схем для них.

Преимущество, заключающееся в снижении затрат компании при расширении ею производства высокотехнологичной продукции, дополняется еще и тем, что потребителю становится выгодно покупать продукцию



СЛУЧАЙНЫЕ БЛУЖДЕНИЯ на выпуклой поверхности иллюстрируют конкуренцию между двумя технологиями в системе возрастающего обратного воздействия (ОВ). Принятие той или иной технологии на раннем этапе определяется

случаем. По мере того как одна из технологий получает все большее распространение (что соответствует движению вниз к краям поверхности), рост ее конкурентоспособности становится все более вероятным.



СТРЕЛКИ ЧАСОВ флорентийского собора, циферблат которых разделен на 24 часа, движутся в направлении «против часовой стрелки». Эти часы изобрел в 1443 г. Паоло Учелло. В то время еще не существовало общепринятой конструкции циферблата часов, и различные направления движения стрелок «конкурировали» друг с другом по принципу возрастающего обратного воздействия: чем больше изготавливали часов с циферблатом той или иной конструкции, тем больше людей привыкали именно к этой конструкции. После 1550 г. конструкция циферблатов, разделенных на 12 часов и с привычным нам ходом стрелок, вытеснила все остальные конструкции. По мнению автора, случайные события и механизмы положительной обратной связи, а не технологические преимущества, часто определяют экономическое развитие.

именно этой компании. Многие виды продукции, например компьютеры и системы связи, работают в сетях, для которых критическим требованием является совместимость компонентов. Когда та или иная новая модель прочно обосновывается на рынке, люди стремятся покупать именно ее, чтобы иметь возможность обмениваться информацией с теми, кто уже пользуется этой моделью.

ЕСЛИ возрастающее ОВ представляет собой важный фактор, то почему до недавнего времени его игнорировали? Некоторые, возможно, скажут, что сложная, высокотехнологичная продукция, для которой этот фактор является преобладающим, появилась совсем недавно. Действительно, это так, но причина кроется еще и в другом. Известно, что в 40—50-х годах такие экономисты, как Гуннар Мюрдаль и Николас Калдор,

выявили механизмы положительной обратной связи, не связанные с технологией. Ортодоксальные же экономисты пренебрегали фактором возрастающего ОВ по более глубоким причинам.

Для некоторых из них существование нескольких решений одной и той же проблемы казалось неприемлемым, «ненаучным». «Множественные равновесия, — отмечал в 1954 г. Йозеф А. Шумпетер, — не обязательно бесполезны, но, с точки зрения любой точной науки, существование однозначно определяемого равновесия является, безусловно, критически важным, даже если доказательство достигается ценой весьма ограничивающих допущений; без какой-либо возможности доказать существование однозначно определяемого равновесия или, во всяком случае, небольшого числа возможных равновесий, при любом уровне абстракции, об-

ласть тех или иных явлений будет представлять настоящий хаос, не поддающийся аналитическому контролю».

Другие экономисты видели, что теории, основанные на представлении о возрастающем ОВ, способны разрушить понятный им мир одинарных и прогнозируемых равновесий, а также уверенность в том, что рыночный выбор является всегда самым лучшим. Кроме того, при доминировании на рынке одной или нескольких фирм предположение о том, что ни одна из них не обладает достаточным могуществом, чтобы по своему усмотрению диктовать цены, также оказалось бы несостоятельным. Джон Р. Хик, предпринявший в 1939 г. попытку изучить такие возможности, с тревожным чувством отступил назад. «Нам грозит, — писал он — развал основной части экономической теории». Экономисты большей частью ограничивались рассмотрением только фактора убывающего ОВ, который не приводил к каким-либо аномалиям и полностью поддавался исчерпывающему анализу.

Для некоторых ученых наибольший интерес представлял вопрос о том, каким образом рынок может выбирать единственное из нескольких возможных решений. В примере, приводимом Маршаллом, наиболее крупной фирма при появлении на рынке имеет самые низкие производственные затраты и поэтому ее победа над конкурентами неизбежна. В этом случае стоит ли вообще меньшим фирмам конкурировать с ней? С другой стороны, если по воле случая на рынке появляется сразу несколько более или менее одинаковых фирм, тогда их доли участия будут всегда находиться в состоянии неустойчивого равновесия.

ПРИСТУПИВ к исследованию этих проблем в 1979 г., я был уверен в том, что многие из них поддаются решению. В реальности, при одновременном появлении на рынке нескольких одинаковых фирм, некоторые случайные события, например неожиданные заказы на продукцию или какие-то положительные изменения в системе управления, могут помочь определить, какие из фирм с самого начала добьются успеха и какие из них с течением времени будут лидировать на рынке. Экономическая деятельность складывается из отдельных, порой даже незаметных на первый взгляд, операций, и последствия этих «случайных» событий способны «накапливаться» и усиливаться путем положительной обратной связи и в конце концов воздействовать на оконча-

тельный результат. Эти факторы говорили о том, что ситуации, в которых доминирует фактор возрастающего ОВ, следует моделировать не как статические, детерминистские проблемы, а в виде динамических процессов, определяемых случайными событиями и положительными обратными связями, т. е. нелинейностями.

Такой подход позволяет построить теоретическую модель рынка с возрастающим ОВ и проследить процесс его функционирования. Возможно, будет получаться (при идентичных условиях) то одно решение, то другое. Заранее нельзя предвидеть, какое из многих решений будет в любом данном «прогоне». И тем не менее можно зафиксировать определенный ряд случайных событий, обуславливающих конкретное решение, и исследовать вероятность появления того или иного решения при определенном наборе начальных условий. Идея была простой, и она вполне могла бы прийти в голову экономистам прошлого. Однако в то время не существовало нелинейной теории случайных процессов, которая необходима для реализации этой идеи.

Каждую из задач, связанную с возрастающим ОВ, не обязательно решать изолированно; ко многим из них применим общий подход на основе нелинейной теории вероятности. Вот один из способов описания задачи. Представьте себе стол, на который один за другим кладут шары разного цвета: белого, красного, зеленого или синего. Цвет каждого следующего шара неизвестен, однако вероятность добавления шара данного цвета зависит от соотношения шаров того или иного цвета, находящихся на столе. Если возрастающая доля шаров данного цвета увеличивает вероятность добавления шара того же самого цвета, то система может демонстрировать наличие положительной обратной связи. Вопрос заключается в следующем: при данной функции, характеризующей текущие соотношения вероятностей, какова будет доля шаров каждого цвета после того, как на столе их станет много?

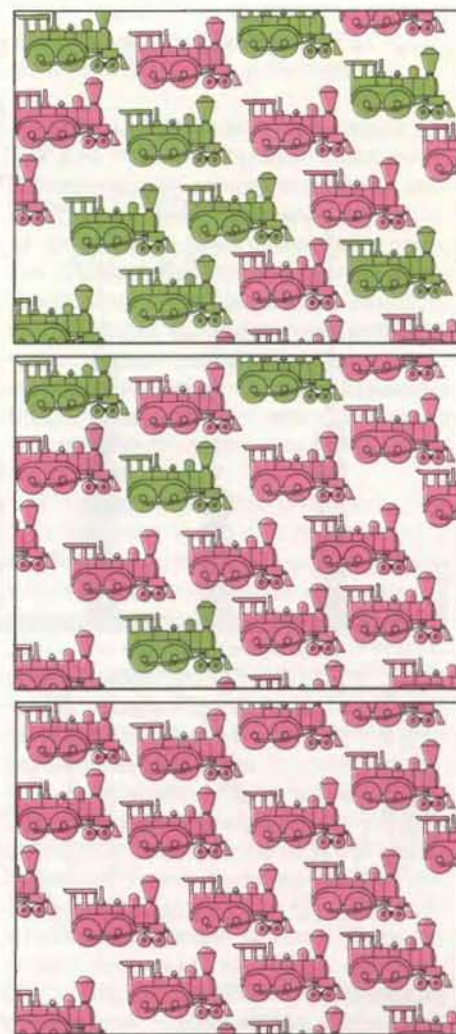
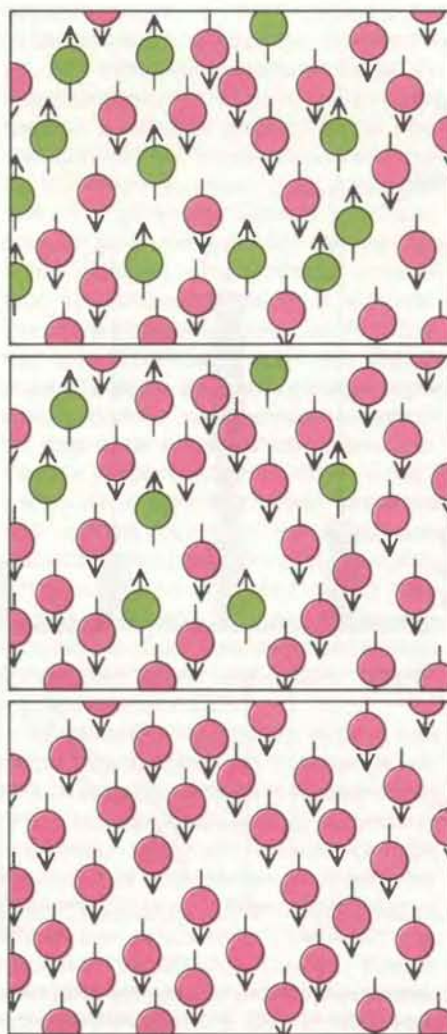
В 1931 г. математик Джордж Поляна нашел решение частного случая этой задачи, в которой вероятность добавления шара того или иного цвета всегда равнялась доле шаров этого цвета, находящихся на столе. В 1980 г. три американских специалиста по теории вероятности, Брюс М. Хилл из Мичиганского университета в Анн-Арбор, Дейвид Э. Лейн и Уильям Д. Саддерт из Миннесотского университета в Миннеаполисе, решили более общий, нелинейный вари-

ант той же задачи. В 1983 г. два советских специалиста в той же области, Юрий Ермолев и Юрий Каниовский (см. библиографию к этой статье на с. 96. — *Ред.*), оба из Института кибернетики им. В.М. Глушкова АН УССР в Киеве, а также автор настоящей статьи нашли решение задачи для весьма общего случая. При продолжающемся добавлении шаров мы доказали, что доля шаров каждого цвета должна стабилизироваться в какой-то «фиксированной точке» функции вероятности — системе величин, в которой вероятность добавления шара того или иного цвета равна доле шаров этого цвета на столе. Механизм возрастающего ОВ допускает существование нескольких таких систем фиксированных точек.

Это означает, что мы можем опре-

делить возможные схемы или решения проблемы возрастающего ОВ путем решения гораздо более простой задачи нахождения систем фиксированных точек соответствующей функции вероятности. С помощью этого метода экономисты теперь могут строго формулировать задачи возрастающего ОВ, определять возможные пути их решения и изучать процесс, с помощью которого достигается решение. В этом случае возрастающее ОВ уже не представляет собой «хаос, не поддающийся аналитическому контролю».

В РЕАЛЬНОМ мире шарам могут соответствовать промышленные компании, а их цветам — регионы, в которых они решили обосноваться. Предположим, что фирмы осваивают



ПРОЦЕССЫ УПОРЯДОЧЕНИЯ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ И ПРИНЯТИЯ ШИРИНЫ железнодорожной колеи схожи в смысле положительной обратной связи. По мере охлаждения магнитного материала (слева) его атомные диполи воздействуют друг на друга, вынуждая выстраиваться соседние диполи. В конце концов все диполи в образце выстраиваются, однако направления, которые они примут (вверх или вниз) невозможно предсказать заранее. Подобным образом, как показал Дуглас Пафферт из Свосморского колледжа, местные железнодорожные компании в прошлом веке приняли одинаковую ширину колеи, что облегчило сообщение. В конце концов все (или большинство) железнодорожные компании перешли на такую колею. Вероятностный характер этих двух систем описывается одинаковыми уравнениями.

производство поочередно, а при выборе регионов руководствуются стремлением к максимальной прибыли. Каждая последующая фирма имеет свое географическое предпочтение, а выбор ею региона носит случайный характер. Однако предположим также, что доход фирм повышается, если они находятся рядом с другими фирмами (их поставщиками или заказчиками). Первая фирма, освоившая производство, выбрала для себя регион, руководствуясь исключительно соображениями географических преимуществ. Решение второй фирмы основано на таком же соображении, но уже с учетом преимуществ, связанных с ее нахождением вблизи первой фирмы. На решения, принимаемые третьей фирмой, повлияет то, где

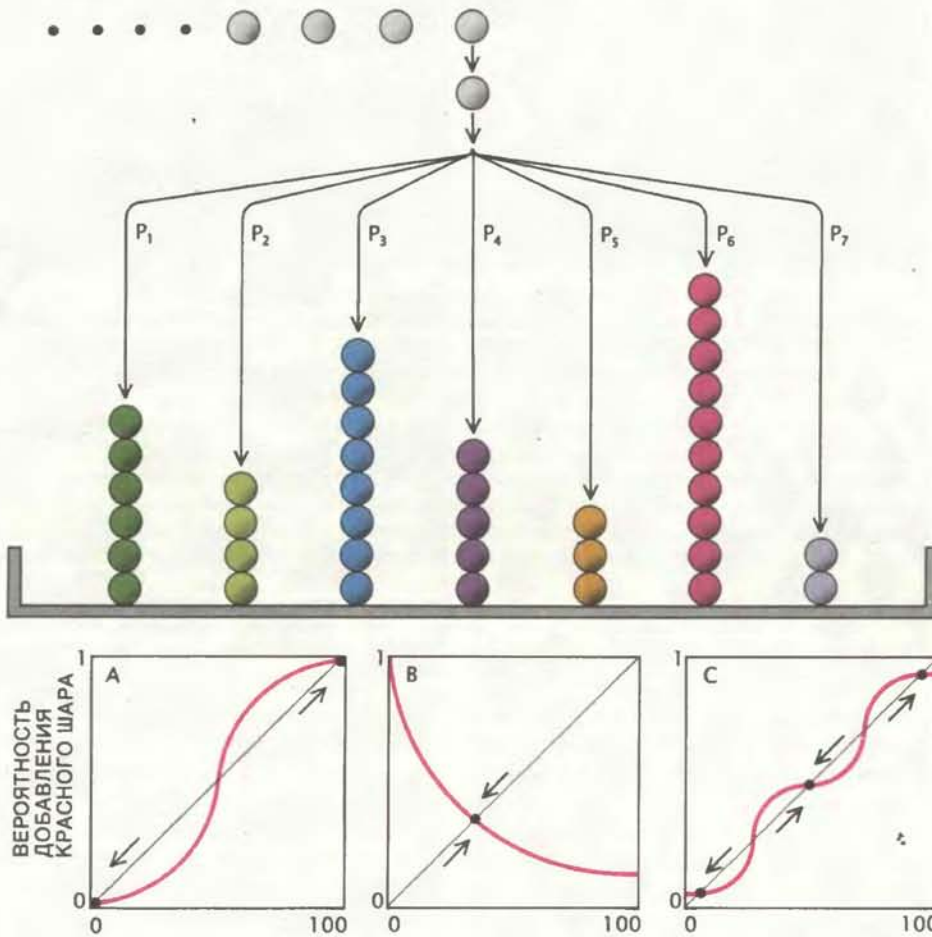
размещены первые две фирмы и т. д. Если расположение той или иной фирмы оказывается более привлекательным на ранних стадиях процесса, то вероятность того, что это расположение привлечет больше фирм, повышается. Другими словами, промышленная концентрация приобретает свойство самоусиления.

Случайная временная последовательность освоения фирмами производства определяет картину их регионального размещения, однако, как следует из теории, здесь возможны не все варианты размещения. Если привлекательность, обусловленная присутствием других фирм, всегда возрастает по мере размещения новых предприятий, то какой-то регион будет всегда доминировать. При вырав-

нении фактора привлекательности становятся возможными и другие варианты размещения по регионам. Наш новый метод позволяет прогнозировать те или иные варианты в данных условиях.

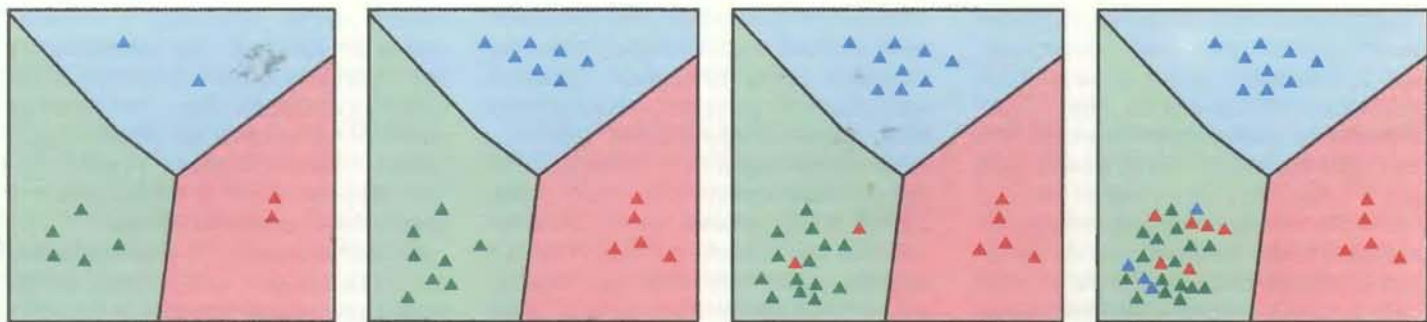
Действительно ли концентрация промышленности в тех или иных регионах зависит от случая, а не от географических преимуществ? Примером может служить графство Санта-Клара в Калифорнии (Силикон-Валли). В 40-х — начале 50-х годов несколько крупных специалистов в электронной промышленности США — братья Вариян, Уильям Хьюлетт и Дейвид Пакард, а также Уильям Шокли — основали вблизи Стэнфордского университета небольшие фирмы. С течением времени благодаря этим фирмам Силикон-Валли стал местом сосредоточения инженерно-технических кадров, сырья и компонентов. Все это сделало его весьма привлекательным местом и для других (около 900) фирм, которые позднее обосновались здесь. Если бы эти первые предприниматели выбрали другое место, то и самая плотная в стране концентрация электронной промышленности могла бы быть не в Силикон-Валли, а где-то еще.

Можно поставить вопрос и в более широком плане: какой была бы география самих городов, если бы незначительные события в истории были иными? Было бы размещение городов другим? Я полагаю, да. Многие города расположены близ естественных морских бухт, в удобных местах на берегах рек и озер, и в некоторой степени своим размещением они обязаны не случаю, а географическому фактору. Но, с другой стороны, людей и промышленность привлекают места, где уже имеются людские и промышленные ресурсы, поэтому небольшие случайные концентрации, возможно, заложили основу современной географии городских центров. «Случай и необходимость», если использовать слова Жака Моно, действуют совместно. И то и другое сыграло ключевую роль в развитии городских центров в США и других странах.



НЕЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТИ может предсказать поведение систем, в которых действует механизм возрастающего ОВ. В описываемой модели шары различного цвета добавляются на поверхность стола. Вероятность того, что следующий шар будет иметь данный цвет, зависит от текущего соотношения числа шаров различного цвета (*вверху*). В А действует механизм положительной обратной связи (график соответствует двухцветному случаю; стрелки указывают вероятные направления движения): наиболее вероятно, что будет добавлен красный шар, поскольку шаров этого цвета в настоящий момент на столе больше всего. Этот случай имеет две точки равновесия: в одной почти все шары красные, в другой — красных шаров очень мало. В — система, характеризующаяся уменьшающимся обратным воздействием: чем больше на столе красных шаров, тем меньше вероятность добавления очередного такого шара. В этой системе одна точка равновесия. Комбинация уменьшающегося и возрастающего обратного воздействия (система С) имеет много точек равновесия.

НА МЕЖДУНАРОДНОМ уровне в области производства и сбыта высокотехнологичного оборудования действуют механизмы не региональные, а самоусиления. Страны, имеющие большой опыт и объем современного производства, могут пользоваться преимуществами низкой себестоимости и высокого качества своей продукции для вытеснения своих конкурентов. Например, в начале 1970-х гг. Японские автомобильные



КОМПАНИИ ОБЫЧНО ОБОСНУЮТСЯ там, где возможно получение максимальных прибылей. Выбор ими района зависит от его географических преимуществ и присутствия в нем других компаний. В рассматриваемом здесь примере (в компьютерном представлении) наибольшее число компаний предпочли «зеленый район», который в связи с этим

стал привлекательным для многих компаний и в последующем. Исходя из такого распределения компаний можно предположить, что «зеленый район» всегда более предпочтителен. Однако в других прогонах компьютерной программы предпочтительными для большинства компаний оказались «красный» и «голубой» районы.

компании начали продавать в США значительное количество своих легковых автомобилей. По мере того как Япония завоевывала рынок без сколько-нибудь значительного сопротивления со стороны детройтских конкурентов, ее инженеры и рабочие постепенно накапливали опыт. Это сопровождалось снижением себестоимости и улучшением качества продукции. Эти факторы, в сочетании с хорошо налаженной сетью сбыта, позволили Японии увеличить долю своей продукции на американском рынке. В результате — новый «цикл» накопления опыта, дальнейшее снижение себестоимости автомобилей и улучшение их качества. Не успел Детройт должным образом отреагировать на это, как механизм положительной обратной связи помог Японии прочно утвердиться на американском автомобильном рынке. Аналогичная цепь событий имела место и на рынках телевизоров, интегральных схем и другой продукции.

Как следует реагировать тем или иным странам на изменения в мировой экономике, в которой действуют такие механизмы? Рекомендации для торговой политики, основанной на постоянном или уменьшающемся ОВ, как правило, ориентируют на сохранение сдержанной позиции. Рекомендуется, например, полагаться на открытый рынок и оставлять решение таких проблем, как финансирование НИОКР, самим компаниям. При этом предполагается доминирование на рынке фиксированных мировых цен, в связи с чем исключается влияние на них местных цен. Такие меры подходят для отраслей экономики с убывающим ОВ, а не для тех, где производят высокотехнологичную продукцию и доминирует принцип возрастающего ОВ.

Меры, которые сулят успех в производстве высокотехнологичной про-

дукции и международной торговле, стимулируют предпринимателей к совершенствованию своей продукции и технологии производства. Кроме того, они укрепляют национальную исследовательскую базу и побуждают фирмы в той или иной отрасли промышленности объединять свои ресурсы и создавать совместные предприятия, что облегчает бремя изначальных затрат, обеспечивает совместное использование сетей сбыта продукции, накопленного опыта и стандартов. При этом возможно также создание «стратегических союзов», благодаря которым фирмы в разных странах получают возможность освоить то или иное сложное производство. Теория возрастающего ОВ указывает также на важность оценки ситуации для начала осуществления научно-исследовательских программ в новых отраслях. Вряд ли имеет смысл проникать на рынок, близкий к насыщенности или вообще малоперспективный. Указанные меры постепенно получают признание в США.

Эффективность других мер, в том числе субсидирования и защиты новых отраслей, например биотехнологии, с целью овладения зарубежными рынками, зачастую весьма спорна. Иногда для оправдания поощряемых правительством малоэффективных программ ссылаются на сомнительные выгоды обратной связи. Кроме того, как отмечают некоторые экономисты, в том числе Пол Р. Кругман из Массачусетского технологического института, если какая-то страна начинает осуществлять такие меры, то другие страны принимают ответные шаги в виде субсидирования своих собственных высокотехнологичных отраслей промышленности. В результате никто не остается в выигрыше. В настоящее время интенсивно исследуется вопрос об оптимальной торговой-промышленной политике, основан-

ной на возрастающем ОВ. Подходы, которые изберут те или иные страны, будут определять не только характер глобальной экономики в 1990-х годах, но и победителей и побежденных.

МЕХАНИЗМЫ возрастающего ОВ не только нарушают равновесие в конкуренции между странами; они также способны направить экономику даже таких преуспевающих стран, как США и Япония, по менее благоприятному пути развития. Технология, которая поначалу совершенствуется слишком медленно, хотя и имеет многообещающие долгосрочные перспективы, может легко оказаться на таком пути, сойти с которого весьма трудно.

Технология обычно совершенствуется по мере того, как она получает все большее распространение, а предприятия накапливают опыт, который стимулирует дальнейшее ее развитие. Здесь мы как раз имеем дело с контуром положительной обратной связи: чем больше распространяется та или иная технология, тем больше она совершенствуется и тем больше желающих ее перенять. Когда конкурируют две или более технологии (как и в случае конкуренции двух или более видов продукции), положительная обратная связь делает рынок для них неустойчивым. Если какая-то технология начинает опережать на рынке, возможно, даже случайно, то ее дальнейшее ускоренное развитие способно привести к монополизации рынка. Технология, развитие которой происходит по мере ее дальнейшего распространения, имеет больше шансов на успех, поскольку пользуется «преимуществом выбора». Тем не менее первоначальный успех не гарантирует жизнеспособности в будущем.

Например, в 1956 г., когда США приступили к реализации своей программы ядерной энергетики, было

предложено несколько конструкций реакторов: охлаждаемых газом, легкой и тяжелой водой и даже жидким натрием. Робин Кауан из Нью-Йоркского университета показал, что ряд тривиальных обстоятельств привел к тому, что практически на всех атомных электростанциях страны получила применение система охлаждения на легкой воде. Реакторы с таким охлаждением были модификацией очень компактных реакторов, уже использовавшихся на атомных подводных лодках. Роль американских ВМС в реализации контрактов на строительство первых реакторов, усилия Совета национальной безопасности (предпринятые после запуска Советским Союзом первого искусственного спутника Земли) с целью добыть реактор, причем любой, для использования на суше, а также предпочтения некоторых высокопоставленных чинов — все это стимулировало разработку реакторов, охлаждаемых легкой водой. Накопленный опыт позволил усовершенствовать конструкцию реакторов этого типа и к середине 1960-х годов определил дальнейший путь развития ядерной энергетики. Трудно сказать, могли ли другие разновидности реакторов в конечном счете превзойти эту конструкцию, однако, судя по многим публикациям в научно-технической литературе, более совершенными могли бы быть высокотемпературные реакторы с газовым охлаждением.

Пол Дейвид из Станфордского университета показал на нескольких примерах, что выбор тех или иных технических решений или стандартов, а также технологий часто определяется именно положительной обратной связью. Сам по себе стандарт может и не улучшаться со временем, однако его широкое распространение дает ему преимущества в глазах начинающих предпринимателей. Дело в том, что им приходится обмениваться информацией или изделиями с теми, кто уже пользуется и тем, и другим, и таким образом им не остается ничего другого, как принимать уже сложившиеся стандарты, будь то английский язык, ширина железнодорожной колеи, телевизионная система, винтовая резьба или клавиатура пишущей машинки. Рано утвердившиеся стандарты, например язык FORTRAN, появившийся в 1950-х годах, могут уже с трудом поддаваться замене более поздними разработками, даже независимо от степени их превосходства.

ДО НЕДАВНИХ пор авторы учебников по традиционной экономике обычно преподносили свою науку как некую обширную ньютоновскую

систему с единственным равновесным состоянием, которое предопределяется существующими запасами минеральных ресурсов, географическими и демографическими факторами, а также склонностями потребителей и техническими возможностями. С этой точки зрения, те или иные неполадки или временные возмущения в системе, например нефтяной кризис 1973 г. или потрясения на фондовой бирже в 1987 г., быстро компенсируются противоположно направленными силами, вызываемыми теми же обстоятельствами. С учетом будущих технологических возможностей можно в принципе точно предсказать путь дальнейшего развития экономики, характеризуя его как плавный переход к состояниям, определяемым аналитическими уравнениями, которые отражают цены и объемы готовой продукции. Временная последовательность событий в этом «традиционном» случае уже не является столь критическим фактором, поскольку она попросту приводит экономику в неизбежное состояние равновесия.

Напротив, экономика, в основе которой лежат механизмы положительной обратной связи, имеет свои аналогии в современной нелинейной физике. Ферромагнитные материалы, полупроводниковые лазеры и другие физические системы, состоящие из «взаимоусиливающихся» элементов, обнаруживают те же свойства, что и экономические модели, о которых я говорил выше. Они нацелены на один из возможных вариантов; небольшие возмущения в критические моменты времени определяют тот или иной результат, который может иметь более высокую энергию и таким образом быть менее предпочтительным по сравнению с другими возможными конечными состояниями.

Кроме того, для такого рода экономики можно найти соответствия в теории прерывистого равновесия. Небольшие события (исторические му-

тации) часто усредняются, однако время от времени они приобретают критическое значение в смысле своей способности переводить те или иные секторы экономики на новые структурные уровни и схемы, которые затем закрепляются и усиливаются в следующем уровне развития.

В соответствии с этими новыми представлениями идентичные вначале экономические системы, в которых действует механизм возрастающего ОБ, необязательно должны развиваться по одной и той же схеме. Наоборот, пути их развития в конечном счете расходятся. Поскольку невозможно учесть все незначительные события, определяющие главный путь развития, точное экономическое прогнозирование может оказаться, как теоретически так и практически, невозможным. Для целенаправленной ориентации экономики с действующими в ней механизмами положительной обратной связи в лучшее из многих равновесных состояний необходимо не только полагаться на удачу, но и правильно рассчитывать время, наиболее благоприятное для перехода из одного состояния в другое. Теория может способствовать определению таких состояний и моментов, помогая в выборе оптимальных действий, необходимых для перевода технологий с «замкнутого» пути развития.

Английский специалист в области науковедения Джекоб Броновски однажды заметил, что экономика долгое время оставалась заложницей фатально простой структуры, навязанной ей в XVIII в. Лично я в восторге от того, что сейчас положение меняется. С принятием во внимание механизмов положительной обратной связи ученые перестают упрощать экономику и представляют ее уже не в качестве детерминистской, предсказуемой и механической структуры, а как многокомпонентную, цельную и постоянно развивающуюся систему.

Наука и общество

Хранение на холоде

ВХОДЕ эволюции у многих живых организмов развились биохимические механизмы, обеспечивающие выживание при температуре тела ниже нуля. Можно ли использовать эти механизмы для сохранения органов человека?

Наиболее впечатляет морозостойкость насекомых, которые обычно избегают негативных последствий замерзания при помощи глицерола. Этот вязкий спирт действует двояко. Во-первых, он понижает температуру замерзания жидкостей тела, увеличивая суммарное количество молекул растворенных веществ. Комнатная

муха благодаря этому может выдерживать температуру до -10°C . Во вторых, в присутствии глицерола вода, замерзая, переходит в стеклообразное состояние, а не образует кристаллы льда, разрушающие клетки. Этот эффект позволяет, например, насекомым, образующим галлы на арктической иве, выжить при температуре -55°C .

У рыб и некоторых других позвоночных тоже выработались биохимические средства защиты от холода. По данным К. Стори из Университета Карлтон в Оттаве, у морозостойкой лягушки замерзание жидкостей тела регулируется при помощи глюкозы. За счет глюкозы увеличивается общая концентрация растворенных веществ в тканевых жидкостях, которые в противном случае обезвоживались бы при сгущении крови из-за превращения содержащейся в ней воды в лед.

Вся эта изобретательность эволюции не осталась без внимания медиков. Как отмечает Г. Фейи, возглавляющий проект сохранения органов при низких температурах в Американском обществе Красного Креста в Роквилле (шт. Мадисон), до недавнего времени сохранение тканей путем глубокого охлаждения достигалось с помощью либо жидкого гелия, либо охлажденного зеркального стекла, но эти способы позволяют обрабатывать очень небольшое количество материала за один раз.

Фейи и его сотрудники задались вопросом, нельзя ли перевести в стеклообразное состояние сразу целый орган — притом так, чтобы замораживание шло относительно медленно, — если предварительно перфузировать ткань смесью химических веществ, включающую пропиленгликоль (вещество, родственное глицеролу). При этом следовало поддерживать концентрации компонентов смеси достаточно низкими, чтобы не причинять вреда клеткам, и достаточно высокими, чтобы способствовать переходу воды в стеклообразное состояние. Исследователям удалось перевести кроличью почку в стеклообразное состояние, погрузив ее в изопентан при температуре -130°C и давлении 1000 атм.; правда, скорость охлаждения была слишком медленной, чтобы без давления и специальных химических добавок не происходила кристаллизация воды.

Чтобы предотвратить образование кристаллов льда в «остекленевшей» почке по мере возвращения к температуре тела, ее подвергли равномерно облучению в радиодиапазоне. Однако проблема нарушения структуры ткани при охлаждении осталась нерешенной.

«Неизвестно, каков механизм этого процесса, — ясно только, что дело не в кристаллах льда», — сказал Фейи.

Проект сохранения почек под эгидой Красного Креста разрабатывается уже 17 лет. Спрос на органы постоянно опережает предложение. Проблема усугубляется двумя обстоятельствами. Изолированные органы быстро гибнут, поэтому их надо использовать как можно скорее, а вероятность того, что в нужный момент найдется подходящий донор, мала. Даже при использовании препаратов, подавляющих иммунный ответ, таких как циклоспорин, «период полураспада» трансплантированной почки не превышает 7 лет. «Если бы существовал способ сохранять почки в течение года и создать банк, содержащий их в количестве 6000, то можно было бы находить оптимального донора более чем в половине случаев, — говорит Фейи. Это продлило бы время жизни трансплантатов вдвое».

Когда папа пьяница

ШИРОКО ИЗВЕСТНО, какой вред беременная женщина причиняет своему будущему ребенку, употребляя алкогольные напитки. Но, по-видимому, на здоровье и умственные способности потомства сказывается и пьянство — даже кратковременное — отца в период перед зачатием. Об этом говорят результаты экспериментов на крысах, проведенные Т. Сисеро и Д. Возняком в Вашингтонском университете. Результаты их исследования были изложены на последней нейрологической конференции в г. Феникс.

Самцам крыс в течение 39 дней давали жидкую пищу, содержащую 6% спирта. При таком питании животные постоянно находились в состоянии алкогольного опьянения. Затем их 2 недели кормили безалкогольной пищей, после чего спаривали с самками, вообще не получавшими спирта. Родившиеся у этих пар детеныши мужского пола внешне не отставали от контрольных животных ни в росте, ни в развитии (и те и другие открыли глаза в одно время и набирали вес с одинаковой скоростью), ни в выполнении большинства физических и перцептуальных задач. Однако при ориентировании в лабиринте за пищевое вознаграждение у потомков самцов-«алкоголиков» оказались существенно пониженные показатели: на выполнение задания им требовалось в полтора раза больше времени, чем контрольным особям.

Сисеро и Возняк изучали только де-

теньшей мужского пола, поскольку ранее в одной из работ Сисеро было показано, что в потомстве крыс, потреблявших алкоголь, у самцов имеют место гормональные нарушения, которых не наблюдается у самок из того же помета. «Животные выглядят вполне нормальными, — замечает Сисеро, — но стоит обратиться к некоторым специфическим аспектам (способности к научению, уровням гормонов), как обнаруживаются аномалии».

В описанных экспериментах роль «пьющего папаши» играли молодые самцы — по аналогии с тем, что у людей отцами становятся, как правило, до достижения окончательной зрелости. По словам Сисеро, это делалось неслучайно: результаты его ранних исследований свидетельствовали, что молодые самцы более чувствительны к действию алкоголя, чем полностью зрелые. На будущее Сисеро и Возняк запланировали аналогичные эксперименты, в которых в качестве отцов выступают особи, достигшие полной зрелости, и в их потомстве будут проверяться умственные способности не только самцов, но и самок.

Как считает Сисеро, результаты этих исследований согласуются с имеющимися данными о людях: сообщалось, что среди сыновей алкоголиков повышена частота гормональных нарушений и что они хуже успевают в школе по сравнению со своими сестрами и детьми непьющих родителей.

Сведения о людях трудно интерпретировать из-за множества неизвестных переменных — как генетических, так и факторов внешней среды. По мнению Сисеро и Возняка, эксперименты на животных указывают на то, что алкоголь оказывает мутагенное действие на половые клетки будущего отца и таким образом влияет на его потомство. Исследователи признают, что им неизвестен механизм мутирования под действием алкоголя и неизвестно, каким образом вследствие мутаций у потомков мужского пола развиваются гормональные нарушения и ухудшаются умственные способности. «Мне бы очень хотелось выяснить механизм происходящего, прежде чем публиковать свои данные, — говорит Сисеро. — Но, по-моему, важно, чтобы они стали достоянием общественности».

Дж. Мендельсон из Медицинской школы Гарвардского университета разделяет эту точку зрения и считает уже установленные факты чрезвычайно важными. «Огромный интерес вызывает то, что определенные изменения, влияющие на умственные способности, передаются от отца», — замечает он.

Землетрясения в стабильной континентальной коре

Землетрясения могут происходить даже в устойчивых районах земной коры, вдали от уже известных сейсмических зон, обрамляющих литосферные плиты.

Чем объяснить эти загадочные явления?

АРЧ С. ДЖОНСТОН, ЛИЗА Р. КАНТЕР

ГОРОД Чарлстон (шт. Южная Каролина) находится весьма далеко от сейсмически активных областей Земли. Как сильные, так и слабые землетрясения происходят в основном в Тихоокеанском кольце, Средиземноморье и Центральной Азии. Тем не менее в 1886 г. большинство районов Чарлстона серьезно пострадало от подземного толчка, в несколько раз превышавшего по силе тот, что в октябре прошлого года поразил Сан-Франциско. Во время Чарлстонского землетрясения насыщенный водой грунт на побережье превратился в жидкую субстанцию, выбрасываемую вверх в виде гейзеров песка и грязи. Погибло множество людей, существенно замедлилось восстановление города, пострадавшего за 20 лет до этого в ходе Гражданской войны.

Практически по всем стандартам Чарлстон расположен в геологически спокойной зоне. Ареной, где развиваются горообразование, вулканические извержения, возникают активные разломы и происходит больше всего землетрясений, служат границы между литосферными плитами. Здесь огромные жесткие толщиной 100 км плиты горных пород, слагающие внешнюю оболочку Земли, сталкиваются, расходятся или скользят относительно друг друга. Разлом Сан-Андреас, например, который является границей между плитой, несущей на себе почти всю Северную Америку, и плитой, подстилающей Тихий океан, проходит прямо через Калифорнию. Чарлстон же расположен далеко от границ плит (восточный край Северо-Американской плиты удален на тысячи километров от берега и находится в середине Атлантического океана), а кора здесь не подвергалась тектоническим (деформирующим) процессам, характерным для окраин плит, уже 150 млн. лет — со времени раскрасытия Атлантики.

Землетрясение, которое вызвало

разрушения в австралийском городе Ньюкасле 27 декабря минувшего года, произошло в еще более древней и более спокойной области коры. Как показывают эти и другие, более сильные сейсмические толчки — в Миссури, Арканзасе, Теннесси в 1811 и 1812 гг., на побережье залива Кач в Индии в 1819 г., — крупные землетрясения действительно могут происходить во внутренних частях плит. Подобные события очень редки, причем наиболее значительные из них случились еще до того, как появились надежные регистрирующие приборы. Все это привело к тому, что сейсмологи откладывали их обстоятельное изучение на потом. Но уже один тот факт, что они встречаются, представляет научный интерес — для геофизиков и практический — для организаций, планирующих строительство таких опасных сооружений, как атомные электростанции. Проблема сейсмического риска в сущности и послужила частично стимулом для нашего собственного детального изучения этих землетрясений, которое финансировалось Исследовательским институтом электроэнергии в Пало-Альто, шт. Калифорния, и проводилось совместно с Кевином Коппермитом и его коллегами из фирмы Geomatrix Consultants в Сан-Франциско, а также с Энн Мецгер из Мемфисского университета.

Мы искали ответы на два главных вопроса. 1) Как может значительная сейсмическая активность проявляться внутри стабильных частей континентов? 2) Есть ли какие-нибудь специфические геологические особенности, благодаря которым некоторые области стабильной коры оказываются больше чем другие подвержены землетрясениям? Свое исследование мы начали с Северной Америки, но вскоре поняли, что весьма ограниченный перечень этих редких событий на отдельно взятом континенте не обеспечит достаточного количества данных

для выполнения надежного анализа. Поэтому мы решили «перейти от времени к пространству» и рассмотреть повторяемость землетрясений и их распределение в стабильных районах континентов по всему миру.

ЧТО СЧИТАТЬ стабильной континентальной корой? Разумеется, в эту категорию попадают сложенные коренными породами шиты возрастом подчас более 3 млрд. лет, образующие древнейшую сердцевину материков, и окружающие их «платформы», покрытые осадочным чехлом. На другом конце «диапазона стабильности» — сами границы плит, которые, естественно, в интересующую нас категорию не входят. Однако между этими предельными случаями выбрать области, которые можно было бы определить как стабильную кору, значительно сложнее.

Тектоническая активность, возбуждаемая различными взаимодействиями плит, может распространяться достаточно далеко от их границ. Там, где литосферные плиты сходятся и океаническая плита поддвигается под континентальную, вулканизм и процессы горообразования могут проявляться в полосе шириной в сотни километров на перекрывающем континенте, как это происходит в Андах. Если обе плиты несут на себе континенты или континентальные фрагменты, в результате столкновения может возникнуть область смятых в складки, приподнятых и пересеченных разломами массивов шириной в несколько тысяч километров; типичным примером служат Гималаи, Тибетское нагорье и горы Центральной Азии вплоть до Байкала на севере.

Обратный процесс — рифтогенез на континенте с образованием двух новых плит, разделенных центром спрединга, каким является Срединно-Атлантический хребет, где формируется новое дно океана, — также создает обширную зону деформирован-

ной коры. В начале рифтогенеза континентальная кора растягивается и утоняется, ее пересекают разрывы и жилы, заполненные вулканическим материалом. Как только между образовавшимися в процессе рифтогенеза краями континента разовьется вполне созревший океанический центр спрединга, континентальная кора перестает растягиваться. Края охлаждаются и оседают, в результате чего возникают так называемые пассивные континентальные окраины.

По мере миграции и переориентации границ плит с течением геологического времени области, деформированные сжимающими или растягивающими силами, становятся частью стабильных внутренних участков плит. Они уже не являются ареной интенсивной тектонической деятельности, хотя на них все еще безусловно влияют напряжения — как правило, сжимающие, — передаваемые сюда от далеких краев плит. Поэтому наряду с древнейшими щитами и платформами мы считаем стабильной континентальной корой горные пояса возрастом более 100 млн. лет (например, Аппалачи и Уральские горы, но не Альпы и не Гималаи) и пассивные окраины старше 25 млн. лет (граничные участки Атлантики, но не более молодого Красного моря). Мы относим к ней и нераскрывшиеся древние рифты, у которых не развился зрелый центр спрединга и растянувшаяся кора опустилась с образованием обширной долины или заполненной осадками прогиба. Исходя из этих критериев, почти две трети всей континентальной коры можно рассматривать как стабильные.

Чтобы определить, насколько активны землетрясения в этих наименее сейсмичных районах континентов, мы не можем основываться на одних только сделанных в последнее время инструментальных записях: даже по всему миру их получено слишком мало. Мы должны «раскинуть сеть» возможно шире и «выловить» сведения о землетрясениях, имеющиеся в исторических источниках. По Северной Америке такую информацию можно получить начиная с XVI—XVII вв., по Европе она имеет-

РАЗЛОМ В ДРЕВНЕЙ КОРЕ явился тем местом вблизи Теннант-Крика в Австралии (Северная территория), где в 1988 г. произошла серия землетрясений с моментной магнитудой $M = 6$. На стабильных участках континентов зарегистрировано очень мало подобных событий со смещением земной поверхности. Снимок сделан Дж. Боуменом из Австралийского национального университета.



ся для последних 1000 лет, а по Китаю — более чем за 2000 лет.

Просто подсчитать число землетрясений, упоминающихся в исторических документах, недостаточно; нужно еще иметь какие-то данные об их величине. В современной практике наиболее надежной мерой силы толчка признается моментно-магнитудная шкала, разработанная Хиро Канамори из Калифорнийского технологического института и Томасом С. Ханксом из Геологической службы США. В шкалах, введенных раньше, например в шкале Рихтера, землетрясения классифицировались в соответствии с амплитудой определенных сейсмических волн, которая для землетрясения с данной энергией может изменяться в зависимости от частоты измеряемых волн. В противоположность этому моментно-магнитудная шкала основана непосредственно на рассмотрении физического процесса, происходящего в очаге землетрясения, а именно смещения пород вдоль разрыва.

В этой шкале используется величина, называемая сейсмическим моментом и характеризующая пару сил (две равные и противоположно направленные силы), которая вызывает вспарывание разрыва. Сейсмический момент численно равен произведению площади поверхности разрыва на среднюю величину смещения пород вдоль этого разрыва и на модуль сдвига пород. Моментная магнитуда (M) прямо пропорциональна логарифму сейсмического момента, поэтому землетрясение с $M = 7$ в 32 раза сильнее, чем с $M = 6$, и в 1000 раз — чем толчок с $M = 5$.

СЕЙСМИЧЕСКИЙ момент можно вычислить, даже если образовавшийся при землетрясении разрыв недоступен для наблюдения — скрыт под водой или погребен на глубине многих километров. Благодаря методике, разработанной Кэйити Аки, который в настоящее время работает в Университете Южной Калифорнии, и многим последующим усовершенствованиям, сейсмический момент, а значит, и моментную магнитуду землетрясения можно определить по низкочастотным компонентам сейсмических волн, регистрируемых сейсмографами на некотором расстоянии. Однако в нашем каталоге землетрясений на стабильном континенте половина всех толчков и большинство самых сильных из них произошли еще до того, как в конце XIX в. был изобретен сейсмограф. Нам нужно было найти способ оценивать сейсмический момент по данным, имеющимся в исторической литературе; это «зоны

интенсивности», описания воздействий землетрясения на людей, здания и ландшафт, а также их протяженность по площади.

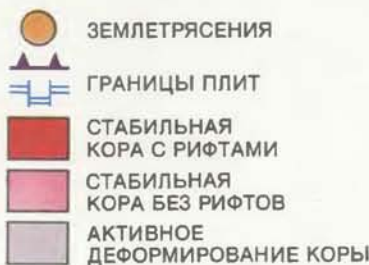
К счастью, более чем для 100 землетрясений у нас имелись и сведения о зонах интенсивности, и результаты расчетов сейсмического момента, основанных на инструментальных данных. Применив к этим данным статистический метод регрессии, мы смогли найти корреляцию между зонами интенсивности и сейсмическим моментом для землетрясений в стабильной коре; это дало нам возможность определять моментные магнитуды тех событий, для которых не было инструментальных данных. Самыми сильными из всех землетрясений, зафиксированных до сих пор на устойчивых участках континентов, были крупные землетрясения, происходившие в течение зимы 1811/12 г. в районе Нью-Мадрида, шт. Миссури. Их моментные магнитуды лежали в пределах от 8,1 до 8,3.

Для сравнения, сильнейшее из всех вообще землетрясений, зарегистрированных на земном шаре, произо-

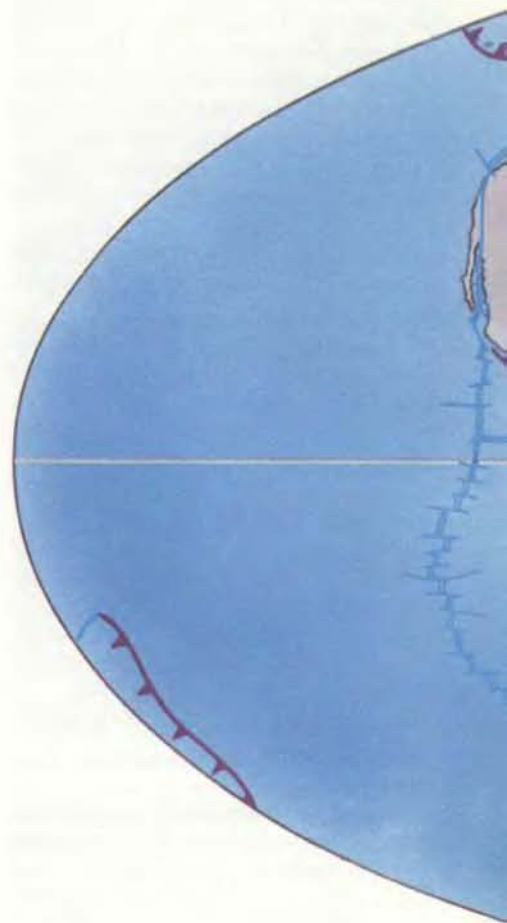
шло в 1960 г. в Чили, где проходит граница плит; оно характеризуется величиной $M = 9,5$, т. е. в 63 раза сильнее Нью-Мадридских. (По энергии Чилийское землетрясение соответствует среднему урагану с той разницей, что выделяется эта энергия в течение 1—2 мин, а не за десяток суток.) Однако Нью-Мадридские толчки, возможно, ощущались на большей площади, чем любое другое землетрясение в исторический период, так как прочные породы внутренних частей плит передают сейсмические волны гораздо лучше, чем испещренная трещинами кора, прилегающая к плитовым границам. Хотя эпицентр Нью-Мадридских толчков располагался в 1,5 тыс. км от берега, во время них потрескалась штукатурка в домах даже на восточном побережье США (см. статью Arch C. Johnston. A Major Earthquake Zone on the Mississippi, Scientific American, 1982).

Землетрясение 1819 г. на побережье залива Кач в Индии занимает второе место после Нью-Мадридских по магнитуде ($M = 7,8$), определенной по отрывочным данным о зонах интен-

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ (МЕСТО, ГОД)	ВМЕ- ЩАЮЩАЯ СТРУКТУ- РА	M
1. Нью-Мадрид, 1812	рифт	8,3
2. Нью-Мадрид, 1811	рифт	8,2
3. Нью-Мадрид, 1812	рифт	8,1
4. Кач, 1819	рифт	7,8
5. Море Баффина, 1933	конт. окр.	7,7
6. Тайваньский прол., 1604	конт. окр.	7,7
7. Южн. Каролина, 1886	конт. окр.	7,6
8. Нанай, 1918	конт. окр.	7,4
9. Большие банки, 1929	конт. окр.	7,4
10. Базель, 1356	рифт	7,4
11. Хайнань, 1605	рифт	7,3
12. Плато Эксмаус, 1906	конт. окр.	7,2
13. Ливия, 1935	конт. окр.	7,1
14. Португалия, 1858	конт. окр.	7,1
15. Южн. Тасман. подн., 1951	конт. окр.	7,0



СТАБИЛЬНЫЕ РЕГИОНЫ занимают около 2/3 континентальной коры. В них не входят границы литосферных плит и обширные районы активного в наше время или в прошлом деформирования. 15 самых сильных землетрясений, зарегистрированных в стабильной коре (вверху), произошли там, где кора за последние 250 млн. лет подвергалась растяжению и стала тоньше.



сивности. Оно также служит «пробным камнем» для независимой проверки полученной нами эмпирической корреляции между зонами интенсивности и сейсмическим моментом. В отличие от разрывов, которые были источниками большинства землетрясений на устойчивом континенте и глубоко погребены под толщей осадков, «скрывающих» древнюю кору, разрыв, вспоровшийся при Качском землетрясении, достиг земной поверхности.

Его проявления были поистине грандиозными. Образовался крутой уступ высотой 6—9 м и длиной по меньшей мере 90 км, который местные жители назвали Аллах-Банд, т. е. «Стена Аллаха». Местность к северу от уступа оказалась приподнятой, а расположенная к югу равнина — периодически затопляемая соляная равнина — испытала дальнейшее погружение. Форт Синдри, построенный задолго до землетрясения, стоял на этой равнине на небольшом возвышении. Когда земля к югу от разрыва опустилась, форт оказался погруженным так глубоко, что солдаты вы-

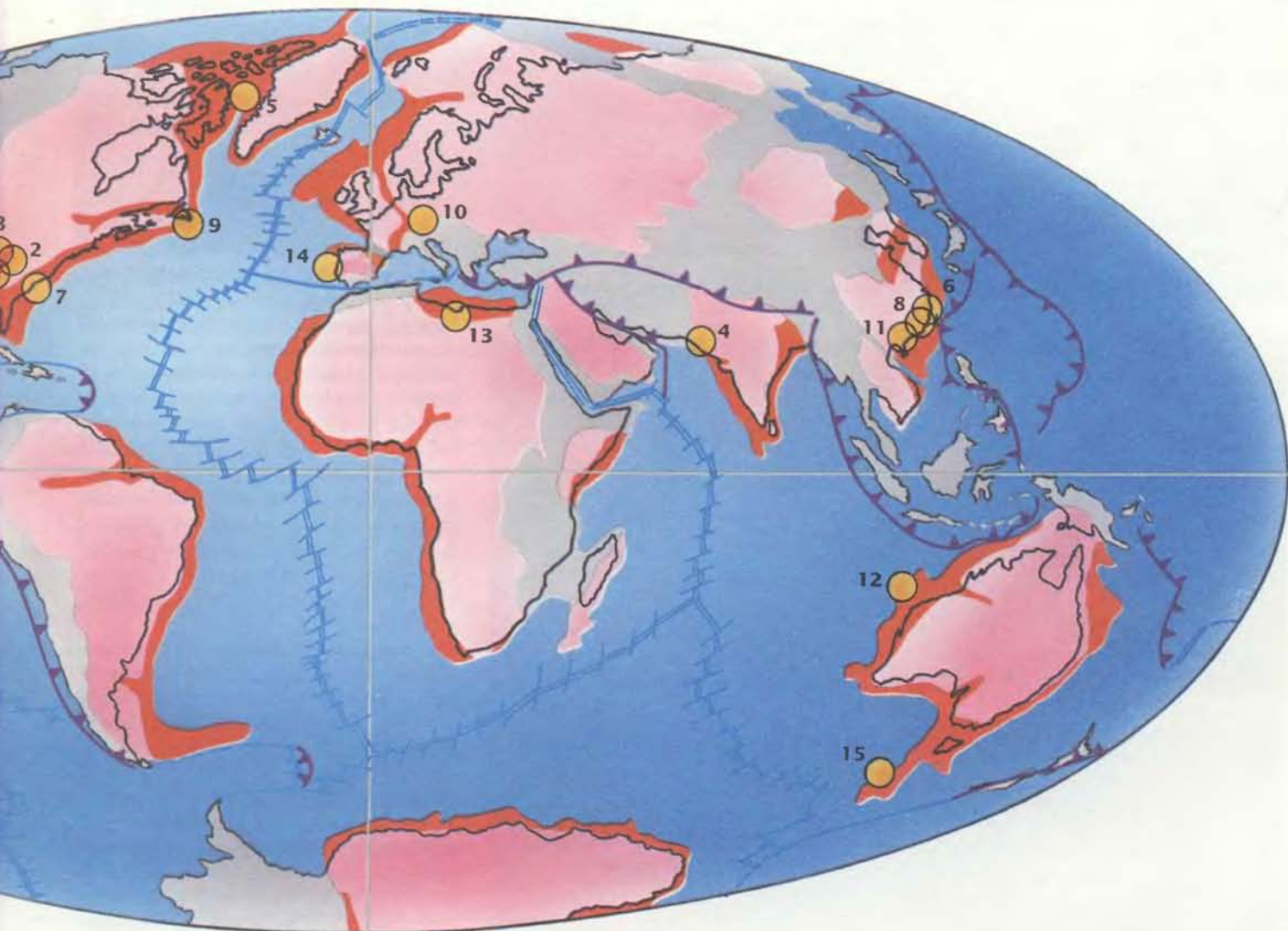
нуждены были спасаться на лодке с верхней башни.

Заметим, что совместное поднятие и опускание поверхности при землетрясении Кач является одной из ярчайших иллюстраций теории, объясняющей образование разрыва в очаге землетрясения упругой отдачей. Согласно этой теории (детально разработанной лишь после катастрофического Сан-Францисского землетрясения 1906 г.), сейсмический толчок есть внезапное выделение энергии упругой деформации, накопленной в породе; теория предсказывает также, что породы по разные стороны разрыва должны перемещаться в противоположных направлениях. В случае землетрясения Кач противоположно направленные вертикальные смещения коры особенно ярко выявились благодаря тому, что разделяющая их плоскость совпадала с уровнем моря.

Еще важнее то, что явное движение по разрыву позволило нам непосредственно рассчитать сейсмический момент. Англичане провели тщательные измерения длины разрыва и величины подвижки по нему (в среднем от

5 до 7 м). Чтобы вычислить сейсмический момент, нужно еще знать глубину, на которую протягивается зона разрыва, и значение модуля сдвига (жесткость) пород, но в отношении обеих этих величин можно сделать приемлемые допущения. Полученное значение момента менее чем вдвое отличалось от его величины, оцененной из сообщений об интенсивностях. Это дополнительно подтвердило допустимость восстановления сейсмического момента по одним только историческим данным.

НЬЮ-МАДРИДСКИЕ и Качское землетрясения — наиболее мощные из 800 с лишним событий с магнитудами 4,5 и выше, происшедших на устойчивых участках континентов. Такое количество может показаться большим, но надо учесть, что в него входят все землетрясения, зафиксированные во всем мире за столетия или даже тысячелетия. (Вдоль границ литосферных плит толчков с $M = 4,5$ и выше происходит гораздо больше за один только год.) Чтобы узнать, как именно выделение сейсмического мо-



мента на стабильных континентах коррелирует с сейсмической активностью в глобальном масштабе, мы построили так называемую диаграмму частотного распределения магнитуд. На этой диаграмме по горизонтальной оси нанесена магнитуда землетрясения, а по вертикальной — число толчков с данной или большей магнитудой. Если вертикальная шкала логарифмическая, график для любой заданной площади и периода времени

будет прямой линией, идущей вниз от самых слабых, наиболее часто происходящих событий к очень редким катастрофическим толчкам.

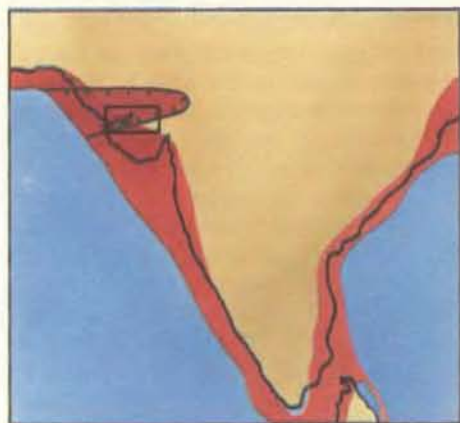
Даже если «каталог» землетрясений не включает очень мелкие толчки или охватывает столь короткий период времени, что в него не попадают очень крупные, явная зависимость между частотой встречаемости и магнитудой землетрясения означает, что полученный график можно экстрапо-

лировать, с тем чтобы оценить повторяемость землетрясений в широком диапазоне магнитуд. А тогда уже легко, объединяя эти результаты, найти полную сейсмичность — скорость, с которой происходит выделение сейсмического момента, для того региона, по которому собраны данные. Наши расчеты показали, что всего на стабильной континентальной коре выделяется около $4,5 \cdot 10^{26}$ дин·см (принятая единица измерения сейсмического момента) в год, или менее 0,5% от его общего выделения на Земле.

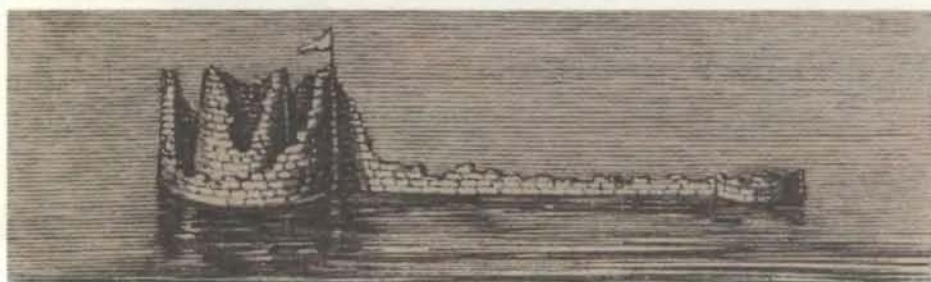
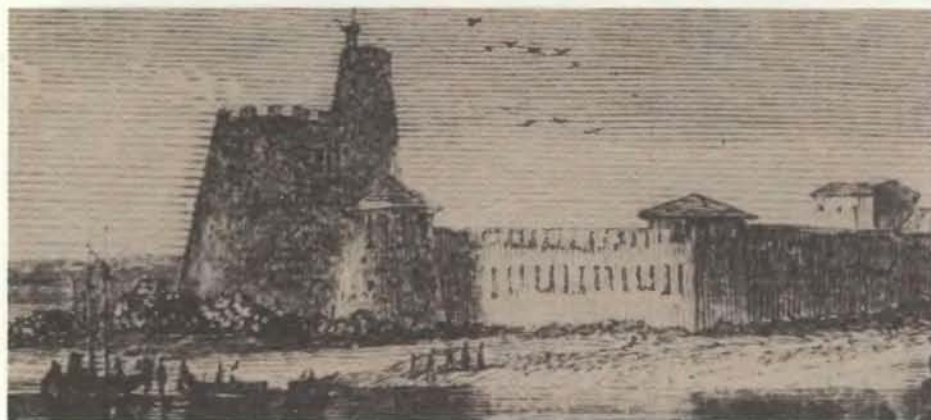
Наша база данных, несомненно, не является полной. Вероятно, она включает все землетрясения с $M > 7$. Однако слабые и умеренные толчки, происходившие в удаленных районах, могли не фиксироваться, что увеличивает неопределенность диаграммы частотного распределения магнитуд. Однако обнадеживает согласие между цифрами, характеризующими сейсмичность, и другим источником информации о процессах в стабильной континентальной коре — независимыми измерениями скорости деформирования стабильной коры.

Основываясь на сигналах, получаемых со спутников или идущих от далеких космических объектов, геофизики научились измерять мельчайшие изменения расстояния между приемными станциями, разнесенными на тысячи километров друг от друга, когда кора между ними растягивается или сжимается (см. статью Уильяма Е. Картера и Дугласа С. Робертсона «Исследование Земли с помощью интерферометрии со сверхдлинной базой», «В мире науки» 1987, № 1). Между двумя станциями, разделенными зоной активной тектоники вблизи границы плит, смещение коры может достигать нескольких сантиметров в год. Стабильная континентальная кора деформируется также в ответ на сжимающие напряжения, передаваемые от границ плит, однако предварительные измерения показывают, что скорость этих деформаций крайне мала — примерно 10^{-10} в год, т. е. несколько миллиметров на длине в 1000 км.

Если предположить, что все напряжения, накопившиеся при деформации, в конце концов высвобождаются во время землетрясений (приемлемое допущение для прочных хрупких пород внутренних областей континентальной коры), то можно вычислить, какой величины сейсмическая активность будет сопровождать деформирование. Как показал В. В. Костров из АН СССР, скорость выделения сейсмического момента пропорциональна произведению объема коры на



КАЧСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 1819 г. в западной Индии (слева) отличалось от большинства толчков на стабильных участках коры тем, что разрыв достиг дневной поверхности. В результате на соляных равнинах, называемых Качским ранном, вырос уступ («Стена Аллаха») высотой 6—9 м (вверху). Земля к северу от него оказалась приподнятой, к югу — опущенной. Форт Синдри стоял на возвышении (ниже); после землетрясения, как показывает рисунок, сделанный 19 лет спустя (внизу), над водой осталась одна башня. Гравюры взяты из книги Ч. Лайеля «Основы геологии».



1



СОДЕРЖАЩАЯ РИФТЫ КОРА — место возникновения самых сильных землетрясений на стабильных участках континентов. Эти области формируются в течение миллионов лет, когда растягивающие силы разбивают хрупкие породы верхней коры на блоки, разделенные активными разломами (1). Длительное растяжение приводит к утонению коры, делающему возможным прорыв магмы. Если действие этих сил прекращается, испытывавшие растяжение участки

коры остаются в виде несостоявшегося рифта (2a), в котором накапливаются новые осадки. Если растяжение продолжается, в континентальной коре в конце концов возникает разрыв с центром спрединга, в котором образуется новая океаническая кора. Подвергавшаяся растяжению континентальная кора оседает, и в результате формируются покрытые толщей осадочных отложений пассивные окраины (2b).

скорость деформации. При скорости деформации 10^{-10} в год получается предсказанное значение скорости выделения сейсмического момента в ста-

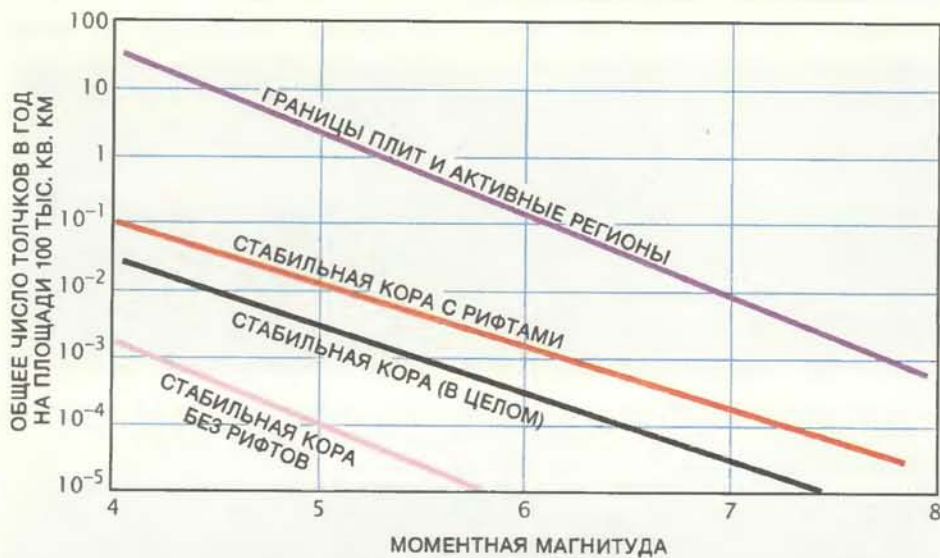
бильной континентальной коре, прекрасно согласующееся с тем, которое мы нашли из нашего каталога данных по землетрясениям.

Полученная нами цифра, характеризующая сейсмическую активность в стабильной коре, по существу представляет собой среднее из значений

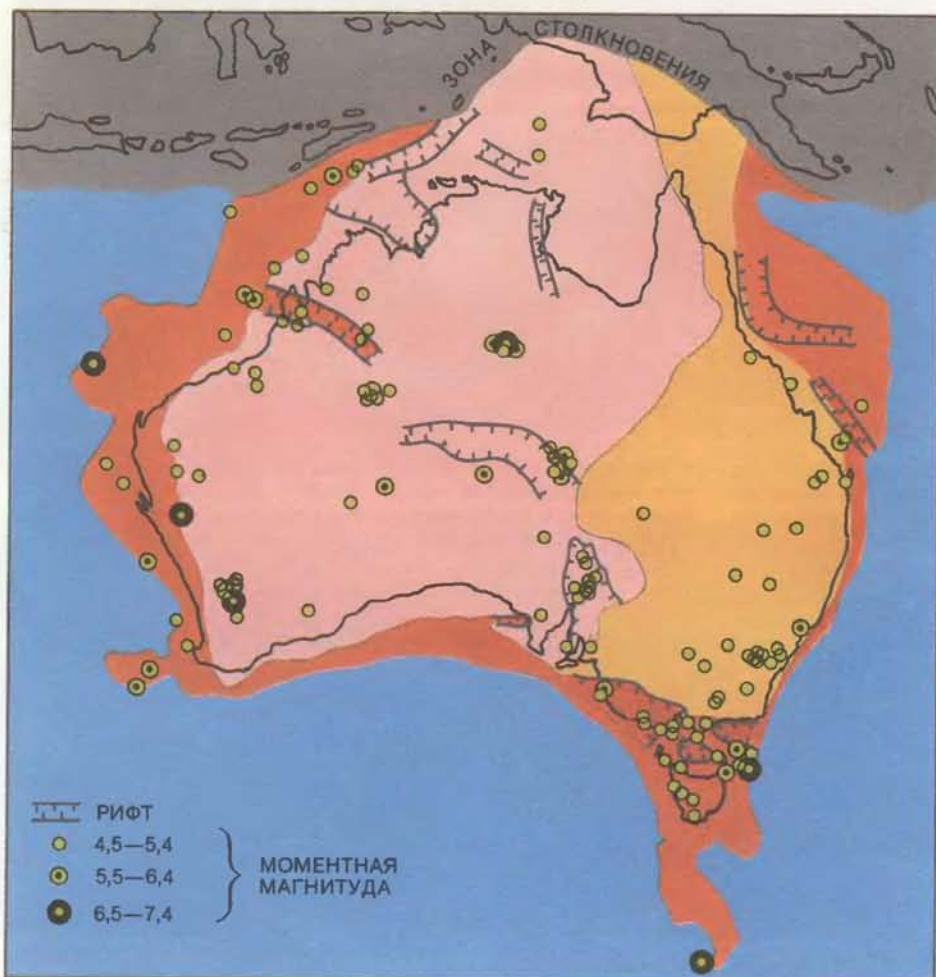


АКТИВИЗАЦИЯ РАЗЛОМА через миллионы лет после его образования происходит, как предполагается, таким образом, что при этом возбуждаются самые сильные землетрясения из числа происходящих на стабильных участках континентов. Разломы, созданные в континентальной коре в древности силами растяжения (1), в течение многих мил-

лионов лет могут оставаться совершенно пассивными, постепенно покрываясь чехлом осадков (2). Однако в конце концов возникающие во внутренних областях континента сжимающие напряжения могут привести к возобновлению движений по разлому либо по вертикали, либо по горизонтали, порождая землетрясение (3).



СЕЙСМИЧНОСТЬ границ литосферных плит и связанных с ними активных регионов в сравнении с сейсмичностью стабильной коры разного вида. Землетрясения от слабых до сильных в несколько сотен раз чаще происходят на границах плит, чем в устойчивых районах. В пределах стабильной коры больше землетрясений наблюдается в областях, содержащих рифты; наибольшая корреляция отмечается для самых крупных событий.



АВСТРАЛИЯ полностью сложена стабильной корой. Эта кора содержит древнее ядро (розовый), окруженное более молодой корой (желто-оранжевый) и пассивными окраинами (красный). С севера Австралию ограничивает область продолжающегося столкновения плит. Австралия представляет собой исключение из общего правила, согласно которому самые сильные землетрясения в пределах стабильных континентов встречаются в тех областях коры, которые относительно недавно в геологических масштабах времени испытывали растяжение. В Австралии самые сильные толчки отмечены вблизи берегов в древних породах, не подвергавшихся рифтогенезу.

скорости, меняющихся в широких пределах от континента к континенту. В Антарктиде и Гренландии землетрясения значительной силы совершенно не наблюдаются — возможно, из-за мощного ледяного покрова, который стабилизирует любые разрывы, препятствуя проскальзыванию. Устойчивые районы Южной Америки и Азии (Сибирь) сейсмически пассивны; для Индии, Австралии, Северной Америки и Африки характерна умеренная активность. Возможно, эти вариации отражают различия в средних уровнях существующих в масштабе континента напряжений. Это предположение можно проверить путем сравнения скоростей деформации в пределах разных континентов.

Сейсмичность значительно варьирует и в пределах устойчивых участков одного и того же материка. Чтобы выяснить причину этого, мы с Дэвидом Байлером, работавшим тогда в Мемфисском университете, решили проанализировать «тектоническую историю» устойчивых континентальных регионов и посмотреть, согласуется ли она с распределением землетрясений. Одна из характеристик коры выступала как универсальное непременное условие возникновения сильнейших землетрясений на стабильном континенте.

ПОДОБНО многим сейсмологам, мы считали, что сейсмические толчки на стабильном континенте должны быть связаны со специфическими ослабленными зонами в земной коре. В конце концов землетрясения в стабильной коре являются продуктом сжимающих напряжений, которые зарождаются на краях плит. И все-таки вряд ли вариации в поле напряжений внутри континента являются единственным фактором, объясняющим распределение землетрясений. Изучая образование разрывов при землетрясениях и данные по буровым скважинам в коренных породах, деформирующихся под влиянием преобладающего поля напряжений, Мэри Зобак из Геологической службы США, Марк Зобак из Станфордского университета и другие, показали, что силы сжатия во внутренних областях континентов сохраняют устойчивую ориентацию на больших пространствах.

Следовательно, для возникновения землетрясения, по-видимому, требуется зона, ослабленная прошлыми тектоническими процессами, где эти напряжения могли бы разгружаться. На эту роль подошла бы кора, иссеченная старыми разломами, как, например, древние горные пояса или районы не раскрывшихся рифтов. Распространяющееся сжатие могло

бы «оживлять» эти старые разрывы, заставляя породы по ним проскальзывать и генерируя тем самым землетрясения.

Полученные нами результаты в значительной степени подкрепляют эту модель «оживленных» разломов. В тех областях, которые в прошлом уже испытывали растяжение, скажем на пассивных континентальных окраинах и нераскрывшихся рифтах, землетрясение более вероятно, чем, например, на древних кристаллических щитах. Из более чем 800 рассмотренных нами землетрясений почти половина (49%) попадает в пределы такой подвергавшейся растяжению коры, хотя на долю последней приходится лишь четверть от всего объема стабильной континентальной коры.

Корреляция растет с ростом магнитуды: в районах растянутой коры толчков с $M < 6$ отмечено 45%; это число возрастает до 59% для землетрясений с магнитудами в интервале между $M = 6$ и $M = 7$ и до 100% для самых сильных событий — с $M \geq 7$. Так, под Нью-Мадридом и заливом Кач на глубине имеется несостоявшийся рифт, а Чарлстонское землетрясение произошло на пассивной континентальной окраине, которая испытывала растяжение. Во всех случаях сильнейших, а также в большинстве случаев более слабых толчков в зонах рифтов и на пассивных окраинах растяжение происходило сравнительно недавно — от 25 (по определению) до 250 млн. лет назад.

Соответствие между испытываемой растяжением корой и землетрясениями умеренной силы оказалось бы более значительным, исключи мы из рассмотрения Австралию. Древняя, не содержащая рифтов кора в западной и центральной части Австралии явилась местом возникновения нескольких сильнейших землетрясений, не связанных с областями растяжения коры. (Ньюкаслское землетрясение в восточной Австралии произошло на пассивной окраине.) События, составившие знаменитую 12-часовую последовательность в Теннант-Крике в 1988 г. ($M = 6,2$; 6,3 и 6,6), равно как и толчки в 1986 г. в Марраят-Крике ($M = 5,8$) и в Мекеринге ($M = 6,6$), также имели другие отличительные особенности. Как и при Качском землетрясении, но в отличие от большинства других сейсмических событий в стабильной коре, в каждом из этих случаев разрыв достигал дневной поверхности и приводил к поднятию весьма заметного сбросового уступа. Изучив времена вступлений сейсмических волн и форму колебаний, мы узнали, что подвижка в очагах этих австралийских землетрясений



ЯВЛЕНИЕ РАЗЖИЖЕНИЯ ГРУНТА позволяет датировать крупное доисторическое землетрясение. Когда мощный толчок сотрясает насыщенную водой песчаную почву, давление воды повышается и почва превращается в вязкую жидкость, способную извергаться через вышележащие слои на дневную поверхность. Потрясенная почва, перемещаясь, иногда захватывает органическое вещество, возраст которого можно установить методом углеродного датирования. Показан «песчаный выброс» высотой несколько метров.

возникала на глубинах менее 10 км, а часто — всего 2—3 км, т. е. ближе к поверхности Земли, чем при всех остальных хорошо документированных событиях из нашего массива данных.

Оставив в стороне эти загадочные случаи, можно заметить, что наиболее сильные и грозные из землетрясений на стабильных континентах происходили в областях коры, подвергавшихся растяжению совсем недавно. Можно было бы ожидать, что такие землетрясения должны возникать и в зонах прошлых столкновений континентов — древних районах сжатой и смятой в складки коры типа Аппалачей. В самом деле, слабые землетрясения значительно чаще встречаются в таких регионах, чем в недеформированной коре, а умеренные толчки в них — еще более обычное явление. Однако такое распределение не характерно для более крупных событий, быть может, потому что нарушения коры обладают в зонах растяжения большей проникающей способностью, чем в зонах сжатия.

И все же если бы модель оживления разломов одна объясняла все земле-

трясения на стабильных континентах, следовало бы ожидать такого же поразительного сосредоточения слабых землетрясений в областях растяжения коры, как и сильных. Гораздо более слабая связь небольших землетрясений с такими районами наводит на мысль о том, что здесь могут действовать и другие механизмы.

Одну альтернативную модель для землетрясений на стабильных континентах предложил Марк Зобак, усовершенствовав более раннюю теорию Ричарда Сибсона из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре. Зобак утверждает, что те же самые сжимающие напряжения, которые обнаружены в хрупкой верхней коре материков, присутствуют и в нижней коре, на глубинах свыше 20—25 км. На этих глубинах из-за высокой температуры и, возможно, различий в составе кора находится уже не в хрупком, а в пластичном состоянии. Вместо того чтобы растрескиваться или упруго изгибаться под действием напряжений, ее вещество медленно течет и, пластически деформируясь, как полагает Зобак, усиливает напряжения в вышележащей хрупкой коре. Если это вязкое

деформирование каким-либо образом сконцентрируется в небольшой области, напряжения в верхней коре будут нарастать, приводя к землетрясениям. Из-за того что распределение очагов должно определяться свойствами нижней коры, а не вышележащих пород, будет казаться, что землетрясения происходят случайным образом, как это имело место для самых слабых толчков в нашем каталоге.

НАИБОЛЕЕ важный результат нашего исследования состоит в том, что сильнейшие землетрясения происходят неслучайно. Зная, что они сосредоточиваются в зонах несостоявшихся рифтов и на континентальных пассивных окраинах, мы можем очертить зоны сейсмического риска. Однако это вряд ли дало бы тот же эффект, что выявление сейсмически опасных районов вблизи границ плит, где активные разломы часто выходят на поверхность и подвижки по ним возникают часто и регулярно. Именно благодаря этому для многих разломов на окраинах плит оказывается возможным определять приблизительно интервал повторяемости крупных землетрясений, которые могут происходить примерно раз в 40 лет. В результате, хотя такие землетрясения все же еще невозможно предсказать с точностью до часов или дней, иногда их удается предвидеть с определенной степенью точности. Например, в 1988 г. был сделан вывод, что на одном участке разлома Сан-Андреас весьма вероятно сильное землетрясение в ближайшие 30 лет; и вот в прошлом году именно этот участок и обусловил подземные толчки, обрушившиеся на Сан-Франциско.

Предвидеть сейсмические события на устойчивых участках континентов — а тем более предсказывать их — дело далекого будущего. Большинство из них возникает на глубоко погребенных разломах, которые невозможно увидеть с поверхности и которые не выдают себя частым вспарыванием. Из 15 имеющихся в нашем каталоге землетрясений с магнитудами $M \geq 7$ ни одно не было повторением какого-нибудь более раннего зарегистрированного события сравнимой величины (если три Нью-Мадридских землетрясения 1811—1812 гг. считать за одно).

Вопрос о том, подчиняются ли вообще землетрясения на стабильных участках континентов какой-либо периодичности, остается открытым. Если да, то интервал их повторяемости должен быть больше, чем для толчков на окраинах плит. Измерения чрезвычайно малых деформаций

внутри плит, проводящиеся с помощью астрономических методов, свидетельствуют о том, что крупнейшие землетрясения в любом данном месте могут повторяться лишь с интервалами в тысячи лет. (Не исключено, однако, что эта внутриплитовая деформация сконцентрирована в небольшом количестве зон ослабленной коры, где землетрясения могут происходить чаще. Например, в Нью-Мадриде, по оценкам некоторых исследователей, крупные землетрясения типа тех, что имели место в 1811—1812 гг., могут повторяться каждые 500 лет.)

Наибольшие надежды на определение частоты повторяемости землетрясений мы возлагаем на развивающуюся дисциплину, называемую палеосейсмологией и занимающуюся изучением доисторических землетрясений. Даже если сам сейсмогенный разрыв погребен на значительной глубине, сильное землетрясение может оставить после себя на суше долго сохраняющиеся отметины — скажем смещенные русла рек или деформированные слои почвы. Иногда среди таких индикаторов встречается органический материал — например, корни деревьев, оторвавшиеся при закручивании почвенных частиц, благодаря которому можно установить время события радиоуглеродным методом.

Изучение признаков разжижения грунта в Чарлстоне позволило пред-

положить, что интервал между событиями 1886 г. и предыдущим землетрясением составлял 1100 лет. В Оклахоме Энтони Кроун из Геологической службы США и Кеннет Луза из Геологической службы Оклахомы произвели измерения и датировку смещенных потоков вдоль разлома Мирс (структуры, фиксируемой уступом высотой 3—5 м и протягивающейся более чем на 25 км в пределах несостоявшегося рифта). В исторические времена разлом Мирс оставался спокойным, но палеосейсмологические данные показывают, что приблизительно 1200 лет назад здесь произошло землетрясение с $M \geq 7$.

Относительно тех мест, где за исторический период произошли землетрясения или где на поверхности виден разлом, мы вскоре сможем сказать кое-что о повторяемости крупных событий, т. е. сделать первый шаг на пути к их предсказанию и оценке сейсмической опасности для этого района. Для остальной части стабильной континентальной коры наше исследование дает широкомасштабную картину характера изменения сейсмического риска на протяжении всей истории эволюции коры. Кроме того, полученные результаты служат полезным напоминанием о том, что даже для центральных частей континентов характеристику «стабильный» следует считать весьма относительной.

Книги издательства „Мир“

Б. Клауснитцер
ЭКОЛОГИЯ ГОРОДСКОЙ ФАУНЫ

Перевод с немецкого

Книга известного в ГДР зоолога, профессора Лейпцигского университета — первое обобщение сведений о всех группах животных, обитающих в крупных городах. Основой обзора послужили данные изучения наземной фауны восьми городов Европы, в том числе Варшавы, Вены, Гамбурга, Лейпцига. Наряду с теоретическими обобщениями книга содержит ценный справочный материал, а также рекомендации по

охране многих представителей городской фауны.

Содержание: Характеристика городских местообитаний. Происхождение и состав городской фауны. Проблемы динамического равновесия видов. Пищевые цепи. Антропогенные нагрузки. Факторы смертности. Возможности оптимизации условий существования отдельных видов в черте большого города.

1990, 16 л. Цена 2 р. 40 к.

Книга выйдет в свет во II квартале 1990 г.



В. Маршалл
**ОСНОВНЫЕ ОПАСНОСТИ
 ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

Перевод с английского



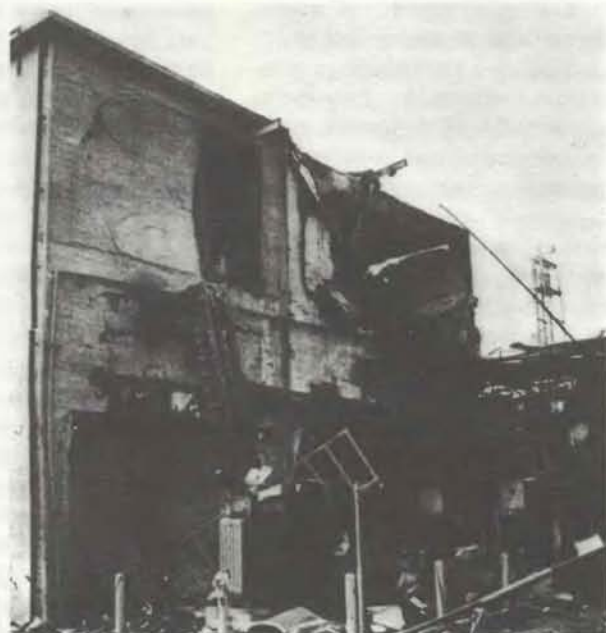
Рассматриваются аварии промышленных предприятий, вызываемых данными факторами неустойчивости трех основных классов: крупные пожары, аварии со взрывами, токсические аварии. Обсуждаются основные этапы оценки риска — получение количественных мер опасности, анализа риска и законодательных методов управления уровнем безопасности.

Книга будет полезной как практическим работникам (конструкторам, проектировщикам, инженерам по обеспечению и надзору за безопасностью), так и научным работникам (физикам, химикам, системным аналитикам, юристам), а также аспирантам и студентам соответствующих специальностей.



Книга посвящена весьма актуальной, интенсивно развиваемой области человеческой деятельности — обеспечению безопасности промышленности.

Обсуждаются методологические вопросы — выявляются потенциальные опасности современных промышленных предприятий, обусловленные тенденциями развития промышленности; исследуется природа опасностей и риска. Описываются физические и химические закономерности возникновения и эволюции главных факторов неустойчивости химических производств — нарушений герметичности устройств для хранения и работы с опасными веществами.



Из отзыва академика Третьякова Ю.Д.:
 «В книге на высоком уровне представлены узловые вопросы промышленной безопасности. Данная работа является одной из лучших и самой современной. К несомненным достоинствам книги следует отнести то, что она содержит исключительно много фактического материала по безопасности, осмысленного с практических, инженерных позиций».

1989. Цена 4 р. 50 к.

Эту книгу Вы можете купить в магазинах — опорных пунктах издательства «Мир»

121019 Москва, проспект Калинина, 26, п/я 42. Магазин № 200 «Московский Дом Книги».

125315 Москва, Ленинградский проспект, 78. Магазин № 19 «Мир»



Странное поведение полимерной пленки при растяжении



ДЖ. УОЛКЕР

МНОГИЕ полимерные пленки, например те, что используются для упаковки пищевых продуктов, ведут себя при растяжении довольно странным образом. Они и не рвутся внезапно, как, например, нитка, и не удлиняются постепенно, как резина. Вначале они упорно сопротивляются растяжению, а затем внезапно уступают: при этом уменьшается либо их толщина, либо ширина (в направлении, перпендикулярном растяжению), либо и то, и другое.

Возьмите кусок пленки за два конца и начинайте тянуть его в разные стороны. Вначале вы почувствуете, что пленка не поддается, но в какой-то момент она внезапно начинает растягиваться, сужаясь в середине. После образования области сужения тянуть пленку становится легче, а область сужения начинает распространяться к концам пленки. Однако, когда эта область достаточно удлинится, растягивать пленку станет опять намного труднее. В какой-то момент она не выдерживает и где-то в месте сужения рвется.

Прежде чем приступить к объяснению этого процесса, упомянем одно довольно любопытное проявление этого эффекта. Некоторые полимер-

ные пленки частично прозрачны. Если вы хотите, например, прочесть через пленку какой-то печатный текст, вы должны поднести страницу достаточно близко к пленке; если отодвигать страницу от пленки, буквы расплываются и вскоре различить их уже нельзя. Мутность пленки объясняется прежде всего рассеянием света молекулами полимера. Наибольшее расстояние от пленки до страницы, при котором еще удастся прочесть текст, может служить мерой рассеяния.

Когда пленка растягивается и утончается, свет проходит через слой материала меньшей толщины и кванты света сталкиваются с меньшим числом молекул, поэтому, казалось бы, рассеяние света должно быть слабее. Из этого можно сделать вывод, что текст через пленку будет читаться на большем расстоянии от пленки. Но хотя эти рассуждения и кажутся логичными, в действительности все происходит иначе. Чтобы увидеть, что происходит на самом деле, я растянул одну половину полоски полимерной пленки, положил ее на предметное стекло микроскопа, а само стекло укрепил с помощью пластилина рядом со страницей печатного текста под углом к ней, так что расстояние от пленки до разных строк

было разным. Там, где пленка была не растянута, буквы хотя и расплывались, но читались, даже если расстояние до текста было наибольшим. Через участок пленки, суженный в результате растяжения, буквы прочесть было нельзя, даже если это место находилось ближе всего к странице. Причина такого явления лежит в особенностях пленки, о которых мы поговорим дальше.

Полимер — это большая молекула, построенная из повторяющихся базовых молекул — мономеров. Большое количество различных полимеров, используемых в повседневной жизни, имеют различные химические структуры, а следовательно, различные механические и оптические свойства. Из всех пленок, которые обладают способностью к суживанию, я выбрал для анализа две. Одна — это полиэтиленовая пленка, которая идет на изготовление хозяйственных пакетов и используется для упаковки продуктов. Мономером полиэтилена является простое соединение из двух атомов углерода и четырех атомов водорода. В полоске полиэтилена области, где длинные молекулы полимера образуют крошечные кристаллы, разделены «аморфными» участками, в которых отсутствует упорядоченная структура. Кроме полиэтилена я взял для изучения пленку Парафильм, широко используемую в химических и биологических лабораториях для запечатывания мензурок и других сосудов. Пленка Парафильм представляет собой смесь парафина и полиэтилена, но точный ее состав мне неизвестен.

Суживание пленки в большой степени обусловлено ориентацией молекул полимера. Одни молекулы изначально могут быть упорядочены в небольшом масштабе — существовать в виде кристаллов или быть «сглаженными» в процессе производства. Другие молекулы могут быть ориентированы совершенно беспорядочно. Когда вы пытаетесь растянуть пленку, она удлиняется только в том случае, если молекулы могут поворачиваться или сдвигаться так, чтобы расположиться в направлении растяжения. Вначале химические межмолекулярные связи затрудняют переориентацию молекул, и пленка растягивается слабо. Но когда натяжение достигает некоторой критической величины, в наиболее слабой части пленки молекулы поддаются, их ослабевшие связи рвутся и они скользят мимо друг друга и выстраиваются в линию (см. левый рисунок на с. 79). Пленка тянется с трудом, «жертвуя» в этой части толщину ради длины. При этом пленка «выигрывает» в прочности в том смысле, что в ходе переори-



Через область сужения полимерной пленки прочесть текст труднее

ентации молекул нарушаются слабые межмолекулярные связи и сохраняются более крепкие.

Если пленку продолжают растягивать, все больше молекул выстраивается в одном направлении в области сужения, и толщина ее еще уменьшается. Когда множество молекул выстроены в линию, толщина пленки минимальна, а связи между молекулами так сильны, что препятствуют дальнейшему растяжению. Если пленку продолжать тянуть, начинают поддаваться молекулы на концах области сужения, которая распространяется по пленке в направлении растяжения. Когда сужение охватит всю пленку, наличие сильных межмолекулярных связей по всей длине образца заставит вас тянуть еще сильнее; при этом, однако, пленка перестанет удлиняться и разорвется.

Чтобы приготовить пленку Парафильм для опыта, я вырезал из нее ножницами прямоугольную полосу, разложил ее на столе и приклеил к столу с обоих концов крепкой упаковочной лентой. Затем по линейке я провел шариковой ручкой линии поперек пленки на расстоянии 2 мм друг от друга. Подготовленную полосу я прикрепил к держателям лабораторного штатива. (Вместо этого можно взять домашние тиски.) Полоса располагалась между держателями штатива вертикально; она была прямой, но в ненатянутом состоянии.

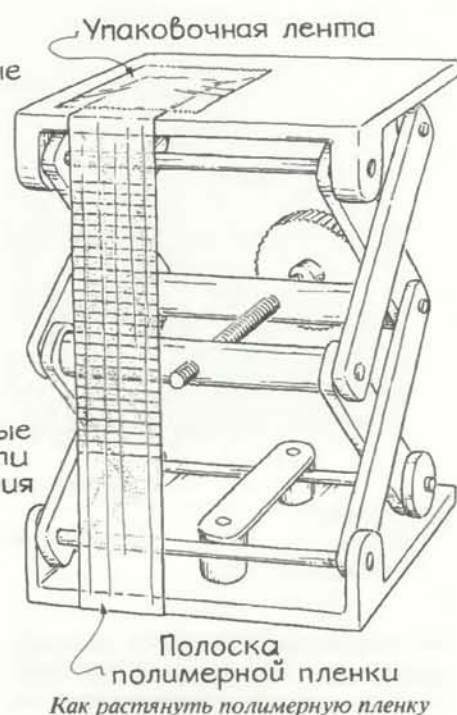
После этого я измерил длину полосы по вертикали и ее ширину и записал полученные цифры. Чтобы измерить ее толщину микрометром, я вначале отвел назад подвижный зубец инструмента, а затем постепенно сдвинул зубцы, медленно поворачивая винт. Когда зубцы сблизились настолько, что сжали пленку, я отвел их чуть-чуть назад, чтобы устранить сжатие и записал результат. Эту процедуру я повторил несколько раз и усреднил полученные значения. Толщина полосы приблизительно равнялась 0,14 мм.

Затем я стал крутить винт штатива: его держатели раздвигались и полоска растягивалась. Вначале винт приходилось крутить с трудом, но когда я растянул полосу примерно на 9% первоначальной длины, она вдруг поддалась. Ее толщина значительно уменьшилась в узкой поперечной зоне; при этом чернильные линии в области сужения раздвинулись дополнительно на 25%; в других местах линии не раздвинулись совсем.

По мере вращения винта границы области сужения медленно двигались к верхнему и нижнему держателям штатива и чернильные линии в соответствующих местах раздвигались.



Упорядочение молекул при сужении пленки



Как растянуть полимерную пленку

Процесс не был равномерным: после каждого поворота винта на краях области сужения были заметны «островки» нерастянутого материала, на вид отличавшиеся от растянутого материала вокруг них. После каждого поворота винта я измерял длину, ширину и толщину пленки и расстояние между линиями в различных частях полосы. Когда я растянул полосу примерно на 90%, все линии оказались раздвинутыми.

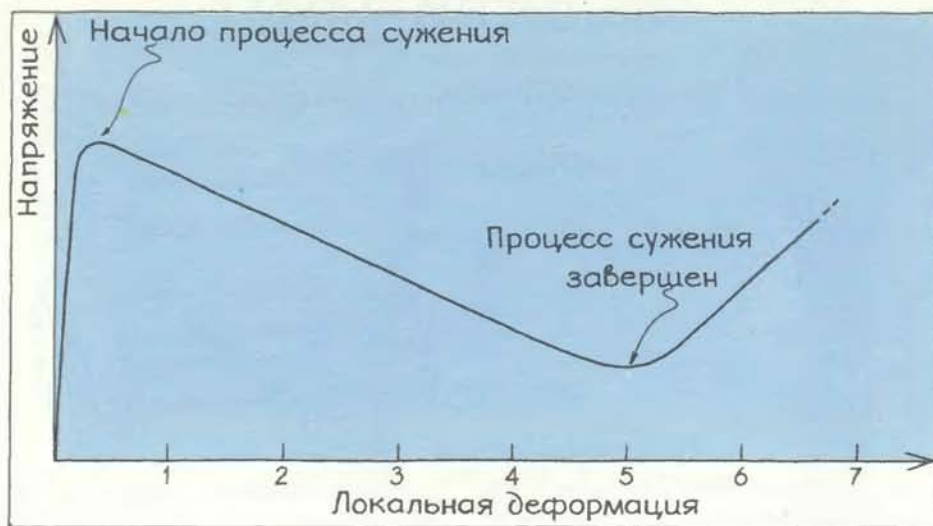
Когда растяжение достигло 150% (т. е. когда полоса удлинилась в два с половиной раза), расстояние между линиями в месте первичного сужения составляло 9 мм (что соответствует растяжению на 350%), а толщина пленки — всего 0,064 мм. В других местах линии отстояли друг от друга на 3,5 мм (материал между ними растянулся на 75%) и толщина пленки тоже несколько уменьшилась. Стало очевидным, что растяжение и утончение распространяются вдоль полосы. Еще один поворот винта — и полоса начала рваться в области сужения, вероятно, из-за небольшого надреза, который я сделал ножницами на краю пленки. (Я мог бы скрепить надрез маленьким кусочком упаковочной ленты, но не побеспокоился об этом.)

За растяжением полосы можно проследить по графику зависимости «условного напряжения» от «деформации» (см. верхний левый рисунок на с. 80). Деформация, которая есть не что иное, как степень растяжения, определяется как отношение длины полосы в растянутом состоянии к ее первоначальной длине. Например, ес-

ли длина полосы удвоилась, растяжение равно 100%, а деформация — 1,0. Условное напряжение — это отношение натяжения полосы к площади ее поперечного сечения у края держателя штатива (см. нижний рисунок на с. 80). Эта площадь не изменяется в ходе эксперимента, поэтому всякое изменение условного напряжения отражает изменение растягивающих сил.

Поскольку измерить натяжение я не мог, на графике пришлось отразить свои субъективные ощущения. Когда я в первый раз повернул винт, напряжение возросло и полоска чуть-чуть растянулась. Когда деформация достигла 0,09, полоса внезапно сузилась в центре и удлинилась; в результате ослабла сила натяжения со стороны держателей штатива и уменьшилось напряжение пленки. По мере того как я поворачивал винт, увеличивая деформацию, все большая часть пленки сужалась, и напряжение продолжало уменьшаться. Если бы я смог добиться того, чтобы вся полоска сузилась, не порвавшись из-за случайного надреза (в других опытах я был близок к этому), напряжение снова начало бы возрастать, так как сильно связанные между собой молекулы сопротивлялись бы дальнейшему растяжению. В конце концов, возросшее напряжение разорвало бы полосу как нитку.

До возникновения области сужения условное напряжение распространяется на всю полосу и тем самым на любую ее часть. Однако после образования области сужения напряжение в ней становится больше, чем услов-



Кривая условного напряжения



Кривая истинного напряжения

ное напряжение, поскольку площадь поперечного сечения здесь уменьшилась. Такое локальное напряжение называется истинным напряжением; оно представляет собой отношение сил натяжения, действующих на данную область, к площади соответствующего поперечного сечения. Деформация в данной области называется локальной деформацией.

На правом верхнем рисунке показано изменение истинного напряжения в зависимости от локальной деформации до и после появления области сужения. До возникновения этой области на каждом участке пленки напряжение и деформация одни и те же, и точка, отвечающая этим значениям, поднимается высоко, до уровня пунктирной части кривой. Как только полоска сужается, точка *A*, соответ-

ствующая несуженным участкам, сдвигается обратно вниз по кривой, а точка *B*, относящаяся к области сужения, передвигается по кривой вверх: в области сужения напряжение и деформация больше, чем вне ее. Линия, соединяющая точки *A* и *B*, показывает напряжение и деформацию на краях области сужения.

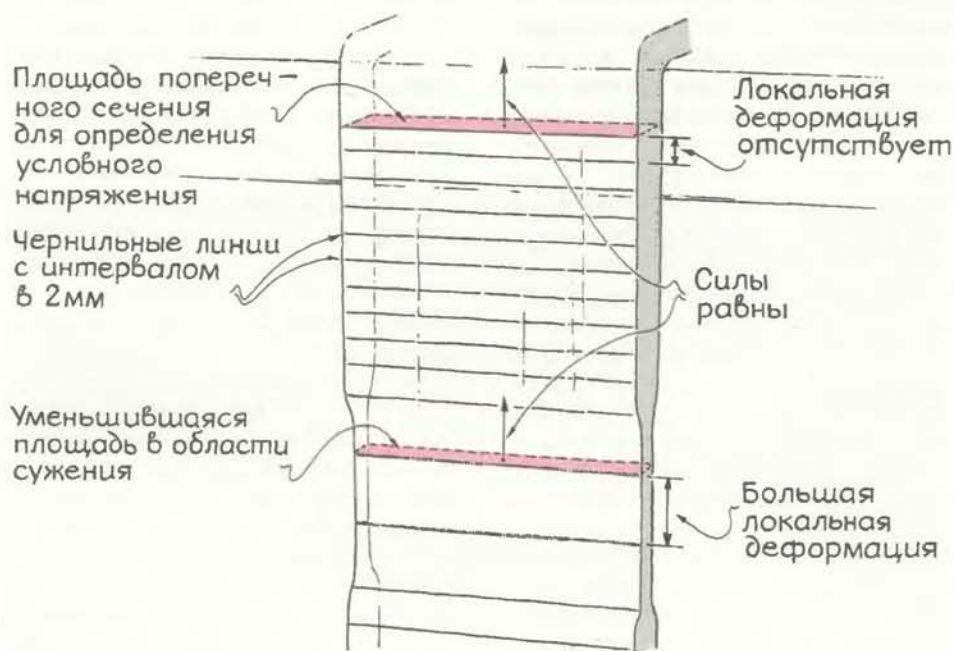
Я повторил эксперименты, взяв полоски пленки Глэд-Клинг, используемой для упаковки продуктов и сделанной из чистого полиэтилена. Как и Парафильм, полоска пленки Глэд-Клинг первоначально сопротивлялась растяжению, а затем вдруг сузилась посередине. Однако в отличие от пленки Парафильм она в большей степени сузилась по ширине, чем по толщине. Сужение началось в одном месте, а затем постепенно распространи-

лось вверх и вниз, так что полоска стала похожа на песочные часы неправильной формы. Непосредственно перед разрывом полоска была растянута на 180%, а ее первоначальная ширина — 3 см — уменьшилась в самом узком месте до 0,9 см. Чернильные линии в этом месте указывали на локальную деформацию около 4,0.

Теперь вернемся к вопросу о чтении текста через полимерную пленку. Этот вопрос обсуждался в 1973 г. Дэвидом Миллером из Гарвардского университета и Джорджем Б. Бенедиком из Массачусетского технологического института в их книге «Рассеяние света внутри глаза». Они назвали этот эффект «феноменом обнаженной под душем». (Приношу благодарность Крейгу Ф. Борену из Университета шт. Пенсильвания за то, что он дал мне эту ссылку.)

Чтобы понять происхождение этого названия, представьте себе, что вы смотрите на человека, стоящего под душем, через занавеску из пластика. Если этот человек стоит близко к занавеске, его тело хорошо видно, но если он отходит, то фигура расплывается и становится плохо различимой. Подобную зависимость резкости картины от расстояния можно наблюдать с помощью полоски обычной прозрачной клейкой ленты. Положите ленту прямо на эту страницу (липкой стороной вверх!) и постепенно поднимайте ее вверх. С увеличением расстояния от страницы слова начинают расплываться и перестают читаться.

Чтобы понять, почему текст расплывается, рассмотрим какую-либо точку на странице. Когда свет идет от этой точки через ленту, он рассеивается молекулами ленты (см. левый рисунок на с. 81). Рассеяние превращает каждый первоначальный узкий



Факторы, определяющие напряжение и деформацию

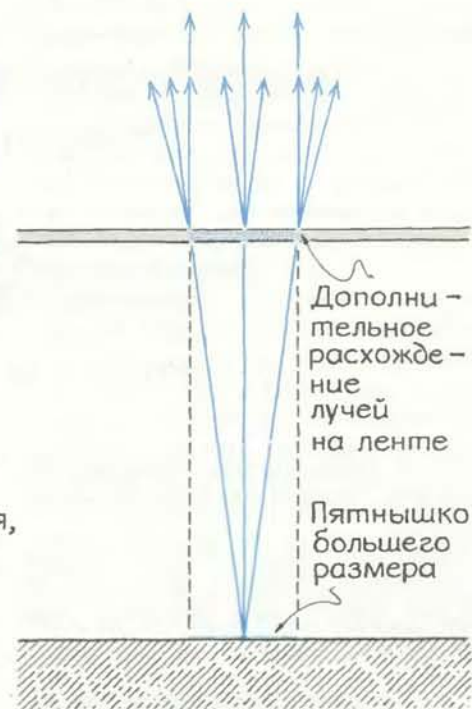
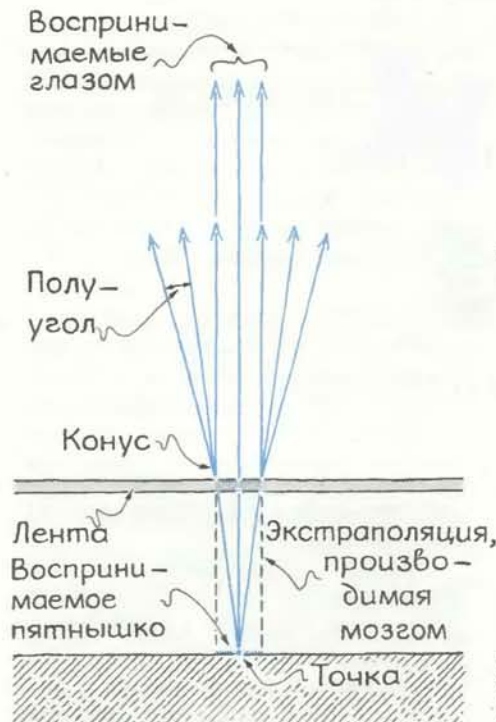
луч в конусообразный пучок лучей, ось которого совпадает с направлением первоначального луча. Конус характеризуется полууглом — углом между наиболее сильно отклонившимся лучом и первоначальным лучом.

Предположим, что лента находится прямо над точкой, и что вы смотрите на нее с расстояния не менее 40 см, закрыв один глаз. Тогда в ваш открытый глаз попадают лучи, примерно перпендикулярные ленте — те, которые посылаются молекулами вдоль линии, ведущей от глаза к точке или к ее окрестности. Лучи, которые сильнее рассеиваются молекулами, проходят мимо вашего глаза. Чтобы увидеть источник воспринимаемых лучей, ваш мозг автоматически переносит их опять на бумагу, и вам кажется, что они исходят из маленького пятнышка. Это пятнышко не будет таким четким, как сама точка, но оно все же различимо. Его радиус приблизительно равен расстоянию от точки до ленты, умноженному на тангенс полуугла, характеризующего конус рассеяния.

Теперь поднимите ленту на несколько миллиметров. Как показано на рисунке справа, полуугол каждого из конусов рассеяния не изменяется, но увеличение расстояния от точки до ленты приводит к тому, что свет освещает большую площадь ленты, и поэтому вы воспринимаете лучи с большей области вокруг прямой линии, соединяющей ваш глаз с точкой. Когда ваш мозг экстраполирует лучи назад на страницу, то вам кажется, что они исходят из большего по площади пятна. Пятно теперь менее различимо: узнать в нем точку труднее.

Предположим, рядом с первой есть еще одна точка. Когда лента находится близко от точек, воспринимаемые световые пятна достаточно малы и резки, чтобы их можно было увидеть по отдельности. Когда вы поднимаете пленку, пятна расширяются и постепенно становятся неразличимыми между собой. То же самое происходит с фигурой за пластиковой занавеской: когда она находится близко к занавеске, ее контуры отчетливо видны, но при удалении они расплываются.

Экспериментируя с пленкой Парафильм, я заметил, что она «смазывает» буквы на печатной странице так же, как и клейкая лента. Я решил, что степень расплывания картины должна зависеть от толщины пленки. При определенной толщине каждый луч, исходящий от данной детали текста, столкнется с определенным числом молекул и, таким образом, рассеется с образованием конуса с определенным полууглом, а этот полуугол определит, как далеко от стра-



Как пленка рассеивает лучи света

ницы я могу держать пленку, все еще различая буквы. Если толщина пленки уменьшается из-за сужения, свет должен рассеиваться меньшим числом молекул и образовывать более узкий конус, и тогда, вероятно, можно будет различить детали, держа пленку дальше от текста.

Чтобы проверить свою догадку, я накрыл небольшим отрезком нерастянутой пленки Парафильм отверстие в лекале и расположил отверстие над тремя маленькими точками, которые поставил карандашом на листе бумаги. Точки образовывали уголок со «сторонами» 1 мм. Я поднимал лекало и смотрел на точки через пленку. Когда пленка была примерно в 2 см от бумаги, точки слились вместе. Повторив наблюдение несколько раз, я усреднил высоты, при которых происходило «слияние».

Затем я взял маленький кусочек пленки, «суженный» в штативе. К своему удивлению, я обнаружил, что точки слились, когда пленка была на высоте всего 0,5 см от бумаги. Более того, две точки, расположенные на линии, совпадающей с направлением растяжения пленки, слились при высоте, примерно на 2 мм меньшей, чем две точки, ориентированные перпендикулярно к этому направлению. (Вообще говоря, это расхождение могло объясняться неравными расстояниями между точками двух пар, но расхождение наблюдалось и когда я повернул страницу на 90°.) Хотя мои измерения были слишком грубыми, они показали, что, когда пленка сужена при растяжении, она рассеивает

свет вдоль конусов, примерно в четыре раза более широких, чем в нерастянутом виде.

Я думаю, что усиление рассеяния происходит из-за упорядочения в расположении молекул, вызванного сужением. Когда свет проходит через прозрачный материал, в котором молекулы ориентированы случайным образом или масштаб упорядоченности гораздо меньше длины световой волны, каждая молекула, видимо, рассеивает свет, независимо от других молекул. В этом случае любой луч света, отклоняющийся от прямого направления, вероятно, гасится лучом того же направления, исходящим от другой молекулы. (Иначе говоря, максимум одной волны совпадает с минимумом другой волны, волны интерферируют и гасят друг друга.) Таким образом, полуугол конуса рассеяния остается небольшим.

Если же молекулы расположены упорядоченно и если масштаб упорядоченности соизмерим с длиной световой волны, молекулы рассеивают свет не независимо, а организованно. Тогда, если две световые волны после рассеяния идут в одном направлении, максимумы одной волны уже точно не совпадают с минимумами другой, гашение света, рассеянного в стороны, происходит неполностью, и полуугол каждого конуса рассеяния становится больше. Очевидно, что в моем опыте, когда в результате сужения пленки молекулы приобрели более упорядоченную организацию, конусы рассеяния расширились и текст, видимый через пленку, расплылся.

Урожай будущего; вооружены зимой; природный газ



ФИЛИП MORRISON

Колин Тадж. РАСТЕНИЕВОДСТВО В БУДУЩЕМ: РАЗВИТИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

FOOD CROPS FOR THE FUTURE: THE DEVELOPMENT OF PLANT RESOURCES, by Colin Tudge. Basil Blackwell, 1988 (\$ 19.95)

ТЕМА книги весьма актуальна: как получать растительную пищу, которой можно было бы прокормить 10 млрд человек? Англичанин Колин Тадж, автор книги, имеет большой опыт в освещении проблем, стоящих перед современной наукой. Благодаря доступности изложения и широте охвата материала этот небольшой том может служить прекрасным справочным пособием по современному растениеводству.

У растений и животных различная стратегия существования: растения остаются практически на одном месте, тогда как животные могут свободно передвигаться. Способность передвигаться дает возможность поддерживать форму, растениям же приходится приспосабливаться к условиям своего существования, а потому их форма отличается большей гибкостью. Могучий дуб в каком-нибудь парке и корявое дерево, тоже дуб, растущее где-нибудь в расщелине гор, оба могут происходить от одного и того же желудя.

Известно, что растения размножаются половым, бесполом и вегетативным способом. Каждый из этих способов человек использует в своих целях для выведения нужных ему культур. Древние селекционеры, которым были неведомы идеи Менделя и Моргана, с течением времени, хотя и длительного, создали прекрасные сорта растений. В этом им помогали не только наблюдательность и смекалка, но также и случай. У зерновых культур в период сбора урожая зерно не должно осыпаться на землю, поэтому предпочтение отдавалось тем из них, которые хорошо удерживали зерно. Одной из таких культур был маис. Используя уже накопленный

опыт, селекционеры отбирали самые лучшие сорта с тем, чтобы улучшать их и дальше.

Способы скрещивания тех или иных культур зависят от особенностей самих растений. Некоторым от природы свойствен инбридинг (близкородственное скрещивание); у пшеницы и ячменя происходит самоопыление, для такого же растения как просо, применяется аутбридинг (неродственное скрещивание). Эта культура хорошо скрывает признаки своей генетической природы. Селекция проса — это по существу «нахождение компромисса». На каждом из многих опытных участков, где посеяно просо, селекционер отбирает растения с желаемыми свойствами. На таких опытных участках за сравнительно короткое время достигается то, на что прежде бы уходило тысячелетия.

Иногда половые клетки растения претерпевают аномальное деление, при котором хромосомы расходятся неправильно. В результате у потомства набор хромосом оказывается множественным; это явление называют полиплоидией. В природе полиплоидные особи встречаются редко, так как не могут быть оплодотворены другими особями своего вида. Процесс их оплодотворения можно назвать слабой формой видообразования. Большинство современных сортов сахарного тростника восходят к стерильным, но сильным гибридам, полученным 40 лет назад путем скрещивания сортов сахарного тростника, имеющих различные наборы хромосом. Хромосомные наборы таких гибридов непостоянны, но это не имеет значения для возделывания сахарного тростника, поскольку гибриды размножаются бесполом путем — кусочками растения. Полиплоидию можно вызвать целенаправленно, как и мутации индивидуальных генов.

Любой высший организм представляет собой «семейство» клеток, содержащих одну и ту же генетическую информацию. У животных в процессе индивидуального развития происхо-

дит переключение генов, и из нескольких полипотентных клеток эмбриона получаются сотни различных специализированных клеток, образующих ткани организма — кожу, костный мозг, мышцы и проч.; однажды «выключившись», гены не могут вновь стать активными. У растений же переключение генов в процессе развития может быть обратимым. Для этого достаточно создать клеткам соответствующую гормональную среду. Таково одно из фундаментальных различий между двумя царствами природы.

Чтобы ни «вытворяли» ученые с морской звездой, до сих пор не удалось вырастить ни одной овцы из копыта. Прошло 40 лет с тех пор, как Ф.К. Стюард впервые вырастил целиком растение — морковь — из единственной клетки ботвы. Примерно в то же время были выращены из клеток орхидеи. К настоящему времени клонирование орхидей превратилось в настоящую индустрию, каждый год поставляющую 4 млн прекрасных, не зараженных вирусами, растений. Улучшение сортов медленнорастущих сельскохозяйственных деревьев, таких как масличная или кокосовая пальма, требует многолетней кропотливой работы, однако затраты стоят того.

Следующий шаг в растениеводстве столь же очевиден, сколь и фантастичен. Что касается таких культур, как пшеница, кукуруза и картофель, то человек потребляет значительную часть их биомассы, чего нельзя сказать про «растения—химики», из которых делают красители и лекарства. Необходимую для себя продукцию человек получает лишь из небольшой части клеток этих растений. Зачем в таком случае выращивать все растение? Альтернативой может быть клеточная культура. Прежде всего необходимо найти продуктивные типы клеток. Совсем необязательно выращивать эти клетки, а затем «пожинать» их как, допустим, кукурузу. Скорее их следует разводить как дойных коров, дающих необходимый продукт путем химического разделения. Клетки могут находиться в питательной среде, защищенной от загрязнения антибиотиками.

В настоящее время в Токио выращивают корневые клетки растения, из которого обычно получают красный краситель. Клеточный краситель продается по цене 4 долл. за грамм. Биотехнологи считают, что любая клеточная культура, приносящая доход 1—2 долл. за грамм, является экономически перспективной.

Достоинством книги, несомненно, является то, что в ней широко освеще-

ны достижения генной инженерии. Обладая мастерством «на молекулярном уровне», вовсе не обязательно иметь дело с клеткой, чтобы получить желаемое растение. Достаточно иметь всего несколько генов этого растения и ввести их в ДНК подходящих легко культивируемых клеток — бактерий или дрожжей. Особые надежды возлагаются на то, что удастся ввести в хромосомы пшеницы гены ферментов, придающих растению способность фиксировать азот из воздуха, которой обладает, скажем, клевер.

Что все это даст? Вскоре на смену неполегающим карликовым и полукарликовым сортам пшеницы и риса, выведенным в эпоху так называемой Зеленой революции, могут прийти сорта, имеющие, как и во времена Брейгеля, высокий стебель, но отличающиеся необычайно длинными, наполненными зерном колосьями и большой толщиной стебля. Картофелеводы, использующие древний опыт инков по выведению различных сортов картофеля, отличающегося, помимо прочего, также и цветом, смогут, например, выводить сорта картофеля, качество которых будет «маркироваться» цветом. Покупатели будут выбирать «голубой... ароматный и рассыпчатый... или оранжевый и мягкий... И это не будет капризом. Если люди станут есть больше картофеля... и именно такого, который им по вкусу, то это только облегчит решение глобальной продовольственной проблемы».

В двух главах книги автор рассказывает о еще «неосвоенных» человеком растениях, отводя им большую роль в будущем. Вопрос о том, как прокормить население земли, носит, по мнению Таджа, во многом социальный характер. Автор подчеркивает необходимость должного финансирования исследований и справедливого распределения ресурсов в сельскохозяйственном производстве. Его книга, несомненно, может служить путеводителем в этой области. Заканчивается она словами: «Мир прокормить можно».

Бернд Хейнрик. Ворона зимой: зоологический детектив
RAVENS IN WINTER: A ZOOLOGICAL DETECTIVE STORY, by Bernd Heinrich.
Summit Books, 1989 (\$ 19.95).

Несколько лет назад зоолог из Вермонта Бернд Хейнрик захватывающе описал жизнь медоносных пчел, рассказав о том, как летом на залитых солнцем лугах эти мохнатые маленькие трудяги не жалеют сил, чтобы за

короткое северное лето сделать побольше запасов на зиму. Теперь он вернулся из зимних заснеженных лесов штата Мэн с новой замечательной историей, на этот раз о вороне — эффективной крупной черной птице (не путать с обыкновенной вороной), которая встречается от арктических равнин до горных районов Центральной Америки.

Образец зоркости, интеллектуала мира птиц, обладатель богатейшего репертуара звуков вплоть до имитации человеческой речи, ворон чувствует себя хозяином везде, где бы ни жил. Чаще всего эти птицы сопровождают убийц: белых медведей, волков, койотов, завоевателей и палачей. Они были могильщиками в Лондоне после Большого Пожара, пируя, как рассказывают, на непохороненных трупах. Теперь, когда леса вновь заполняются живностью и на дорогах гибнет все больше животных, а помойки множатся без числа, вороны возвращаются в Новую Англию. Они питаются любимым мясом, какое могут разорвать, не брезгуют насекомыми, ящерицами, мелкими птицами и мышами, но предпочитают крупную падаль, остающуюся по воле случая после трапезы более сильных хищников. (Ворон, живший у Хейнрика, ухитрился съесть мертвую белку, хотя и не смог разорвать ее кожу. Он извлек мясо через рот зверька, оставив тщательно выскобленную шкурку, вывернутую *наизнанку*.)

В этой книге Хейнрик знакомит читателя с обстоятельным журналом собственных полевых наблюдений, за которым следуют главы четкого анализа. Именно таков путь поиска доказательств в науке. Ему пришлось освоить новую специальность и перекавалифицироваться из пчелиного экономиста в вороньего социолога. Пчела целыми днями в одиночку собирает нектар, действуя как в собственных интересах, так и для всего улья, словно управляемая невидимым руководителем. Вороны, хотя и гнездятся отдельными парами, ведут себя, как ни странно, альтруистически; им свойственна взаимопомощь — по отношению не только к собственному потомству, но и к особям других стай. Почему?

Начало трудоемкому исследованию, занявшему не один год, положила случайная догадка. Хейнрик вырос на западе штата Мэн; ныне в тех краях он владелец крытой толем хижины на краю лесной поляны, куда от дороги ведет крутой подъем. Время от времени это место поодиночке и парами посещали вороны. Однажды в октябре за гребнем горы он услышал крик ворона, потом еще нескольких. Когда

он добрался туда, полтора десятка птиц поднялись в воздух, оторвавшись от спрятанной туши лося, оставленной браконьером. Мясо было еще свежим; Хейнрик отрезал кусок и, разведя костер под деревьями, остался понаблюдать за птицами. Какое удовольствие лакомиться жареной лосятиной, отдыхая под елкой и созерцая воронов!

Наблюдения породили вопрос: «Каким образом столько птиц обнаружили мясо так быстро?» Ответ звучал прямо над головой: один ворон созывал товарищей на пиршество особым громким высоким криком, который автор называет просто воплем. Подобное сборище в это время года в таком месте можно было объяснить лишь активным призывом. Грифы стаями собираются у падали, завидев, как собрат круто снижается к своей находке, — такое не спрячешь. Но зачем ворону, который мог бы в одиночку на недели растянуть редкую находку, делиться с посторонними? Даже если дележ случайной добычи и полезен для вида в целом, каким образом такое поведение могло возникнуть в ходе эволюции, осуществляющейся путем отбора отдельных особей?

Хейнрик вознамерился за пару недель подготовить сообщение в журнал «Science», но это оказалось совершенно нереальным. Первый эксперимент заключался в том, чтобы записать крик вороны, а затем воспроизвести его вне связи с пищей. Исследователь доставил к месту действия электронное оборудование и приготовил приманку. В течение нескольких дней наблюдения прилетали только две птицы: всякий раз они ели, но в полной тишине. Можно было предположить, что птицы не считают мясо «с душком» стоящим внимания товарищей. Втащить тушу крупного козла на гору не так просто, но это было сделано. И все без толку — может быть, им не нравится козлятина и нужно лосиное мясо?

Прошел год, принесший массу противоречивых результатов и девять гипотез — не теорий, а всего лишь предположений. Для чего вороны сзывают к хорошей добыче других особей? Может быть, собираются соседи по ночевке, которые вместе занимаются поисками пищи. Может быть, птицы опасаются наземных хищников и потому предпочитают большую компанию. Может быть, они помогают друг другу отрывать куски мяса или откапывать его из-под снега. Может быть, они все-таки родственники, хотя вороны обычно улетают на сотни километров от родных гнезд, чтобы размножаться изо-

лированными парами, следя за соблюдением границ своей территории. Может быть..., может быть...

Пассивных наблюдений было явно недостаточно. Требовалось приручить несколько птиц, хотя бы для того, чтобы научиться их кольцевать. Пришлось построить ловушку, способную накрывать целую стаю кормящихся птиц. (В ловушке вороны вели себя спокойно, можно сказать с достоинством, не обращая внимания на радостные вопли толпы студентов, которых Хейнрик привлек для кольцевания воронов, что представлялось непростым делом из-за их опасных клювов.) Приходилось карабкаться на тридцатиметровые деревья, откуда автор сползал вниз в полном изнеможении. Не раз случалось померзнуть. В общем, четыре года заполнились тяжким трудом.

За четыре зимы прояснилось многое. Вороны быстро слетались, заслышав записанный на магнитофон крик собрата. Из 8 тонн мяса, выставленного в качестве приманки, 90% было поглощено шумными стаями птиц. Эти стаи состояли на 90% из молодых особей. Молодые вороны склонны перемещаться на большие расстояния, тогда как взрослые круглый год живут парами на одном месте. Пары воронов никогда не созывали других птиц. Наконец, молодой ворон-одиночка, нашедши добычу, не издавал призывного крика до тех пор, пока ему не удавалось собрать несколько птиц молча. Хейнрик сделал вывод: стаи созываются странствующими молодыми особями, и состоят они главным образом из таких же молодых птиц, которые тем самым получают возможность обеспечить себя пищей. Взрослые же особи, которые держатся парами, не сообщают никому о своих находках и охраняют их. Численность стаи не зависит от величины приманки (во всяком случае в пределах 8—400 кг). Все определяется исходным доступом к пище, а не перспективами дележки. Вероятно, для молодых воронов приглашение товарищей к трапезе служит способом утверждения своего социального статуса, демонстрации зрелости.

Полевые заметки в книге неизменно полны ощущениями лесной жизни; возможно, они слишком безыскусны, чтобы стать в один ряд с наиболее популярными книгами о природе. Но разворачивающееся перед читателем исследование, в ходе которого накапливаются фактические данные в ответ на четко сформулированные вопросы, никого не оставит безучастным. Вороны и их переводчик многому научат не только «обыкновенных» читателей, но и ученых. Вот если бы еще и

сами вороны могли рассказать обо всем этом со своей, вороньей точки зрения...

Алек Мелвин. ПРИРОДНЫЙ ГАЗ: ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ТЕХНОЛОГИЯ

NATURAL GAS: BASIC SCIENCE AND TECHNOLOGY, by Alec Melvin. Adam Hilger, 1988. Distributed by Taylor & Francis, 242 Cherry Street, Philadelphia, PA 19106 (\$ 75).

Каждый год до миллиарда тонн горючего газа со свистом вырывается из скважин, долго путешествует по извилинам трубопроводов и дает жизнь сотням миллионов огней. «Мы воспринимаем этот огонь без удивления, как само собой разумеющееся», — замечает автор. Однако удивительно уже то, что удается получить неподвижную волну горения с толщиной фронта в доли миллиметра, где за несколько миллисекунд холодная смесь топлива и воздуха превращается в раскаленное пламя.

Самая большая глава этого обзора состояния индустрии, не привлекающей к себе внимания вследствие отсутствия в ней каких-либо потрясающих технологических достижений, посвящена завершающему этапу пути, проходимого газом, а именно горению и продуктам горения. Автор книги — физик, занимающий ответственный пост в компании British Gas. Он весьма резко отзывается о развитии в последние годы науки о горении, усматривая бесплодие и пустословие огромного потока публикуемых работ по этой тематике. Понятно, что само по себе явление чрезвычайно сложно. В простейшем случае пламя представляет собой тонкий плоский диск в ламинарном потоке хорошо перемешанной смеси газа и воздуха. В случае «точечного пламени» горение происходит в крошечных областях потока в основном вследствие диффузии окружающего воздуха в поверхностный слой газа. Пламя в домашних установках представляет собой гибрид этих двух крайних типов; в промышленных топках горение происходит при более высоких температурах и в полностью турбулентном режиме.

Химики рассматривают пламя как своего рода «высокотемпературную тепловую ванну». Для предсказания профилей температуры и химического состава потока они используют параметры, полученные в лаборатории для идеальных пламен, и концентрируют свое внимание на идущих в пламени химических превращениях. Типичная численная модель пламени при

горении смеси метана с кислородом учитывает тринадцать химических веществ и двадцать девять реакций! Специалистов по гидродинамике больше привлекают специфические условия равновесия процесса горения; они изучают эти условия, используя сильно упрощенные модели химических реакций. В указанной главе книги основное внимание уделяется некоторым моделям пламени и их экспериментальному сравнению; использование математического языка может создать определенные трудности для неискушенного в математике читателя. Однако другие части этой прекрасной книги написаны в более доступной форме.

Качественные характеристики пламени достаточно хорошо известны. В устойчивом пламени горение происходит непосредственно над поверхностью горелки. При слишком медленном поступлении газа пламя поджигает находящуюся внутри горелки смесь газа и воздуха; слишком быстро идущий газ задувает пламя. Упрощенные модели позволяют довольно точно определить форму, температуру и химический состав пламени, несмотря на то, что в них применяются в основном эмпирические законы и недоказанные концепции. Что касается турбулентного пламени, то, по мнению Мелвина, более удобной для практических применений теорию турбулентности поможет создать изучение хаоса. Громоздкие компьютерные программы, применяемые для моделирования турбулентных процессов, «не могут быть подвергнуты критическому анализу, вследствие чего пользователям остается лишь безоговорочно полагаться на них».

Добиться устойчивого горения и полного сгорания топлива — значит получить максимальное количество энергии. Потери в современных котельных центрального отопления не превышают 20—25%. Применение вентиляторов позволяет снизить эти потери до 18%, а установка дорогостоящих теплообменников — до 5%. Предварительный подогрев топлива также дает возможность повысить коэффициент полезного действия топки, однако при этом возрастает количество оксидов азота, выбрасываемых в атмосферу.

В настоящее время крупные газопроводы проложены от Абердина в Шотландии и Барселоны в Испании далеко на восток за Свердловск в СССР; в Северной Америке они проходят в основном по малонаселенным районам. По ним под высоким давлением транспортируется природный газ, состоящий на 98% из углеводоро-

дов различных разновидностей. В добываемом в Сибири бедном газе содержание углеводородов, более тяжелых, чем метан, не превышает нескольких процентов, в то время как в богатом газе, примером которого может служить газ со дна Северного моря, содержание этана и пропана достигает 10%.

Очевидно, что количество тепла, получаемого при сжигании богатого и бедного газа, различно. Менее очевидным фактом является двухфазовая структура потока богатого газа. При определенных значениях давления и температуры газообразный метан растворяется в жидкости, состоящей из более тяжелых углеводородов. Когда газ выходит на поверхность из-под земли, давление в нем падает и он разделяется на две фазы. Для подобной смеси существует несколько режимов перетекания по трубам. При наличии разности давлений в вертикальной трубе она ведет себя или подобно жидкости, содержащей пузырьки газа, или как множество жидких капелек, захваченных потоком газа. Всего разновидностей двухфазового потока пять, включая стратифицированную смесь газа и жидкости, сгустки жидкости в потоке газа или редкие газовые пробки в потоке жидкости. Такие режимы могут служить причиной нарушений работы насосов, неравномерных вибраций, эрозии труб и других неприятных явлений. Все модели, описывающие такие течения, являются эмпирическими. Иногда удается транспортировать газ под давлением, превышающим критическое, при котором возможно появление двухфазовой смеси; при таких высоких плотностях сохраняется однородность потока.

Огромные объемы газа перегоняются под давлением 75 атм со скоростью 60—70 км/ч по стальным трубам диаметром около одного метра. Вместе с ними «перемещаются» большие деньги. Зачастую газ в пути меняет владельца, поэтому необходимо точно и своевременно получать информацию о количестве транспортируемого горючего. Отклонение в десятую долю процента может привести при расчетах к неопределенности в миллионы долларов. Появившийся в 80-х годах метод непосредственного измерения потока газа поражает аптекарской точностью: ультразвуковые датчики, установленные внутри трубопровода, измеряют время прохождения между ними звуковых сигналов. На основе этих данных автоматически определяются значения скорости потока на нескольких хордах внутри трубы. В течение 10 с вдоль каждого направления могут

быть зарегистрированы до 200 импульсов. Эта основанная на использовании микропроцессоров технология является настолько надежной, что отпадает необходимость выполнять калибровку датчиков с помощью обычного прецизионного измерителя потока. В других главах книги описана методика регистрации отраженных сейсмических волн, разбирается устройство газовых сетей (начиная с газопроводов викторианской эпохи, в которых трубы скреплялись свинцом или джутом; эти сети до сих пор обслуживают многие дома в Лондоне и Риме, хотя в них и случаются утечки). Обсуждаются также термодинамическая основа методики прямого измерения плотности газа.

В начале книги рассказывается о разведанных мировых запасах природного газа. Львиная доля из всего объема разведанных месторождений, оцениваемого как минимум в 100 млрд. т, приходится на Советский Союз, на втором месте находится Иран. Газ, в отличие от нефти, почти не перевозят на кораблях. Одно время возникла мода на танкеры для перевозки жидкого метана, однако это оказалось неэкономичным.

В своем обзоре Мелвин обращает внимание и на огромное количество неиспользуемых запасов газа, многие из которых превышают по объему все разведанные запасы. Наиболее известны содержащие газ сланцы и песчаники; однако, чтобы извлечь газ из этих пород, необходимо каким-то образом «взломать» их. В СССР и США

проводились рискованные эксперименты, в которых это пытались делать с помощью ядерных взрывов.

Советскими учеными была выдвинута завоевавшая широкую популярность теория, утверждающая, что разложение остатков древних организмов не является единственным источником природного газа. Согласно этой теории, гораздо больше метана образуется в результате реакции между диоксидом углерода и водой при высоких температурах на глубине 160 км под землей. Кроме того, имеется гипотеза Т. Гоулда из Кембриджского университета, утверждающая, что на больших глубинах находится огромное количество метана, возникшего при образовании Земли, и что этот газ непрерывно просачивается к поверхности Земли. Предпринятая попытка сверхглубокого бурения с целью обнаружить этот газ пока не дала однозначных результатов. В заключение отметим, что у природного газа есть два существенных преимущества перед другими видами ископаемого топлива: во-первых, в случае аварии он не разливается подобно нефти, а, во-вторых, содержание углерода в нем наименьшее (и, следовательно, при его сжигании образуется минимальное количество диоксида углерода). Поэтому, если мы хотим уменьшить загрязнение окружающей среды, следует максимально использовать именно этот вид топлива. Необходимо лишь добывать его в достаточных количествах.

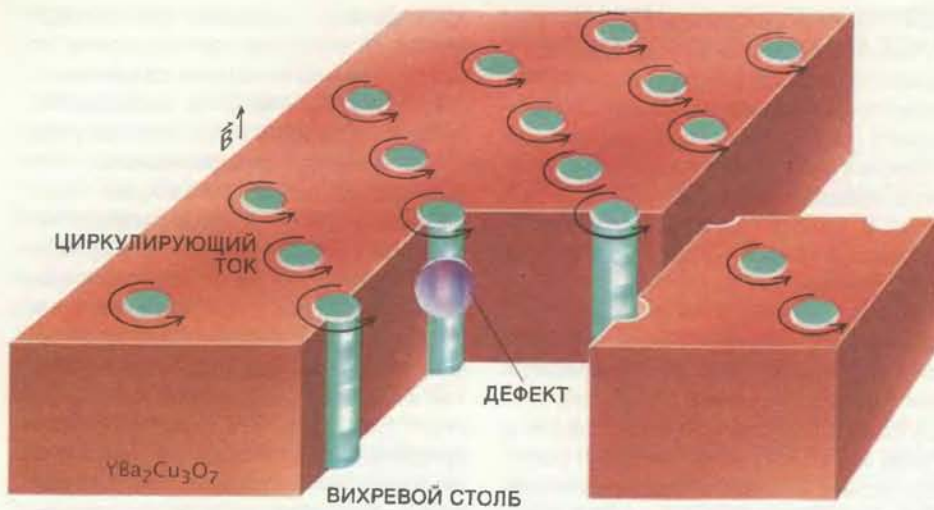
Наука и общество

Кто преуснеет?

СОРЕВНОВАНИЕ по скорейшему внедрению в промышленное производство керамических высокотемпературных сверхпроводников приняло устойчивый характер в этом охватившем всю страну марафоне. Хотя гигантские проекты, подобные созданию поездов на высокотемпературных сверхпроводниках, едва ли будут реализованы в недалеком будущем, неуклонный прогресс в исследованиях, направленных на достижение более скромных целей, вполне очевиден. Несмотря на многие трудности на пути внедрения теоретических достижений в практику, С. Джин из компании AT & T Laboratories считает, что «игра еще не окончена».

Специалисты США и Японии уже без особого труда могут изготавливать высококачественные сверхпро-

водящие тонкие пленки и другие материалы, хотя менее года назад эта задача казалась необычайно сложной. Они также пытаются научиться управлять «ползучестью магнитного потока», представляющей проблему, которая, судя по публикациям в прошлом году, повергла специалистов в уныние. Явление, о котором идет речь, может возникнуть при попытке пропустить большой ток через объемные сверхпроводящие материалы при температурах несколько градусов по шкале Кельвина в присутствии сильного магнитного поля. Вихри потока подталкиваются током и поэтому препятствуют течению последнего в сверхпроводнике. Однако совсем недавно несколько исследовательских групп, включая специалистов AT & T Bell Laboratories, доказали, что ползучесть потока можно снизить, если в кристаллическую струк-



ПОЛЗУЧЕСТЬ МАГНИТНОГО ПОТОКА можно уменьшить за счет внедрения дефектов в структуру сверхпроводящего кристалла. Внешнее магнитное поле B порождает вихри (области магнитного потока, окруженные циркулирующим током) в кристалле, которые выстраиваются в шестиугольную матрицу. Ток, пропускаемый через материал, «подталкивает» вихри; в этом и заключается эффект «ползучести» магнитного потока. Энергия при этом рассеивается, и на пути тока возникают препятствия. Дефекты в кристалле как бы фиксируют вихри на месте. Источник: Р. Брюс ван Доувер, AT&T Bell Laboratories.

туру сверхпроводника привести небольшие дефекты. Эти включения как бы «припиливают» поток и позволяют току беспрепятственно проходить через материал.

«Задача состоит в том, чтобы найти практически применимый способ внедрения дефектов», — заявил Джин. Он и его коллеги создали дефекты в кристалле путем разложения смеси иттрий-1—барий-2—медь-4 (1-2-4) и превращения ее в иттрий-1—барий-2—медь-3 (1-2-3). Другая группа исследователей из AT & T Bell Laboratories, возглавляемая Р. ван Доувером, для создания полезных деформаций в кристаллических структурах соединений 1-2-3 воспользовалась пучками быстрых протонов и нейтронов. Джину и Доуверу удалось достичь плотностей тока в 100 000 и 600 000 А/см² соответственно.

Исследователи признают, что пока превращение этих материалов в проволоку, ленту и прочие конфигурации связано с большими трудностями. Многие специалисты относятся скептически к сообщениям об успехах в этой области. Например, в конце прошлого года К. Сато из компании Sumitomo Electric заявил, что ему удалось разработать технологию для производства керамической сверхпроводящей проволоки на основе соединения, содержащего висмут, свинец и стронций. Проволока может иметь длину несколько десятков метров и выдерживать ток до 25 000 А/см². Он предсказывал, что через год появится проволока, способная выдержать ток до 100 000 А/см².

«Даже если у Сато есть 10 метров [сверхпроводящей проволоки], проблема заключается в сохранении качества проводника на всем его протяжении», — заявил Х. Огивара из компании Toshiba. Более того, как сказал К. Огава из Японского государственного научно-исследовательского института металлов, коммерческим пользователям потребуется проволока длиной в несколько километров. «То, что нам действительно нужно, так это прочная, длинная проволока, способная создавать сильное магнитное поле», — добавил он. Поскольку такое магнитное поле будет вызывать огромные механические напряжения в самом сверхпроводящем материале, он должен обладать высокой прочностью, отметил Огава. «Похоже, этому парню из Sumitomo придется еще долго поработать, прежде чем удастся решить проблему».

И все же несколько простых примеров применения высокотемпературных сверхпроводников уже имеются. Японский институт физических и химических исследований (RIKEN) совместно с компанией Mitsui Mining and Smelting, согласно сообщению Х. Ота из института RIKEN, создали маленькие цилиндрические экраны из керамического материала на основе соединений иттрия, бария и меди, которые блокируют внешние магнитные поля. Такие защитные экраны могут применяться для повышения точности измерений слабого, порождаемого мозгом или сердцем магнитного поля, производимых с помощью обычных низкотемпературных сверх-

проводящих квантово-механических интерференционных приборов.

В настоящее время самый крупный экран компании Mitsui имеет размеры 15 см в ширину и 35 см в длину — достаточно большой, чтобы его можно было применить при исследовании магнитного поля сердца крысы. По словам Ота, компания планирует производство крупных экранов, чтобы полностью охватить человеческое тело. Осталось лишь найти необходимые средства для строительства массивной печи, в которой будет производиться отжиг сверхпроводника. Ота убежден, что как только Mitsui подпишет договора с десятком заказчиков и получит некоторую правительственную поддержку, работа над проектом пойдет полным ходом.

В США компания AT & T Bell Laboratories совместно с английской фирмой ICI Advanced Materials создали опытные образцы радиочастотных и микроволновых полых резонаторов из сверхпроводников на основе иттрия. С помощью резонаторов подобного типа, создающих колебания с шумом, примерно в 100 раз меньшим по сравнению с обычными устройствами, можно будет повысить чувствительность радиоприемников и радиолокаторов, а также увеличить количество каналов в линиях телефонной связи.

Вслед за этими устройствами идут сверхпроводящие квантово-механические интерференционные приборы на основе высокотемпературных пленок. Исследователи фирмы IBM в своих экспериментальных устройствах уже приближаются к чувствительности, сравнимой с чувствительностью существующих низкотемпературных устройств. Однако воспользоваться этой чувствительностью для изготовления практически применимых измерительных приборов еще не удастся. Хотя IBM пока не планирует производство этих приборов, компания Biomagnetic Technologies из Сан-Диего разрабатывает высокотемпературные устройства и в конечном итоге надеется освоить их массовое производство.

Исследователям, работающим над созданием активных цифровых устройств, таких как микропроцессоры, предстоит преодолеть немалые трудности. Подобные устройства должны состоять из диэлектрика, помещенного между слоями сверхпроводящих пленок. К сожалению, высокотемпературные сверхпроводники вступают в реакции со многими другими материалами; совместимые же составы часто плохо переносят горячую, богатую кислородом среду, необходимую для формирования сверхпроводящих

слоев. Травление электронных микросхем на пленках также сопряжено с трудностями, и в его процессе можно легко нарушить способность сверхпроводника пропускать сильные токи. «С кремнием дело обстоит проще, поскольку он монокристалл, в то время как в составе сверхпроводника насчитывается пять-шесть элементов», — указывает Огава. «Вопрос в том, сумеем ли мы изготовить устройства, которые могут стать основными строительными кирпичами для более сложных цифровых устройств», — сказал Р. Саймон из TRW.

Хотя не все препятствия еще устранены, специалисты удовлетворены достигнутыми результатами. По словам Саймона, «темпы роста были беспрецедентными». Специалистам по высокотемпературным сверхпроводящим материалам выдано около 1300 патентов в США и около 4800 в Японии.

Тем не менее группа финансируемых правительством США исследователей, недавно посетивших лаборатории сверхпроводимости в Японии и подготовивших отчет о результатах поездки, пришла к выводу, что у всех японских проектов, основанных на тонкопленочных технологиях, заметна одна общая особенность: «значительный акцент делается на синтез материалов при отсутствии краткосрочных целей по созданию практически применимых устройств». В отличие от этого американские специалисты сосредоточивают свои усилия главным образом на разработках, ориентированных на практическое применение. Более того, конкуренция в Японии настолько сильна, что японские ученые предпочитают сотрудничать с американскими партнерами, нежели друг с другом.

Высокотемпературная сверхпроводимость, как считает Огава, предоставляет японским ученым идеальную возможность доказать, что их теоретические и фундаментальные исследования достойны Нобелевских премий. К. Китазава из Токийского университета добавляет: «Отныне в области фундаментальной науки Япония практически сравняется с другими странами».

Японских специалистов не пугает обстоятельство, что для разработки практически применимых устройств потребуются длительные финансирование. «Высокотемпературным сверхпроводящим материалам всего два года, — говорит Китазава, — и никто не ожидает, что ребенок пробежит стометровку за 10 с. Чтобы по-настоящему оценить перспективность этого направления, нам потребуется еще лет десять».

Куда девать радиоактивные отходы?

ПО МЕРЕ того как в США множатся призывы к возрождению ядерной энергетики (недавно опубликованная в «Нью-Йорк таймс» статья называлась «Возродим атом» — типичный заголовок для многих последних публикаций на эту тему), все более масштабными становятся проблемы политического, правового и практического характера, связанные с захоронением радиоактивных отходов. Реализация всех основных программ, направленных на решение проблемы ликвидации отходов (от урановых стержней, являющихся топливом для АЭС, до контейнеров с небольшим количеством частиц америция на их поверхности), неизмеримо затянулась. Одно за другим поступают сообщения о том, что никакого прогресса в этом направлении пока не достигнуто.

Планы по созданию постоянного хранилища для высокорadioактивных отходов натолкнулись на самые серьезные препятствия. Высокорадиоактивные отходы включают отработанные урановые стержни с АЭС и побочные продукты с предприятий, где производятся ядерные вооружения. В 1982 г. конгресс поручил министерству энергетики изыскать место для сооружения подземного хранилища и ввести его в эксплуатацию к 1998 г. В 1987 г. конгресс отодвинул срок сдачи хранилища на 2003 г. и вынес решение о том, чтобы министерство энергетики впредь рассматривало вопрос о его строительстве только на одной площадке, а именно в Юкка-Маунтине, на пустынном горном кряже, примыкающем к военной авиабазе в Неваде.

Совсем недавно министр энергетики Дж. Уоткинс заявил, что хранилище может быть готово не ранее чем в 2010 г. Но некоторые обозреватели считают, что даже этот срок оптимистичен. Самым серьезным препятствием в сооружении хранилища является, пожалуй, противодействие со стороны жителей Невады, включая практически всех политических деятелей этого штата. Власти штата отказались дать разрешение министерству энергетики на бурение пробных скважин в горном кряже Юкка-Маунтин. Министерство энергетики обратилось в министерство юстиции с просьбой применить юридические санкции к властям штата и таким образом заставить их выдать соответствующее разрешение. Жители Невады, некоторые из которых сравнивают министерство энергетики с кремлевским (догорбачевским) аппаратом, покля-

лись решительно отстаивать свои права в Верховном суде США, если до этого дойдет дело.

Еще одно препятствие правового характера возникает в связи с попытками министерства энергетики изыскать «совокупного подрядчика», который помог бы министерству в управлении проектом. В прошлом году выбор министерства пал на компанию Bechtel, Inc. Получившая же отказ в этом выборе компания TRW возбудила судебное дело против министерства энергетики, обвинив его, что оно поддалось влиянию со стороны Bechtel. В частности, согласно заявлению TRW, один из чиновников министерства энергетики, подписавший контракт, в прошлом был служащим компании Bechtel. Летом прошлого года федеральный суд постановил, что контракт должен быть передан TRW. В настоящее время министерство энергетики пытается обжаловать это решение. Уоткинс также указывает, что министерство энергетики может обойтись и без совокупного подрядчика. TRW, естественно, предупреждает, что она вновь подаст в суд, если контрактные обязательства не будут выполнены.

В том случае, если политические и правовые проблемы будут улажены, министерство энергетики должно все же подтвердить, что в Юкка-Маунтине можно будет захоронить отходы на срок не менее 10 тыс. лет, установленный стандартами Агентства по защите окружающей среды. А как осуществлять необходимый надзор? И на этот вопрос пока нет однозначного ответа. Министерство энергетики предложило делать пробные шурфы с помощью буровой установки и взрывчатых веществ. Недавно Совет по техническим вопросам ликвидации радиоактивных отходов, состоящий из независимых экспертов, назначаемых президентом, заявил, что вода, которая потребуется для смачивания бура, и трещины, образующиеся при взрыве, сами по себе могут оказаться угрозой для сохранения целостности хранилища.

Когда эта проблема будет решена, министерство энергетики должно изучить ряд серьезных вопросов, касающихся пригодности выбранного места по его природным характеристикам. Горный кряж Юкка-Маунтин расположен вблизи сейсмически активных разломов и недалеко от вулкана, последнее извержение которого произошло менее 10 тыс. лет назад; имеются признаки того, что водяной пласт в этом районе отличается неустойчивостью и может подняться намного выше того уровня, на котором он находится сейчас, — в этом

случае вода может размывать хранилище. Если Юкка-Маунтин будет признан непригодным для данных целей (а возможность такого вывода министерство энергетики недавно подтвердило), то министерство должно будет вновь обратиться к конгрессу за дальнейшими указаниями; пока резервного места для сооружения хранилища нет, равно как и нет плана действий на случай непредвиденных обстоятельств.

Задержка в сооружении хранилища в Юкка-Маунтине приостановила также строительство склада для временного содержания высокоактивных отходов до готовности места их постоянного захоронения. В середине 80-х годов министерство энергетики рекомендовало соорудить такой склад, называемый сменным контролируемым хранилищем, на территории шт. Теннесси. Однако власти этого штата заявили о своем несогласии, и в 1987 г. конгресс отменил решение министерства энергетики; он также постановил, чтобы министерство энергетики не рассматривало никаких новых вариантов сооружения временных хранилищ, пока не будет окончательно согласован вопрос о месте строительства постоянного хранилища. Конечно, на поиски такого места может потребоваться много времени, а возможно, его так никогда и не удастся найти. Министерство энергетики обратилось в конгресс за разрешением продолжить работу по сооружению временного склада, несмотря на осложнения со строительством постоянного хранилища. Если конгресс даст свое согласие (что маловероятно), министерству все равно придется найти такой штат, который согласится на вечное захоронение на своей территории высокоактивных отходов.

Фактически в США уже построено одно хранилище под землей для ядерных отходов. Называется оно опытным заводом по ликвидации отходов (ОЗЛО) и представляет собой огромную шахту, вырытую в соляных отложениях близ Карлсбада (шт. Нью-Мексико) и предназначенную для захоронения так называемых трансурановых отходов, образующихся на предприятиях министерства энергетики, производящих ядерные вооружения. Трансурановые отходы содержат радиоактивные элементы тяжелее урана (например, плутоний); хотя радиоактивное излучение этих отходов обладает меньшей проникающей способностью, чем излучение высокоактивных отходов, они «живут» долго и все же небезопасны.

Начавший строиться в 1983 г.

ОЗЛО по плану должен был приступить к приему отходов два года назад. Но перед торжественным открытием этого объекта уполномоченный совет Национальной академии наук предупредил, что соленая вода в шахте может привести к коррозии контейнеров с отходами и утечке радиоактивных веществ в подземный водяной пласт. Упомянутый совет рекомендовал продолжить дальнейшие исследования этой проблемы. После долгих дебатов министерство энергетики недавно согласилось на то, чтобы ОЗЛО принял на захоронение лишь небольшое количество отходов по крайней мере на три года, пока будут продолжены испытания объекта. Однако министерство и приглашенные им консультанты не смогли прийти к согласованному мнению относительно того, какой именно объем отходов должен принять этот объект и каким образом следует проводить испытания. Эксперименты должны только начаться, а пока ОЗЛО остается незагруженным.

Наконец, имеются хранилища для отходов с низким уровнем радиоактивности. Такие отходы включают все — от перчаток, которыми пользуется медперсонал при работе с малыми количествами радиоактивных веществ с коротким периодом полураспада, до используемых в ядерных реакторах трубопроводов, которые сохраняют радиоактивность на протяжении сотен лет. В 1980 г. конгресс принял закон, который обязал штаты (каждый в отдельности или по совместной договоренности) к 1986 г. изыскать место для постоянных хранилищ отходов с низким уровнем радиоактивности. Однако в 1985 г., когда стало ясно, что почти все штаты не укладываются в отведенный срок, законодательные органы продлили его еще на 20 лет. До сих пор только семь штатов определили место для постоянного хранения таких отходов: Аляска, Гавайи, Орегон, Юта, Айдахо, Монтана и Вашингтон; все они будут свозить свои отходы в Ханфорд (шт. Вашингтон), где размещается немало заводов по производству ядерного оружия. По меньшей мере власти одного штата (Нью-Йорк) заявили, что они намерены опротестовать правомерность принятого закона о захоронении отходов с низким уровнем радиоактивности; ряд других штатов, как известно из печати, готовится предпринять аналогичные действия.

В общем, до окончательного решения проблемы, связанной с ликвидацией радиоактивных отходов, судя по всему, пока еще далеко.

Конец карьеры

НЕМНОГИЕ, вероятно, опечалены тем, что времена холодной войны уходят в прошлое. Кто испытывает нежные чувства к Берлинской стене или к крылатым ракетам с ядерными боеголовками? Но один из символов былой враждебности сверхдержав останется не только в памяти «ястребов»: это самолет SR-71 Blackbird («Черная птица». — *Ред.*), от которого ВВС США собираются в этом году отказаться. Шпионский самолет, созданный более 25 лет назад, до сих пор не превзойден в скорости и в высоте полета. Даже профессиональные военные критики, затрагивая эту тему, становятся похожи на подростков из авиамodelьного кружка.

«Это, безусловно, один из самых красивых самолетов за всю историю», — говорит Джон Пайк из Федерации американских ученых. Пайк вспоминает, как на военно-воздушной базе Райт-Паттерсон (шт. Огайо) он обнаружил, что титановое покрытие у SR-71 «тонкое, как желье банки изпод кока-колы». «Я полагал, что самолет, летающий так быстро, должен быть закован в броню, — говорит Пайк. — Я был просто поражен».

SR-71 был задуман в конце 50-х годов, когда американские военные начали опасаться, что реактивный U-2, летавший на большой высоте, но довольно медленно, может быть сбит при выполнении разведывательных заданий над территорией СССР. Эти опасения подтвердились в 1960 г., когда советские ракеты сбили U-2, управляемый Френсисом Гари Пауэрсом. Через несколько лет на секретных заводах «Skunk Works» компании Lockheed в Бербанке, шт. Калифорния, группа конструкторов, выпустивших U-2, разработала самолет, летающий выше и во много раз быстрее.

SR-71 — это прообраз «бесшумного» самолета: за его обтекаемые формы трудно «зацепиться» радарам, а специальное эпоксидное покрытие дополнительно уменьшает отражение волн. Это первый и один из немногих самолетов, почти полностью сделанных из титана (заметим, что та самая «твердость», которая позволяет металлу выдерживать высокие температуры и давления сверхзвукового полета, затрудняет управление самолетом). Два турбореактивных двигателя фирмы Pratt & Whitney длиной около 12 м создают тягу примерно 15 т каждый.

Характеристики SR-71 засекречены: ВВС сообщают только, что он движется со *средней* скоростью 3 М — быстрее пули — на высоте

примерно 25 км. Уильям Борроуз из Нью-Йоркского университета в своей книге «Deep Black» оценивает максимальную скорость самолета в 4160 км/ч, а его потолок в 31 км.

По мнению Джеффри Ричелсона из Национальных архивов служб безопасности, всего было построено около 30 самолетов SR-71. Они выполняли разведывательные задания над территориями практически всех послевоенных соперников США, включая Советский Союз, Северную Корею, Северный Вьетнам, Иран, Ливию и Никарагуа. Хотя SR-71 подвергались обстрелу более 1000 раз, их никогда не смогли сбить. Однако, как говорит Ричелсон, аварии и старение привели к тому, что первоначальное число SR-71 уменьшилось до 20. Вероятно, в любой момент половина из них готова подняться в воздух с баз, расположенных в Калифорнии, в Великобритании и на Окинаве.

В течение нескольких лет ВВС пытались «уволить в запас» оставшиеся SR-71 под тем предлогом, что спутники и другие самолеты, включая новые модификации прежнего U-2, могут делать то же самое при меньших затратах. И в самом деле, запчасти, топливо и смазочные материалы для SR-71, а также подготовка пилотов обходятся исключительно дорого. Тем не менее конгресс поддерживал программу SR-71 до нынешнего года, когда, наконец, ВВС добились своего.

«Ничто его не заменит», — огорчается Джеймс Карри, советник сенатского комитета по разведке. В отличие от спутника, отмечает Карри, SR-71 можно послать «куда вам нужно и когда вам нужно», а в отличие от U-2 и других разведывательных самолетов он «может проникать в воздушное пространство противника и возвращаться невредимым». Эти его качества были бы особенно ценными в эпоху после холодной войны, считает Карри, когда наибольшую опасность для США представляют локальные конфликты, а не советский блок.

Пайк с этим согласен. Он указывает также, что затраты на SR-71, которые он оценивает в 300 млн долл. в год, составляют лишь часть стоимости одного разведывательного спутника. Пентагон имеет сейчас по крайней мере четыре таких спутника на орбите — три с оптическими датчиками и один, использующий радар, — и, по словам Пайка, к середине 90-х годов их будет 12.

Эти спутники, говорит он, могут быть сбиты специальными снарядами, тогда как SR-71 обладает бесценным свойством возвращаться назад.

Майор Гэри Лулофф, который когда-то пилотировал SR-71, а сейчас



САМОЛЕТ SR-71 Blackbird длиной 32 м и с размахом крыльев 18 м.

возглавляет программу разведки в Стратегическом авиационном командовании, признает, что самолет имеет недостатки: он «не очень маневренный»; его титановый фюзеляж, прежде чем металл расширится от тепла и стыки уплотнятся, пропускает топливо, как сито; у него огромный расход горючего и поэтому слишком часто приходится осуществлять заправку в воздухе; пилоты должны быть одеты в тяжелые, теплые костюмы астронавтов. Однако, когда Лулоффа спросили, как он относится к позиции руководства ВВС, считающего, что другие системы могут выполнять ту же работу, что и SR-71, Лулофф ответил резко, будто отозвались неуважительно о его старом друге: «Я думаю, честнее будет сказать, что прекращение полетов SR-71 связано с финансовыми соображениями, а не с качествами самолета».

Есть ли вероятность, что руководство ВВС передумает? «Нет, — отвечает представитель ВВС майор Ричард Коул. — Программа завершена».

Прощай, Черная птица.

Медицина в административных тисках

ВКОНЦЕ 1987 г. Э. Олдфилд и Р. Планкет из Национального института неврологических заболеваний, нарушениях речи и инсульта убедились в том, что административное распоряжение положило конец их многообещающим исследованиям.

Упомянутые ученые ранее предложили больному, страдающему паркинсонизмом, сделать экспериментальную операцию, которая заключалась в имплантации нервных клеток недоразвитого человеческого плода. Ученые рассчитывали на то, что нормальные эмбриональные клетки заменят клетки, пораженные в связи с болезнью. Предварительные эксперименты на животных позволяли надеяться на успех. В соответствии с намеченным планом, одобренным соответствующими комитетами по медицинской этике и руководителем клинических исследований Национальных институтов здоровья (НИЗ), женщине, которая решила бы сделать аборт и обратилась для этого в другую клинику, должны были предложить дать свое согласие на использование тканей ее плода для проведения намеченной операции. Больной паркинсонизмом уже находился в клинике. Однако в последний момент руководитель НИЗ распорядился отложить операцию до тех пор, пока не будет получено согласие министерства здравоохранения и социального обеспечения. Согласие это так и не пришло.

Вскоре помощник министра здравоохранения наложил временный запрет на финансирование из федеральных фондов всех экспериментальных работ, связанных с использованием тканей абортусов. В результате трансплантация эмбриональной ткани оказалась невозможной не только для лечения паркинсонизма, но также диабета и болезни Альцгеймера.

НИЗ созвал совещание, чтобы обсудить вопросы медицинской этики. Участники пришли к выводу: трансплантация эмбриональных тканей не противоречит общественным интересам при обеспечении гарантий, что перспектива оказания помощи больному человеку не послужит поводом для какой-нибудь женщины умышленно пойти на аборт ради этого. Несмотря на такое заключение, принятое на совещании в ноябре прошлого года, министр здравоохранения Л. Салливан заявил о запрете финансирования из федеральных источников работ по пересадке тканей человеческого плода, изъятого при аборте, невзирая на возражение нескольких фондов по лечению различных заболеваний и Ассоциации американских медицинских колледжей.

Трансплантация клеточного материала человеческого плода стала жертвой в войне, в которой противники аборт «задушили и лишили федеральной поддержки исследования в области биологии размножения у человека», как сказал Дж. Флетчер из Университета шт. Виргиния в Шарлоттсвилле. Такой натиск, без всяких сомнений, подогревается административной, озобоченной своими политическими проблемами. По сообщениям научных работников НИЗ, наиболее высокопоставленные государственные чиновники всячески препятствуют появлению публикаций об исследованиях, связанных с созданием препарата RU-486, вызывающего выкидыш. Среди ученых НИЗ бытует мнение, что те исследователи, которые занимаются изучением фертильности у людей, не пользуются никакой поддержкой. В результате, как полагает Флетчер, исследования в этой области в США находятся «на уровне ниже необходимого».

Государственные чиновники применяют к тому же различные бюрократические приемы, направленные против изучения причин и методов лечения бесплодия — проблемы, затрагивающей интересы 8% женщин детородного возраста. В 1987 г. О. Лоури, сотрудник медицинского факультета Вашингтонского университета, пытался добиться у НИЗ финансирования для совершенствования культуральных сред, используемых при оплодотворении *in vitro*. Совет при НИЗ, рассматривавший предложение о проведении такого исследования, в котором предполагалось использовать лишние яйцеклетки, предназначенные для больниц, где лечатся от бесплодия, признал его почти безукоризненным. Однако НИЗ также заявил Лоури, что для продолжения его работы, ему необходимо получить

одобрение Консультационного совета по вопросам этики при министерстве здравоохранения. Здесь-то и была ловушка: упомянутый совет прекратил свое существование еще в 1980 г., и заместитель министра здравоохранения Дж. Мейзон отказался возобновлять его деятельность. Так Лоури до сих пор и не получил необходимые ему деньги.

Флетчер считает, что такой мотивированный идеологическими соображениями тщательный контроль исследований напоминает времена Трофима Лысенко, чьи доктринерские взгляды в течение многих лет душили биологические исследования в Советском Союзе. Последствия этого контроля над наукой не могли не выйти за рамки исследований заболеваний. Так, указывает Флетчер, исследователи «расписания» экспрессии генов в эмбрионе, не могут рассчитывать на финансирование из правительственных источников. В то же время, если бы в яйцеклетке, оплодотворенной *in vitro*, удалось выделить белки, являющиеся признаком наследственного заболевания, для имплантации можно было бы отобрать эмбрионы, не содержащие таких белков. По оценкам НИЗ, при наличии совета по вопросам этики на рассмотрение о финансировании поступило бы более 100 заявок на проведение работ, связанных с исследованием эмбрионов на ранних стадиях развития.

Политические мотивы также сдерживают размах исследований причин нарушения способности к деторождению и проведение таких диагностических процедур, как взятие на анализ ворсинок хориона. Для того чтобы добиться финансирования из федеральных источников любой такой работы, которая связана с самым минимальным риском, на ее проведение требуется получить согласие совета по вопросам медицинской этики при конгрессе; с 1985 г. работа этого совета и консультационного комитета при нем практически парализована из-за неразрешимости политических аспектов рассматриваемой области науки.

Нежелание правительства поощрять исследования, связанные с использованием тканей человеческого плода, вызвало апатию у ученых. По словам Д. Редмонта-младшего, сотрудника медицинского факультета Йельского университета, частные организации и даже крупные фармацевтические компании начинают проявлять упрямство в вопросах финансирования таких работ. А тем временем в других странах, в частности в Швеции и Канаде, исследования в рассматриваемой области идут полным ходом.

Борьба выходит за пределы лабораторий и рабочих комнат: изданные в декабре прошлого года два доклада подкомитета по людским ресурсам, возглавляемого членом палаты представителей Т. Уэйссом, содержали резкую критику в адрес многих административных органов за их попытки подвергнуть цензуре эпидемиологические исследования при абортах, равно как и за отказы в финансировании изучения причин и методов лечения бесплодия. В этом году Уэйсс планирует вынести данный вопрос на рассмотрение соответствующей комиссии конгресса. Большинство исследователей, тем не менее, питают слабые надежды на то, что в ближайшее время будут приняты какие-либо меры, чтобы устранить все препятствия на пути к изучению причин и методов лечения бесплодия, а также исследований в области трансплантации и патологии эмбрионального развития.

Высока ли эффективность?

Фондовая биржа США продолжает сталкиваться с множеством проблем, и неслетные слова в ее адрес раздаются сейчас по всей стране. Руководители некоторых корпораций заявляют, что их беспокоит проблема, охарактеризовать которую можно как «реакция на данные о квартальных доходах». Даже если компания сохраняет прочные позиции, ее низкие доходы за прошедший квартал могут вызвать панику среди акционеров, побуждая их продавать акции этой компании. Высказывается недовольство и тем, что фондовая биржа якобы недооценивает некоторые фирмы и делает их уязвимыми в периоды слияния компаний. Инвесторы обеспокоены тем, что биржа стала настолько нестабильной, что лишает их возможности получать дивиденды. Каким целям отвечает фондовая биржа сегодня? Насколько эффективно она функционирует?

Задолго до основания Нью-Йоркской биржи в 1817 г., купцы торговали акциями компаний (и правительственными облигациями), зарабатывая на этом деньги. Инвесторы обменивали свои деньги на акции, дававшие им право на получение части прибыли компании. И сейчас компании по-прежнему продают на бирже акции, хотя и не столь часто, как прежде. (Согласно данным фирмы Securities Data, компании выпустили акций на сумму 20,7 млрд. долл. в прошлом году, и на сумму 29,9 млрд. долл. — в 1988 г.)

Экономисты отводят фондовой бирже большую роль, называя ее

средством помещения капитала. Поскольку инвесторы стремятся к получению высоких дивидендов, они предпочитают иметь дело с теми компаниями, у которых дела идут неплохо. Такая «избирательность» определяет цену каждой компании и облегчает, или, наоборот, затрудняет для компаний задачу добыть дополнительные фонды.

Если биржа функционирует эффективно, то механизм «избирательности» обеспечивает правильную оценку той или иной компании. Неэффективная же биржа поглощает деньги инвесторов, поскольку на ней неадекватно оцениваются компании, имеющие смутные перспективы. Кроме того, она «обесценивает» более надежные фирмы. К сожалению, у экономистов отсутствует единое мнение относительно того, как можно определить, что биржа действительно функционирует эффективно.

Юджин Ф. Фама из Чикагского университета считает, что эффективная биржа «правильно использует всю доступную информацию» для определения стоимости акций. Двумя необходимыми условиями для такой биржи являются очень низкая стоимость сделок и свободный доступ к информации.

Несколько изменений, произошедших за последние 15 лет, сделали биржу намного более «информированной» относительно движения капитала. В «1975 г. в США был отменен закон, предписывающий брокерам взимать фиксированную плату за оказание своих услуг. Это удешевило сделки, а компьютеры ускорили их совершение, предоставляя инвесторам больше информации и давая им возможность быстрее реагировать на происходящие изменения. Грегг А. Джаррел из Рочестерского университета отмечает, что если в прошлом инвестор, узнав, что компания потеряла заявку на новый контракт, не продавал акции (считая, что ему это обойдется дорого), то сегодня он может продать их сразу же.

Сторонники представлений об эффективно функционирующей бирже полагают, что когда на ней становится известно о каких-то изменениях, то резкий подъем или падение курса акций какой-либо компании может быть вполне оправдан. Когда в октябре прошлого года инвесторы узнали, что после 30 лет компания Texas Instruments, наконец, приобрела патент на транзистор, они подняли курс акций этой компании почти на 30%. «Если биржа располагает необходимой информацией, то стоимость акций на ней оценивается довольно точно», — говорит Джаррел. По его мне-

нию, объяснимы даже «ценозаявочные войны», которые происходят во время слияния компаний и приводят к взвинчиванию курса акций. Джаррел полагает, что увеличение стоимости акций объясняется планами покупателя по реорганизации компании. Если предлагаемые цены снижаются, то стоимость акций быстро падает почти до первоначального уровня, поскольку никакого запланированного переустройства не происходит.

Другие экономисты не согласны с тем, что биржа реагирует таким эффективным образом. Роберт Дж. Шиллер из Йельского университета считает, что повышение или понижение стоимости акций часто вызывают сами инвесторы, которые не могут противостоять «капризам» биржи и поддаются биржевым страстям.

Одним из таких «капризов» Шиллер считает чрезвычайную неустойчивость цен на бирже. Теоретически, инвесторы оценивают стоимость акции исходя из ее «текущего курса». Такая стандартная оценка по существу представляет собой суммирование предполагаемых дивидендов за вычетом процентной ставки. (Размер вычета учитывает инфляцию и неопределенность, которые могут сделать будущие дивиденды ниже сегодняшних платежей.) Если инвестор уверен в делах фирмы и решит, что дивиденды превысят нынешнюю стоимость акций, то он покупает их. Кроме того, как полагает Шиллер, поскольку дивиденды в некоторой степени предсказуемы, перемены в системе сделок не должны быть резкими. Он считает, что биржа не функционирует эффективно из-за случайных флуктуаций данных.

Вскоре после 13 октября прошлого года (день, когда индекс Доу Джонса снизился на 190) Шиллер опросил примерно 100 биржевых профессионалов. Его интересовало, что заставило их продать акции. Из опрошенных 77% сказали, что в тот день их действия скорее были продиктованы эмоциями, чем поступившими известиями.

Экономисты сходятся в одном — ныне нестабильность биржи ненамного выше, чем прежде. Согласно исследованию, проведенному недавно Г. Уильямом Швертом из Рочестерского университета, изменения индекса Доу Джонса, выраженные в процентах, в 80-х годах были незначительными, за исключением 19 октября 1987 г., когда этот индекс снизился более чем на 20%. В процентном выражении снижение индекса Доу Джонса 13 октября 1989 г. даже не вошло в число 25 наибольших снижений этого индекса в истории биржи,

отмечает Шверт. По его мнению, переполох в тот день был вызван тем, что пресса сообщила о снижении индекса Доу Джонса в абсолютных единицах (190), тогда как проценты (более 6% в данном случае) были бы восприняты более спокойно.

Проблема оценки эффективности фондовой биржи далека от решения. Если признать, что биржа функционирует эффективно, то руководителям корпораций, которые сетуют на недооценку их компаний, следует детально проанализировать, так ли они ведут свои дела.

Элизабет Коркоран

Суматоха вокруг голавля

СОБЫТИЯ, развернувшиеся в калифорнийской пустыне Мохаве, составляют целую сагу о проблемах окружающей среды с тысячами действующих лиц. Быть может, какой-нибудь режиссер, которого волнуют вопросы экологии, скажем Роберт Редфорд, захочет ознакомиться с этим сценарием?

Истоки событий теряются в последнем ледниковом периоде, когда отступающие ледники оставляли после себя в районе пустыни Мохаве водоемы, населенные различными выносливыми видами рыб. Среди уцелевших видов была и небольшая рыбка от 10 до 20 см длиной желтовато-коричнево-оливкового цвета с приплюснутым носом, названная голавлем из пустыни Мохаве.

Перенесемся теперь в наше время. Конец 60-х годов. Численность голавля Мохаве в родных водоемах падает, и государственные службы по охране диких животных начинают поиск новых водоемов, чтобы сохранить генетическую чистоту вида. Найдено несколько подходящих мест, в том числе водоем с заболоченными берегами под названием Ларк-Сип, недалеко от Испытательного центра ВМФ в Чайна-Лейк. Чайна-Лейк (Китайское озеро) представляет собой в действительности обширное дно высохшего озера, где ВМФ проводит испытания нового оружия. Военные не возразили против соседства с несколькими безобидными рыбками, и в 1971 г. голавль был переселен в озеро Ларк-Сип. Примечательно, что за год до этого Служба рыбных ресурсов и диких животных США занесла этих рыб в список исчезающих видов.

События развивались спокойно до начала 80-х годов, когда база Чайна-Лейк столкнулась со странной проблемой — избытком воды. Вода просачивалась в подвальные этажи зда-



ГОЛАВЛЬ — обитатель водоема Ларк-Сип неподалеку от испытательного центра ВМФ в Чайна-Лейк (Калифорния). Из всех известных мест, где водится эта рыба, здесь находится самая большая ее популяция.

ний, из-за чего начал портиться фундамент, размывала дороги; появились болота, привлекающие стаи гусей, которые представляли серьезную угрозу, поскольку попадали в ракетные двигатели. Содержание щелочей в воде сильно повысилось, что, по мнению некоторых специалистов, могло привести к загрязнению основного водоносного пласта. Стало очевидно, что вода поступает по нижним слоям грунта из какого-то неустановленного источника.

Официальные представители Регионального совета по контролю качества водных ресурсов в Лаконтане, шт. Калифорния, начали расследование этого таинственного происшествия. Подозрения пали на установку по очистке сточных вод, обслуживающую как 6000 жителей Чайна-Лейк, так и 30 000 жителей соседнего поселения Риджкрест. Построенная для нужд военно-морской базы, в конце 70-х годов, эта установка, имеющая систему фильтрации и несколько водоемов для выпаривания, начала обслуживать Риджкрест.

В 1987 г. Совет по контролю качества водных ресурсов дал городским властям указание устранить утечку воды из установки, а в противном случае заплатить большой штраф. Власти охотно подчинились. При содействии консультантов фирмы Bechtel, Inc. они даже разработали программу, позволяющую им получить прибыль с продажи перерабо-

ванных сточных вод.

Однако существовало одно маленькое «но». Оказалось, что вода, идущая с очистительной установки, питает Ларк-Сип, ставший крупнейшим в мире водоемом, где обитает голавль Мохаве. С 1971 г. приток воды возрос более чем в 2 раза, а первоначальная численность голавля, составлявшая 400 рыбок, увеличилась до 10 000 и мутная вода просто кишела этими рыбками. Служба рыбных ресурсов и диких животных вместе с аналогичным государственным органом — калифорнийским отделом рыбы и дичи — предупредили власти Риджкреста о том, что, если среда обитания голавля будет нарушена, они будут привлечены к уголовной ответственности в соответствии с законом о сохранении исчезающих видов.

В центре всех этих перипетий оказался мэр Риджкреста Дамон Эдвардз. «Чиновники из Совета по контролю качества водных ресурсов, если я не приму мер, наложат на город штраф в размере 1000 долл. в день, — сетует он, — а служба рыбных ресурсов и диких животных угрожает мне тюрьмой, если какие-либо меры будут предприняты».

Сжалившись над Эдвардзом, Совет по контролю качества водных ресурсов предоставил Риджкресту дополнительное время на выработку решения, которое удовлетворило бы всех. Это оказалось делом непростым. Специалист по рыбам аридных зон

К. Фелдмет из колледжа Клэрмон МакКенна, состоящий также консультантом на военно-морской базе, предложил искусственно видоизменить ландшафт Ларк-Сип, что, может быть, позволит сохранить численность голавля при меньшем количестве воды в водоеме. Однако Служба рыбных ресурсов и диких животных настаивала на создании запасного водоема для голавля до начала проведения каких-либо работ на Ларк-Сип на тот случай, если план, предложенный Фелдметом, провалится.

По мнению Фелдмета, беспокойство сотрудников Службы о судьбе голавля, возможно, несколько чрезмерно. Он отметил, что этот вид существует всего лишь какие-нибудь 10 000 лет, что он несъедобен и даже не так уж привлекателен на вид. Представитель Службы Раймонд Бренсфилд признает, что голавль «не такая уж привлекательная рыба», однако добавляет он, «она достаточно изворотлива, чтобы выжить в теперешних условиях».

Проблема ждет решения. Пока должностные лица Риджкреста обдумывают свой следующий шаг, сточные воды продолжают загрязнять Чайна-Лейк. Не случится ли так, что военные не выдержат и ускорят финал этой истории с помощью бомбы, «случайно» сброшенной на Ларк-Сип. Биолог базы ВМФ Беверли Кофилд сказал, что «шутки по этому поводу уже были». Но несмотря ни на что, голавль уже сумел завоевать любовь некоторых сотрудников базы Чайна-Лейк. Персонал столовой на базе подкармливает рыбок остатками пищи, а одного, самого заметного, они окрестили «Моби Чаб» («Голавль Моби»: в честь кита по прозвищу Моби Дик из знаменитого романа Г. Мелвилла. — *Ред.*). Сумеет ли Моби Чаб постоять за себя?

Зачем онкогены в нервной системе

КОГДА в мозгу возникает новая мысль или что-то запоминается, в нейронах (нервных клетках) происходят химические изменения, обеспечивающие запечатление следа памяти. В чем состоят эти изменения, до конца не ясно, но предполагается, что здесь имеет значение активность генов, направляющих синтез новых белков, которые обуславливают структурные изменения в нейронах или влияют на взаимодействия между ними. Исследователи из Института молекулярной биологии Роша в Натли (шт. Нью-Джерси), похоже, обнаружили гены, подходящие для та-

кой роли. Один из авторов этой работы, Т. Курран, сообщает, что два хорошо известных протоонкогена (т. е. нормальных клеточных гена, способных переходить в состояние, в котором они обуславливают развитие рака) играют ключевую роль в направлении нейронов по пути синтеза нейромедиаторов в ответ на стимуляцию.

Курран не считает роль протоонкогенов в нервных клетках столь уж удивительной. В клетках других типов от некоторых протоонкогенов, как известно, зависит транскрипция определенных генов (т. е. образование их РНК-копий, служащих матрицами для синтеза белков, кодируемых этими генами). Идея о том, что протоонкогены выполняют аналогичную функцию и в нервных клетках, побудила многих нейробиологов вплотную заняться их изучением. Результаты этих работ Курран изложил на ежегодном съезде Нейробиологического общества, состоявшемся в ноябре прошлого года в г. Феникс.

Курран, будучи специалистом по онкогенам, пришел в нейробиологию кружным путем. Несколько лет он сотрудничал в Институте Роша с Дж. Морганом, занимавшимся поисками активности протоонкогенов. Вначале они изучали эпилептические судороги у мышей — из тех соображений, что если протоонкогены активируются при стимуляции нейронов, то эффект должен быть наиболее заметен после судороги. Действительно, вслед за судорогой в нейронах гиппокампа (отдела мозга, участвующего в эмоциональных реакциях и механизмах памяти) наблюдалось значительное увеличение количества матричных РНК (мРНК), образующихся в результате транскрипции протоонкогенов *c-fos* и *c-jun*. По словам Куррана, изменения происходили в пределах 15 мин после начала судороги — это гораздо быстрее, чем считалось возможным. Эффект столь ярко выражен, что исследователи, изучающие эпилепсию, сейчас пытаются выяснить, не позволят ли изменения активности генов *c-fos* и *c-jun* установить, какие клетки участвуют в судорогах. В нейронах гиппокампа, кроме того, резко возросло содержание мРНК, кодирующей проэнкефалин — предшественник эндогенных мозговых пептидов, называемых энкефалинами, которые по своему действию являются антагонистами опиума.

Есть ли прямая связь между проэнкефалином и генами *c-fos* и *c-jun*? По мнению Куррана и Моргана, есть. Белки — продукты этих генов вместе связываются с неким участком клеточной ДНК, управляющим экспрес-

сией гена проэнкефалина; увеличение содержания этих белков должно вызывать усиление синтеза проэнкефалина. Вероятно, в результате судорог в нейронах истощаются запасы проэнкефалина, но одновременно инициируется экспрессия генов *c-fos* и *c-jun*, что стимулирует синтез проэнкефалина.

Курран и Морган предполагают, что протоонкогены играют роль и в долговременных изменениях, происходящих в нейронах при обучении или адаптации. В этом случае экспрессия генов *c-fos* и *c-jun* представляет собой раннюю стадию долговременных структурных изменений нейронов. Белки — продукты этих генов, возможно, регулируют экспрессию других генов, кодирующих структурные и рецепторные белки, а также нейромедиаторы. Так, несколькими исследователями сообщалось об усилении экспрессии генов *c-fos* и *c-jun* после

стимуляции нейронов неромедиатором глутаматом, который участвует в нейронных процессах, связанных с обучением и запоминанием.

Некоторые исследователи не считают имеющиеся на сегодняшний день данные достаточными для поддержки таких предположений. «Возможно, что экспрессия протоонкогенов — нормальное явление в ходе клеточного роста или восстановительных процессов после судороги либо высокочастотной стимуляции», — отмечает Д. Элкон из Национальных институтов здоровья. — «Если это так, то экспрессия протоонкогенов более характерна для клеток, участвующих в процессах восстановления, а не обучения.» Тем не менее Элкон согласен с тем, что изучение протоонкогенов наверняка даст важный вклад в нейробиологию: «Не случаен тот факт, что в основе нейронной адаптации и развития рака лежит общий механизм».

Книги издательства „Мир“

КИНЕТИКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО РАСТВОРЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

Л. Киш

Перевод с английского

В книге венгерского ученого рассматриваются кинетические характеристики важной группы электродных процессов — электрохимического растворения металлов; главное внимание уделено анодному растворению металлов, лежащему в основе многих современных технологий (электрохимическая размерная обработка металлов, электрополировка, химические источники тока и др.).

Из отзыва проф. В. И. Кравцова: «Актуальность книги определяется большим практическим значением процессов иони-

зации в растворах, поскольку они широко используются в гальвано-технике и гидроэлектрометаллургии, определяют скорость коррозии металлов».

Содержание: Равновесие химических и электрохимических реакций. Основы кинетики электродных процессов. Самопроизвольные процессы, протекающие на металлических электродах.

Для электрохимиков — научных и инженерно-технических работников, аспирантов и студентов химико-технологических вузов.

1990 г. 17 л. Цена 2 р. 90 к.

Эту книгу вы сможете заказать в магазинах — опорных пунктах издательства «Мир»



На ком будет держаться американская наука в следующем столетии?



ШИРЛИ М. МЭЛКОМ

УПОМИНАНИЕ о том, что американская наука и техника находятся в критическом состоянии, стало почти избитым. В стране действительно готовится недостаточное число ученых и инженеров и в основном потому, что разъяснительная работа, которая ставила бы своей целью убеждать молодых людей в целесообразности выбора научных и инженерных профессий, ведется на недостаточно высоком уровне. Почему? Причина по привычке видится в недостатках обучения научным дисциплинам в начальной и средней школе. Стремление к насыщению учащихся информацией (осведомление о множестве фактов), принижение их способностей и нежелание слушать их (считая, что они мало что понимают) и отчисление из школ (снижение численности учащихся) позволяют лишь немногим из них обнаружить у себя подлинный интерес к науке и получить такой уровень подготовки, который оказался бы достаточным для того, чтобы продолжить образование и сделать карьеру на научном или инженерном поприще.

По указанным причинам существует довольно многочисленный и как ни удивительно не явный контингент одаренных людей, который по существу остается никак не использованным. Кто же эти люди, которые при благоприятных условиях смогли бы стать учеными. К ним относятся негры, латиноамериканцы, американские индейцы, молодые женщины всех рас, студенты-инвалиды обоих полов и различных рас. Может показаться странным, но хотя система образования плоха для всех, ее недостатки в наибольшей степени сказываются в первую очередь именно на этих перечисленных группах людей.

С целью поддержания достаточно высокого профессионального уровня ученых и конкурентоспособной экономики США должны учитывать взаимообусловленность явлений в области демографии и образования. Численность молодых людей в возрасте

от 18 до 24 лет, за счет которых в основном происходит пополнение рабочей силы и создается приток учащихся в университетах и колледжах, снижается как в абсолютном выражении, так и в процентном отношении к общей численности населения. Представителей самых малочисленных национальностей в этой уменьшающейся группе становится все больше.

К 2010 г. третью часть молодежи в возрасте 18 лет будут составлять негры или латиноамериканцы; в 1985 г. они в этой возрастной группе составляли пятую часть. В общеобразовательных школах некоторых штатов учащиеся из числа национальных меньшинств уже составляют или вскоре будут составлять большинство.

На рубеже веков представители национальных меньшинств, женщины и иммигранты будут составлять примерно 85% общего числа всех тех, кто впервые приступит к работе. В то же время всего одно поколение назад женщины составляли около 30% всех работающих, а к 2000 г. этот показатель будет равен примерно 50%.

Если США сохранят нынешние темпы экономического роста, то можно ожидать, что потребность в ученых и инженерах увеличится или по крайней мере останется на современном уровне. Даже если эта потребность останется такой же, как и сейчас, вакансии, образуемые за счет преждевременного прекращения трудовой деятельности и ухода на пенсию, пик которого, как ожидается, придется на конец 90-х годов, а также за счет смертности, нужно будет кем-то заполнять.

Ясно, что скрывается за этими тенденциями. Если мы не начнем по-настоящему готовить молодых людей, которые сейчас учатся в школах и колледжах и которые не собираются стать учеными или инженерами, США вскоре будут испытывать острую нехватку молодых ученых. Пока страна решает долгосрочную проблему по переустройству начальной и

средней школы и пересмотру программ по естественнонаучным дисциплинам и математике, она в то же время должна повернуться лицом к нуждам сегодняшнего дня, а именно повысить эффективность работы университетов как в обучении, так и в выпуске большего числа специалистов со степенями в области научных и технических дисциплин. В условиях изменяющейся демографической картины под словом «американец» мы должны просто понимать и белых, и негров, и представителей национальных меньшинств, как женщин, так и мужчин.

УРОКИ прошлого нас, видимо, ничему не научили. Например, порочная практика приема на работу и продвижения по службе, характерная для университетов, замедляет и в конце концов может вообще приостановить подготовку научных кадров женского пола. В период с 1978 по 1982 г. степень доктора наук в области химии получили около 900 женщин; как могло случиться, что большинство университетов, ведущих научную работу, «отодвинули» многих из этих женщин на незавидные должности, такие как преподаватели-почасовики и консультанты, и столь малому числу из них предоставили штатные профессорские должности? Хотя сами студентки отрицают традиционное представление будто женщины хороши для учебы, но нежелательны для работы, или хороши для работы, но не для продвижения по службе, их неудовлетворенность, по-видимому, приносит свои коррективы в сложившуюся систему и снижает приток женщин в науку.

Из 341 человека, получивших докторские степени в области математики в 1988 г. (в 1978 г. степень доктора была присвоена 619 человекам), только один был негр, двое — американские индейцы и трое — латиноамериканцы. Степень доктора в области физики за последние 11 лет получили менее 80 негров, менее 100 латиноамериканцев и присуждалась в среднем одному индейцу ежегодно. Число ученых из представителей национальных меньшинств, которые оканчивают аспирантуру в университетах и получают степень доктора наук, столь мало, что говорить о национальном разнообразии профессорско-преподавательского состава в университетах очень трудно, даже несмотря на то, что представителей национальных меньшинств в студенческой среде становится все больше.

Именно потому, что представителей национальных меньшинств среди студентов научных специальностей крайне мало, требуется не так уж

много сделать для того, чтобы их количество возросло. Председатель Американской ассоциации содействия развитию науки У. Массей считает, что если естественнонаучные факультеты университетов будут следовать принципу «удвоение плюс один» по отношению к имеющемуся сегодня числу таких студентов и выпуску аспирантов с докторскими степенями, результаты сразу изменят положение.

Однако осознать необходимость в изменении этих статистических показателей куда легче, чем покончить с пустой риторикой. Естественнонаучные и инженерные факультеты все еще не проявляют готовность оказывать помощь в проведении научной работы выпускникам вузов из числа представителей нацменьшинств. Таких студентов могут принять на кафедре (особенно в том случае, когда у них есть спонсор, оплачивающий их работу), но это не значит, что они будут восприняты как равноправные члены коллектива. Не имея своего наставника, не делясь результатами своей работы, лишённые своего рабочего места, не имея собственных ключей к лаборатории и не общаясь со своими коллегами, эти студенты обречены «вариться в собственном соку». Очень часто профессора и преподаватели смотрят на студентов как на людей заурядных, не способных к какой-либо серьезной деятельности; многие преподаватели мужского пола смотрят на студенток как на своих помощниц или как на особ, расположение которых нужно завоевать, а не как на одаренных будущих специалистов, которые могут стать их коллегами.

Имеются все возможности для изменения сложившейся ситуации. Данные, которыми мы располагаем, позволяют предположить, что в период с 1978 по 1988 г. интерес к изучению научных и инженерных дисциплин среди вновь поступивших в университеты и колледжи представителей национальных меньшинств постоянно возрастал. Так, в 1988 г. 11,5% всех вновь поступивших в университеты негров заявили, что они хотели бы специализироваться в области физических наук. Нам следует всячески поддерживать эту готовность и надеяться, что благодаря этому удастся превратить показатель в 38%, которым характеризуется численность выпускников из всех, кто выбирает эту профессию при поступлении в вуз. Специалисты стараются дать студентам возможность самим постепенно разобраться в выбранной ими области и потом, что называется, «снимают сливки» из числа оставшихся.

(см. продолжение на стр. 96)

ТРАГЕДИЯ БЕССМЫСЛЕННОЙ БОЛИ

NARCOTIC ANALGESICS IN CLINICAL PRACTICE. R. G. Twycross in *Advances in Pain Research and Therapy*, Vol. 5. Edited by John J. Bonica et al. Raven Press, 1983.

CHRONIC USE OF OPIOID ANALGESICS IN NON-MALIGNANT PAIN: REPORT OF 38 CASES. R. K. Portenoy and K. M. Foley in *Pain*, Vol. 25, pages 171—186; 1986.

THE CHALLENGE OF PAIN. Revised edition. Ronald Melzack and Patrick Wall. Penguin USA, 1989.

TEXTBOOK OF PAIN. Second edition. Edited by Patrick D. Wall and Ronald Melzack. Churchill Livingstone, Inc., 1989.

INFLUENCE OF THE PAIN AND SYMPTOM CONTROL TEAM (PSCT) ON THE PATTERNS OF TREATMENT OF PAIN AND OTHER SYMPTOMS IN A CANCER CENTER. Eduardo Bruera, Carleen Brenneis, Mary Michaud and R. Neil McDonald in *Journal of Pain and Symptom Management*, Vol. 4, No. 3, pages 112—116; September, 1989.

ПЕРЕМЕННОЕ СОЛНЦЕ

SUN, WEATHER, AND CLIMATE. J. R. Herman and R. A. Goldberg. National Technical Information Service, NASA-SP-426; 1978.

THE SUN, OUR STAR. Robert W. Noyes. Harvard University Press, 1982.

SUN AND EARTH. Herbert Friedman. Scientific American Books, Inc., 1986.

ASTROPHYSICS OF THE SUN. Harold Zirin. Cambridge University Press, 1988.

THE RESTLESS SUN. Donat G. Wentzel. Smithsonian Institution Press, 1989.

SOLAR ASTROPHYSICS. Peter Foukal. Wiley Interscience, 1990.

ХАОС И ФРАКТАЛЫ В ФИЗИОЛОГИИ ЧЕЛОВЕКА

AN ESSAY ON THE IMPORTANCE OF BEING NONLINEAR. B. J. West in *Lecture Notes in Biomathematics* 62. Edited by S. Levine. Springer-Verlag, 1985.

FRACTALS IN PHYSIOLOGY AND MEDICINE. Ary L. Goldberger and Bruce J. West in *Yale Journal of Biology and Medicine*, Vol. 60, pages 421—435; 1987.

PHYSIOLOGY IN FRACTAL DIMEN-

SIONS. Bruce J. West and Ary L. Goldberger in *American Scientist*, Vol. 75, No. 4, pages 354—365; July—August, 1987.

NONLINEAR DYNAMICS IN SUDDEN CARDIAC DEATH SYNDROME: HEART-RATE OSCILLATIONS AND BIFURCATIONS. A. L. Goldberger, D. R. Rigney, J. Mietus, E. M. Antman and S. Greenwald in *Experientia*, Vol. 44, pages 983—987; 1988.

КАК РАСТЕНИЯ ПРОИЗВОДЯТ КИСЛОРОД

RELEVANCE OF THE PHOTOSYNTHETIC REACTION CENTER FROM PURPLE BACTERIA TO THE STRUCTURE OF PHOTOSYSTEM II. Harmut Michel and Johann Deisenhofer in *Biochemistry*, Vol. 27, No. 1, pages 1—7; January 12, 1988.

MECHANISM OF PHOTOSYNTHETIC WATER OXIDATION. Gary W. Brudvig, Warren F. Beck and Julio C. de Paula in *Annual Review of Biophysics and Biophysical Chemistry*, Vol. 18. Annual Reviews, Inc., 1989.

PHOTOSYSTEM II: FROM A FEMTOSECOND TO A MILLISECOND. Govindjee and Michael R. Wasielewski in *Photosynthesis*. Edited by Winslow E. Briggs. Alan R. Liss, Inc., 1989.

PHOTOSYSTEM II, THE WATER-SPLITTING ENZYME. A. W. Rutherford in *Trends in Biochemical Sciences*, Vol. 14, pages 227—232; June, 1989.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СТРУКТУРЫ НА АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ

MOLECULAR BEAM EPITAXY AND HETEROSTRUCTURES. Edited by Leroy L. Chang and Klaus Ploog. Kluwer, 1985.

SEMICONDUCTOR DEVICES, PHYSICS AND TECHNOLOGY. S. M. Sze. John Wiley & Sons, Inc., 1985.

IEEE GAAS IC [GALLIUM ARSENIDE INTEGRATED CIRCUITS] SYMPOSIUM. IEEE, November 6—9, 1988.

ВЗАИМОПОМОЩЬ У ВАМПИРОВ

THE EVOLUTION OF COOPERATION. Robert Axelrod. Basic Books, Inc., 1984.

(см. начало на стр. 95)

Вместо этого следовало бы попытаться развить имеющиеся у студентов способности, проводить с ними воспитательную работу, помочь реализовать замеченный у них талант. Следующая эпоха в науке должна непременно отличаться присутствием в ее рядах молодежи, которая обычно остается незамеченной (и которая сама зачастую не понимает своего призвания) в довольно неоднородной современной среде.

Кто же все-таки в США будет творить науку в следующем столетии? Это зависит от того, кого мы отнесем к категории талантливых людей. В условиях новых реальностей старые правила уже не работают. Настало время изменить тактику игры и призвать на поле новых игроков, до сих пор сидевших на скамейке запасных.

Вниманию читателей!

БИОГЕННЫЙ МАГНЕТИТ И МАГНИТОРЕЦЕПЦИЯ ОРГАНИЗМОВ. НОВОЕ О БИОМАГНЕ- ТИЗМЕ.

В 2-х тт. 1988. 9 р. 40 к. за комплект.

Прост Ф.

ВНЕКЛЕТОЧНЫЕ ФЕРМЕНТЫ МИКРО- ОРГАНИЗМОВ.

1987. 0-60 к.

ФОТОСИНТЕЗ. В 2-х тт.

П/р Говинджи.

1987. 2 р. 20 к. за комплект.

Эйнштейн Э.

БЕЛКИ МОЗГА И СПИННОМОЗГОВОЙ ЖИДКОСТИ В НОРМЕ И ПАТОЛОГИИ.

1988. 3 р. 50 к.

Обращайтесь в магазин № 5 «Техническая книга» по адресу: 191040 Ленинград, Пушкинская ул., 2. Книги могут быть высланы наложенным платежом.



SOCIAL EVOLUTION. Robert Trivers. Benjamin-Cummings Publishing Co., 1985.

THE NATURAL HISTORY OF VAMPIRE BATS. Edited by Arthur M. Greenhall and Uwe Schmidt. CRC Press, 1988.

RECIPROCAL ALTRUISM IN BATS AND OTHER MAMMALS. Gerald S. Wilkinson in *Ethology and Sociobiology*, Vol. 9, Nos. 2—4, pages 85—100; July, 1988.

МЕХАНИЗМЫ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В ЭКОНОМИКЕ

MARKET STRUCTURE AND FOREIGN TRADE. Elhanan Helpman and Paul Krugman. The MIT Press, 1985.

PATH-DEPENDENT PROCESSES AND THE EMERGENCE OF MACRO-STRUCTURE. W. Brian Arthur, Yu. M. Ermoliev and Yu. M. Kaniowski in *European Journal of Operational Research*, Vol. 30, pages 294—303; 1987.

SELF-REINFORCING MECHANISMS IN ECONOMICS. W. Brian Arthur in *The Economy as an Evolving Complex System*. Edited by Philip W. Anderson, Kenneth J. Arrow and David Pines. Addison-Wesley Publishing Co., 1988.

PART-DEPENDENCE: PUTTING THE PAST INTO THE FUTURE OF ECONOMICS. Paul David. I. M. S. S. S. Tech Report No. 533, Stanford University; November, 1988.

COMPETING TECHNOLOGIES, INCREASING RETURNS, AND LOCK-IN BY HISTORICAL EVENTS. W. Brian Arthur in *The Economic Journal*, Vol. 99, No. 394, pages 116—131; March, 1989.

У.Б. Артур, Ю.М. Ермолев, Ю.М. Каниовский. АДАПТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ РОСТА, МОДЕЛИРУЕМЫЕ СХЕМАМИ УРН. — Кибернетика, 1987, № 5, с. 49—57.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В СТАБИЛЬНОЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЕ

INTRAPLATE SEISMICITY, REACTIVATION OF PREEXISTING ZONES OF WEAKNESS, ALKALINE MAGMATISM, AND OTHER TECTONISM POSTDATING CONTINENTAL FRAGMENTATION. Lynn R. Sykes in *Reviews of Geophysics and Space Physics*, Vol. 16, No. 4, pages 621—688; November, 1978.

METHODS FOR ASSESSING MAXIMUM EARTHQUAKES IN THE EASTERN UNITED STATES. Kevin J. Coppersmith, Arch

C. Johnston, Lisa R. Kanter, Robert R. Youngs and Ann G. Metzger in *EPRI Report RP-2556-12*. Electric Power Research Institute, 1990.

SEISMICITY OF "STABLE CONTINENTAL INTERIORS". Arch C. Johnston in *Earthquakes at North-Atlantic Passive Margins: Neotectonics and Postglacial Rebound*. Edited by Søren Gregersen and Peter W. Basham. Kluwer Academic Publishers, 1989.

НАУКА ВОКРУГ НАС

X-RAY DIFFRACTION STUDIES OF THE STRETCHING AND RELAXING OF POLYETHYLENE. Alexander Brown in *Journal of Applied Physics*, Vol. 20, No. 6, pages 552—558; June, 1949.

THE NECKING AND COLD-DRAWING OF RIGID PLASTICS. P. I. Vincent in *Polymer*, Vol. 1, No. 1, pages 7—19; 1960.

ON THE EXTENSION OF THE NECK OF POLYMER SPECIMENS UNDER TENSION. G. I. Barenblatt in *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, Vol. 28, No. 6, pages 1264—1276; 1964.

INTRAOCULAR LIGHT SCATTERING: THEORY AND CLINICAL APPLICATION. David Miller and George Benedek. Charles C. Thomas, Publisher, 1973.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 23.03.90.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 ¼.
Гарнитуры таймс, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 6,00 бум. л.

Бумага офсетная №1.

Усл.-печ. л. 12,00.

Уч.-изд. л. 15,65.

Усл. кр.-отт. 50,25.

Изд. № 25/7724. Заказ 149.

Тираж 26860 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



Книги издательства „Мир“



Э. ДЕМЛОВ
С. ДЕМЛОВ

МЕЖФАЗНЫЙ
КАТАЛИЗ

Демлов Э., Демлов С.
МЕЖФАЗНЫЙ КАТАЛИЗ

Пер. с англ. — М.: Мир, 1987.
Цена 5 р. 30 к.


Монография, посвященная промышленному применению межфазного катализа, содержит многочисленные методики и таблицы и может служить справочным руководством для практических работников.

Для специалистов, работающих в различных отраслях органической химии и нефтехимии.

Хенрици-Оливэ Г., Оливэ С.
**ХИМИЯ
КАТАЛИТИЧЕСКОГО
ГИДРИРОВАНИЯ СО**

Пер. с англ. — М.: Мир, 1987.
Цена 2 р. 80 к.

Монография посвящена каталитическому гидрированию СО — процессу, который лежит в основе синтеза самых различных продуктов, в том числе жидкого топлива и угля.



*Г.Хенрици-Оливэ
С.Оливэ*

Химия
каталитического
гидрирования

СО

Эти книги вы сможете приобрести в магазинах — опорных пунктах издательства «Мир»



В следующем номере:



ОБСЕРВАТОРИИ НА ЛУНЕ

ИНТЕРЛЕЙКИН-2

НОВЫЕ ВИДЫ РАДИОАКТИВНОСТИ

ПОЗВОНОЧНЫЕ-ФИЛЬТРАТОРЫ

ПОДСОЗНАТЕЛЬНАЯ РАБОТА РАЗУМА

РАЗВИТИЕ СЕТИ СВЯЗИ

РАННЯЯ ИСТОРИЯ ИНДОЕВРОПЕЙСКИХ ЯЗЫКОВ

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА
