

В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Апрель **4** 1985

РЛС С ФАЗИРОВАННЫМИ
АНТЕННЫМИ РЕШЕТКАМИ

Издательство МИР предлагает:

И. Г. Стюард

**ВВЕДЕНИЕ
В ФУРЬЕ-ОПТИКУ**

Перевод с английского



В книге профессора Лондонского университета изложены основы нового направления, получившего название «фурье-оптика», которое все шире применяется для построения цельного изображения по элементам в многоэлементных радиотелескопах, многозеркальных оптических телескопах, голографии, спектроскопии. Книгу отличает ясность и четкость изложения, многочисленные иллюстрации из различных областей астрономии и физики.

Для инженерно-технических

работников приборостроительных отраслей и научных сотрудников — астрономов, физиков, математиков-прикладников. Может служить в качестве учебного пособия для студентов соответствующих специальностей.

Основное содержание: Предварительные сведения. Дифракция Фраунгофера. Ряды Фурье и периодические структуры. Преобразование Фурье, конволюция и корреляция. Оптическое изображение и обработка. Интерферометрия и источники излучения.

1985, 23 л. Цена 2 р.



В МИРЕ НАУКИ

Scientific American · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

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

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» МОСКВА

№ 4 · АПРЕЛЬ 1985

В номере:

- СТАТЬИ** 4 **Предсказание сильнейшего землетрясения в Калифорнии** *Роберт Л. Уэссон, Роберт Э. Уоллес*
 Вероятность того, что в ближайшие 30 лет на участке разлома Сан-Андреас произойдет землетрясение с магнитудой 8, оценивается в 50%. Для точного прогноза необходимо лучше разобраться в причинах, вызывающих подземные толчки
 (Scientific American, February 1985, Vol. 252, No. 2)
- 16 **Как трипаносома меняет свою оболочку** *Джон Э. Донелсон, Мервин Дж. Тернер*
 Из-за этого паразита в Африке на огромной территории невозможно разводить скот; в результате значительная часть населения лишена молока и мяса. Трипаномы выживают в крови животного-хозяина благодаря способности изменять свои антигены поверхности
 (Scientific American, February 1985, Vol. 252, No. 2)
- 28 **Источники космических гамма-всплесков** *Брэдли Е. Шафер*
 Космические гамма-всплески происходят внезапно — их невозможно заранее предсказать. Хотя природа этого явления пока не ясна, предложены наиболее вероятные его механизмы
 (Scientific American, February 1985, Vol. 252, No. 2)
- 36 **Броуновское движение** *Бернард Х. Лавенда*
 Наблюдения за хаотическим движением частицы, взвешенной в жидкости, позволили в начале XX в. точно определить массу атомов. В настоящее время броуновское движение служит математической моделью случайных процессов
 (Scientific American, February 1985, Vol. 252, No. 2)
- 46 **Успех размножения у благородного оленя** *Т. Г. Клаттон-Брок*
 Изучение примерно 1000 этих групповых животных на протяжении 12 лет позволило установить, что успех размножения особи зависит от ее положения в семейной группе и индивидуальных экологических особенностей
 (Scientific American, February 1985, Vol. 252, No. 2)
- 54 **Радиолокационные станции с фазированными антенными решетками** *Эли Брукнер*
 Обнаружение объектов и слежение за ними такие радиолокаторы осуществляют с помощью неподвижных антенн. Управление лучом основано на взаимодействии сигналов, излучаемых множеством небольших антенных элементов
 (Scientific American, February 1985, Vol. 252, No. 2)
- 66 **Функциональное протезирование уха** *Джералд Э. Лёб*
 Разработан вживляемый слуховой протез. С его помощью звуки создают электрические сигналы, которые преобразуются и подаются непосредственно на слуховой нерв. Это приспособление позволяет слышать людям, страдающим от глухоты, вызванной повреждением рецепторных клеток внутреннего уха
 (Scientific American, February 1985, Vol. 252, No. 2)
- 74 **Дамасская сталь** *Олег Д. Шерби, Джеффри Уодсворт*
 Металл знаменитых дамасских клинков имел более высокое содержание углерода, чем большинство современных сталей. После искуснойковки дамасская сталь приобретала исключительную прочность, вязкость и характерный узорчатый рисунок
 (Scientific American, February 1985, Vol. 252, No. 2)

РУБРИКИ 3 **Об авторах**

14 50 и 100 лет назад

26, 35, 64, 80, 87 Наука и общество

82 Наука вокруг нас

88 Занимательный компьютер

92 Книги

99 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan B. Piel
PRESIDENT AND EDITOR
BOARD OF EDITORS

Philip Morrison
BOOK EDITOR

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

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR
Richard Sasso
PRODUCTION MANAGER

George S. Conn
GENERAL MANAGER

Gerard Piel
CHAIRMEN
Dennis Flanagan
EDITOR EMERITUS

© 1985 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

ЛИТЕРАТУРНЫЕ РЕДАКТОРЫ
М. М. Попова
М. В. Суrowова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. А. Стулов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
И. В. Лунёва

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОНАБОРА
Г. С. Азимов

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
Т. К. Такташова

КОРРЕКТОР
Р. Л. Вибке

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

ТИТУЛЬНАЯ НАДПИСЬ,
ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ
В. В. Ефимов

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

© Перевод на русский язык и оформление,
«Мир», 1985

На обложке



РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СТАНЦИИ С ФАЗИРОВАННЫМИ АНТЕННЫМИ РЕШЕТКАМИ

На фотографии, сделанной в перспективе, изображена поверхность одной из двух антенн радиолокационной станции дальнего обнаружения PAVE PAWS, построенной фирмой Raytheon Company. Антенная система станции представляет собой фазированную решетку (см. статью Эли Брукнера «Радиолокационные станции с фазированными антенными решетками» на с. 54). Ширина решетки 31,3 м. Управление перемещением луча осуществляется с помощью электронных средств; сама антенна остается неподвижной. Микроволновые сигналы от 1792 элементов антенной решетки, состоящей из 5354 элементов, интерферируют, создавая направленный сигнал суммарной амплитуды. Луч может отклоняться под углом до 60° от оси, перпендикулярной к плоскости антенной решетки. Для этого сигналы, излучаемые каждым элементом, сдвигаются по фазе относительно друг друга с помощью линий задержек. Величина задержки рассчитывается для каждого элемента; она зависит от задаваемого направления луча. Каждый антенный элемент высотой 20 см состоит из двух диполей, расположенных во взаимно перпендикулярных плоскостях. Концы диполей опущены вниз для изменения характера электромагнитного взаимодействия между расположенными рядом элементами. За счет такой конструкции диполей при определенных углах направленности радиолокатора можно исключить излучение. Металлические штыри между антенными элементами способствуют формированию луча с круговой поляризацией, что помогает достижению максимальной чувствительности системы.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Ian Worpole

СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
5	U.S. Geological Survey, Menlo Park, California	19	Laurence Tetley and Keith Vickerman, University of Glasgow	48	Andrew Tomko
6	Ian Worpole	20-21	Ilil Arbel	49-52	Patricia J. Wynne
7	Kerry E. Sieh, California Institute of Technology	22	Don. C. Wiley, Harvard University	55	Eli Brookner (вверху); Raytheon Company (внизу)
8	Andrew Tomko	23	Ilil Arbel	56-63	Jerome Kuhl
9-10	Joe Le Monnier	29	Hank Iken, Walken Graphics	66-67	Tom Prentiss
13	Andrew Tomko	30	Hank Iken, Walken Graphics (вверху); H. Pedersen, ESO/La Silla Observatory (внизу)	68	Quesada/Burke
15	Scientific American	31-33	Hank Iken, Walken Graphics	68-73	Tom Prentiss
17	Steven T. Brentano, University of Iowa (вверху); Klaus M. Esser, Walter Reed Army Institute of Research (внизу)	34	Harvard College Observatory	75	Quesada/Burke (вверху и в середине); Rosemarie Koch (внизу)
18	Edgar D. Rowton, Walter Reed Army Institute of Research (вверху); Patricia J. Wynne (внизу)	37-44	George V. Kelvin	76	Michael Goodman
		47	T. H. Clutton-Brock, University of Cambridge	77	Ilil Arbel
				78	Oleg D. Sherby and Jeffrey Wadsworth
				83-85	Michael Goodman
				88-90	Edward Bell
				93	Hillel Burger, Harvard University

Об авторах

Robert L. Wesson, Robert E. Wallace (РОБЕРТ Л. УЭССОН, РОБЕРТ Э. УОЛЛЕС «Предсказание сильнейшего землетрясения в Калифорнии») работают в Отделе землетрясений, вулканов и строительства Геологической службы США. Уэссон — геофизик в филиале отдела, находящемся в Рестоне (шт. Виргиния), Уоллес занимает пост главного специалиста в Менло-Парке (шт. Калифорния). Уэссон закончил Массачусетский технологический институт, степени магистра и доктора философии получил в Станфордском университете в 1968 и 1970 гг. соответственно. С 1970 г. — научный сотрудник Геологической службы. Среди выполненных им работ — исследования в области прогноза землетрясений вдоль разлома Сан-Андреас (в Калифорнии) и в Средней Азии (СССР). Уэссон занимал посты руководителя Отдела сейсмологических исследований (1978—1980 гг.) и помощника директора Геологической службы (1980—1982 гг.). В 1982 г. вернулся к научной деятельности. Уоллес закончил Северо-Западный университет в Эванстоне (шт. Иллинойс) и Калифорнийский технологический институт, где в 1946 г. получил степень доктора философии. Во время подготовки докторской диссертации он сотрудничал с Геологической службой, а с 1951 г. работает там постоянно.

John E. Donelson, Mervyn J. Turner (ДЖОН Э. ДОНЕЛСОН, МЕРВИН ДЖ. ТЕРНЕР «Как трипаносома меняет свою оболочку»). Донелсон — профессор биохимии в Университете шт. Айова. В этом университете ему была присвоена, степень бакалавра. Степень доктора философии в области биохимии получил в Корнеллском университете, после чего работал в Кембриджском и Станфордском университетах; сотрудником Университета шт. Айова стал в 1974 г. Тропическими паразитарными инфекциями Донелсон заинтересовался во время работы в Гане, где он служил по окончании колледжа. Этот интерес привел его в 1980 г. в Кению: в качестве приглашенного исследователя он работал в Международной лаборатории по изучению болезней животных. В настоящее время Донелсон — стипендиат фонда Барроус-Уэллком. Тернер окончил Университет в Шеффилде, в 1970 г. получил там степень доктора философии в области органической химии. Интересуется биохимией мембранных белков; по этой теме с 1971 по 1974 г. работал в Гарвардском университете, с 1974 по 1977 г. в больнице ко-

ролевы Виктории в Лондоне. В 1977 г. стал сотрудником Института Молтено (отдел биохимической паразитологии Совета медицинских исследований в Кембридже).

Bradley E. Schaefer (БРЭДЛИ Е. ШАФЕР «Источники космических гамма-всплесков») — научный сотрудник Лаборатории астрофизики высоких энергий при Годдардовском центре космических полетов в Гринбелте (шт. Мэриленд). Степени бакалавра, магистра и доктора философии в области физики (1983 г.) получил в Массачусетском технологическом институте. Изучает также катаклизмические переменные звезды и историю древней китайской астрономии.

Bernard H. Lavenda (БЕРНАРД Х. ЛАВЕНДА «Броуновское движение») — профессор химической физики Университета г. Камерино (Италия). Изучал химию в Университете Кларка (шт. Массачусетс), Вейцмановском научном институте в Израиле и в Свободном университете в Брюсселе, где в 1970 г. получил докторскую степень. В течение двух лет находился в постдокторантуре Еврейского университета в Иерусалиме, затем преподавал в Пизанском и Неапольском университетах. С 1980 г. — сотрудник Университета г. Камерино.

T. H. Clutton-Brock (Т. Г. КЛАТТОН-БРОК «Успех размножения у благородного оленя») — сотрудник кафедры зоологии Кембриджского университета, член Королевского общества. Учился в Кембридже, в 1972 г. получил там докторскую степень за изучение экологии и системы размножения обезьян *Colobus*. Год вел исследовательскую работу в Оксфордском университете, три года преподавал этологию в Суссекском университете, после чего вернулся в Кембридж, где стал работать в Королевском колледже в составе группы, занимавшейся вопросами социального поведения животных. В 1980 г. организовал и возглавил исследовательскую группу, предмет изучения которой — крупные животные.

Eli Brookner (ЭЛИ БРУКНЕР «Радиолокационные станции с фазированными антенными решетками») — ученый-консультант отделения по оборудованию в Уэйлэнде (шт. Массачусетс) фирмы Raytheon Company. В прошлом Брукнер занимался изучением проблемы шумов в микроволновом диапазоне, а также вопросами разработки радиолокаторов дальнего

действия. Брукнер окончил аспирантуру Колумбийского университета, в котором ему были присвоены научные степени магистра в 1955 г. и доктора в 1962 г. Перейдя на работу в фирму Raytheon, Брукнер принял участие в разработке ряда радиолокационных станций военного назначения и в изучении радиолокационных систем космического базирования.

Gerald E. Loeb (ДЖЕРАЛД Э. ЛЁБ «Функциональное протезирование уха») — старший научный сотрудник лаборатории нервной регуляции в Национальном институте неврологических расстройств и инсульта (НИНРИ) в г. Бетесда. Лёб получил степень бакалавра в области биологии человека в 1969 г. в Университете Джонса Гопкинса. Степень доктора медицины была ему присвоена в 1972 г. в Медицинской школе того же университета, где он работал в составе исследовательской группы на кафедре биофизики; затем занимался изучением биоматериалов. В качестве приглашенного исследователя принимал участие в разработке искусственного глаза в Университете шт. Юта. В 1972—1973 гг. состоял в интернатуре по хирургии в Медицинском колледже Аризонского университета, после чего стал сотрудником НИНРИ. Лёб также президент компании Biomed Concepts, Ltd.

Oleg D. Sherby, Jeffrey Wadsworth (ОЛЕГ Д. ШЕРБИ, ДЖЕФФРИ УОДСВОРТ «Дамасская сталь»). Шерби — профессор материаловедения и технологии материалов Станфордского университета. Окончил Калифорнийский университет в Беркли в 1956 г. После семи лет работы металлургом-исследователем в Институте технических исследований в Беркли уехал на два года в Англию, где сначала занимался исследованиями в Шеффилдском университете, а затем был представителем по научным связям от Научно-исследовательского управления ВМС США. Стоит в штате Станфордского университета с 1958 г. Основные направления исследований Шерби — явления диффузии и механические свойства материалов. Уодсворт — научный сотрудник Исследовательской лаборатории компании Локхид в Пало-Альто. Окончил Шеффилдский университет. В 1976 г. был принят научным сотрудником в Станфордский университет. В лаборатории компании Локхид, где он работает с 1980 г., Уодсворт занимается разработкой сверхпластичных алюминиевых сплавов и жаростойких металлов.

Предсказание сильнейшего землетрясения в Калифорнии

*Вероятность того, что в ближайшие 30 лет
на участке разлома Сан-Андреас произойдет землетрясение
с магнитудой 8, оценивается в 50%.*

*Для точного прогноза необходимо лучше разобраться
в причинах, вызывающих подземные толчки*

РОБЕРТ Л. УЭССОН, РОБЕРТ Э. УОЛЛЕС

УСПЕШНОЕ предсказание извержения вулкана Сент-Хеленс (май 1980 г.) ознаменовало в США вступление наук о Земле в эру геологии реального времени: геологические процессы стали изучать непосредственно в ходе их развития, иной раз минута за минутой. Само по себе это предсказание было далеко от совершенства: действительно, оно не содержало краткосрочного предупреждения. Однако, по совету ученых, представители правительства США, администрации штатов и местные власти провели ряд мероприятий, включая закрытие лесных районов вокруг вулкана, что, несомненно, способствовало уменьшению числа жертв и материального ущерба от извержения.

В Калифорнии главное геологическое явление, в отношении которого наиболее важен успешный прогноз, — т.е. явление, самые разрушительные последствия которого можно было бы предотвратить, — это катастрофическое землетрясение. С точки зрения геологов, Калифорния — зона высокой сейсмичности: она представляет собой часть «Огненного кольца» — пояса землетрясений и вулканической деятельности вокруг Тихого океана. Разлом Сан-Андреас, пересекающий Калифорнию с севера на юг, — один из самых известных в мире районов проявления сейсмической активности. Вместе с тем Калифорния — это самый населенный штат в США и один из центров промышленного производства, ориентированного на жизненно важные для всей страны технологические разработки. Здесь сосредоточено примерно 10% населения и промышленных ресурсов США, а 85% этих ресурсов (т.е. 8,5% национального богатства страны) находятся на территории 21 графства, кото-

рые вытянуты узкой лентой вдоль побережья Тихого океана и целиком умещаются в границах сейсмической области разлома Сан-Андреас. Только в одном из них — в графстве Санта-Клара (северная Калифорния) — производится четвертая часть всех американских полупроводников. При землетрясении 1906 г., опустошившем Сан-Франциско, графство Санта-Клара понесло тяжелый ущерб.

Незадолго до извержения вулкана Сент-Хеленс Совет национальной безопасности США собрал группу исследователей и представителей различных ведомств, включая Геологическую службу, и поручил этой группе предсказать последствия гипотетического землетрясения в Калифорнии. Группа рассмотрела возможность разрушительных подземных толчков нескольких типов, в том числе вероятность землетрясения, подобного сильнейшему* толчку 1857 г., возникшему на южном участке разлома Сан-Андреас. Повторяемость для такого сейсмического события оценивается в настоящее время в 140 лет; вероятность того, что следующий подобный толчок произойдет в ближайшие 30 лет, оценивается примерно в 50%.

Согласно результатам проведенного анализа, подземный толчок станет причиной гибели от 3000 до 13 000 человек. Меньшее из этих чисел относится к случаю, если землетрясение произойдет в половине третьего ночи. Это оценка основана на мировой статистике наблюдений по воздействию сейсмических сотрясений на дома, подобные тем, что наиболее распространены в Калифорнии. Короче говоря, жители Калифорнии находят-

ся в наибольшей безопасности, когда спят дома в своих постелях. Деревянные односемейные дома рамной конструкции очень устойчивы к сейсмическим толчкам. Наивысшая оценка числа жертв относится к случаю, если землетрясение произойдет в будний день в 16 ч 30 мин, когда многие жители будут на работе или на улицах. Причина опять же связывается с особенностями архитектуры. Старые каменные здания, не укрепленные стальным каркасом, обрушатся, очевидно, даже при умеренном сотрясении. При землетрясении в г. Коалинга (в центральной Калифорнии, примерно на полпути между Лос-Анджелесом и Сан-Франциско. — *Перев.*), случившемся в мае 1983 г., 30 из 40 имевшихся в городе каменных домов постройки до 1930 г. разрушились или частично, или полностью. Такие здания характерны для центральных районов практически всех — больших и малых — старых городов Калифорнии: в одном только Лос-Анджелесе их около 8 тыс. Постепенно они заменяются новыми постройками, особенно в Лос-Анджелесе, но значительное число таких домов сохранится еще многие годы.

ПРЕДСКАЗАНИЕ землетрясений — одна из острейших проблем фундаментальной науки. Большие исследовательские работы по этой проблеме ведутся в Китае, Японии и СССР. В США ежегодно тратится около 17 млн. долл. на исследования по прогнозу; еще 43 млн. долл. идет на выполнение научной программы, включающей работы по оценке сейсмической опасности, по проектированию сейсмостойких зданий и по изучению главных причин землетрясений. Прогресс в деле краткосрочного прогноза в последние годы осуществляется медлен-

* Сильнейшими (great) землетрясениями чаще всего называют землетрясения с магнитудой около 8 и выше. — *Прим. перев.*

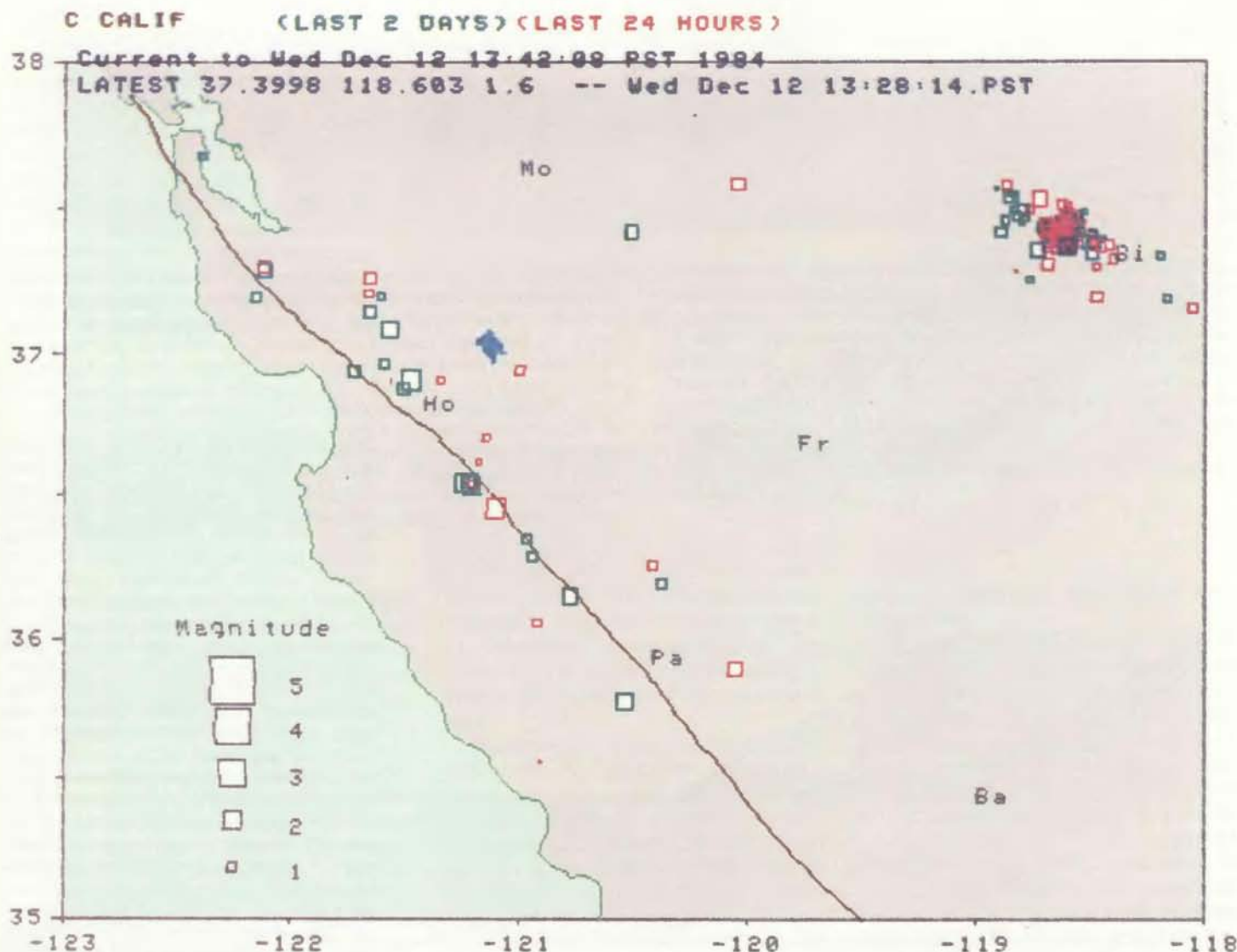
нее, чем ожидалось десятилетие назад, когда появились сообщения о первых успехах, достигнутых советскими и американскими сейсмологами. В то же время значительным был прогресс в области долгосрочного прогноза и в понимании того, как возникают землетрясения. Теперь, больше чем когда-либо, исследователи хотят, опираясь на фундаментальные знания о сейсмическом процессе, научиться интерпретировать сигналы о накоплении упругой деформации в земных недрах.

Первые шаги в разработке совре-

менных представлений были сделаны в начале нашего столетия, когда выяснилось, что разлом Сан-Андреас является причиной сильнейших землетрясений: с ним был связан подземный толчок 1906 г., потрясший Сан-Франциско. Незадолго до этой катастрофы Г. Рид из Университета Джона Гопкинса высказал предположение, что землетрясения возникают в результате резкого смещения и отдачи блоков земной коры, соприкасающихся по разлому. Иначе говоря, он предположил, что блоки коры могут под действием упругих напряжений

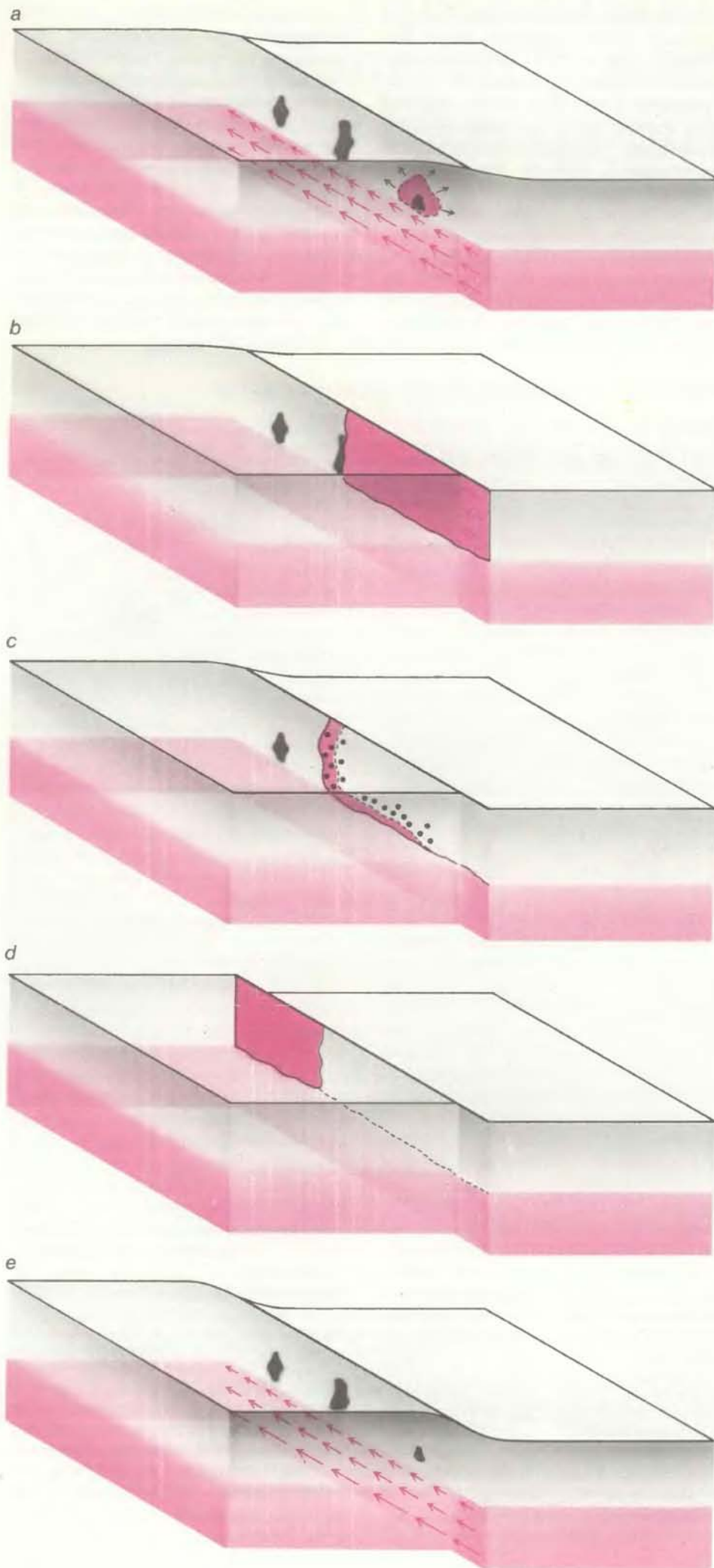
изгибаться, а затем резко, щелчком, распрямляться, высвобождая при этом энергию упругой деформации.

Модель Рида, которая используется в настоящее время в сочетании с теорией тектоники плит, разработанной в 1960-х годах, служит основой для оценки того, где и когда можно ожидать крупное землетрясение. В теории тектоники плит большинство сильных землетрясений связывается с резкими подвижками и разрушением пород вдоль разломов, образующих границы крупнейших плит земной коры. Согласно этой теории, разлом



СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ в центральной Калифорнии за двое суток до 13 ч 42 м 08 с местного времени 12 декабря 1984 г. изображена компьютером на схематической карте района. Подземные толчки воспринимаются сейсмографами, размещенными по всему штату; сигналы от них поступают в вычислительный центр Геологической службы США в Менло-Парке. Компьютер определяет магнитуду и место землетрясения; запись обновляется через каждые несколько секунд. Сан-Франциско находится в левом верхнем углу карты; он располагается, как и Холлистер (Ho) и Паркфилд (Pa), на разломе Сан-Андреас (темная линия). Модесто (Mo), Фресно (Fr) и Бейкерсфилд (Ba) находятся в средней части территории, дальше от океана. Скопление

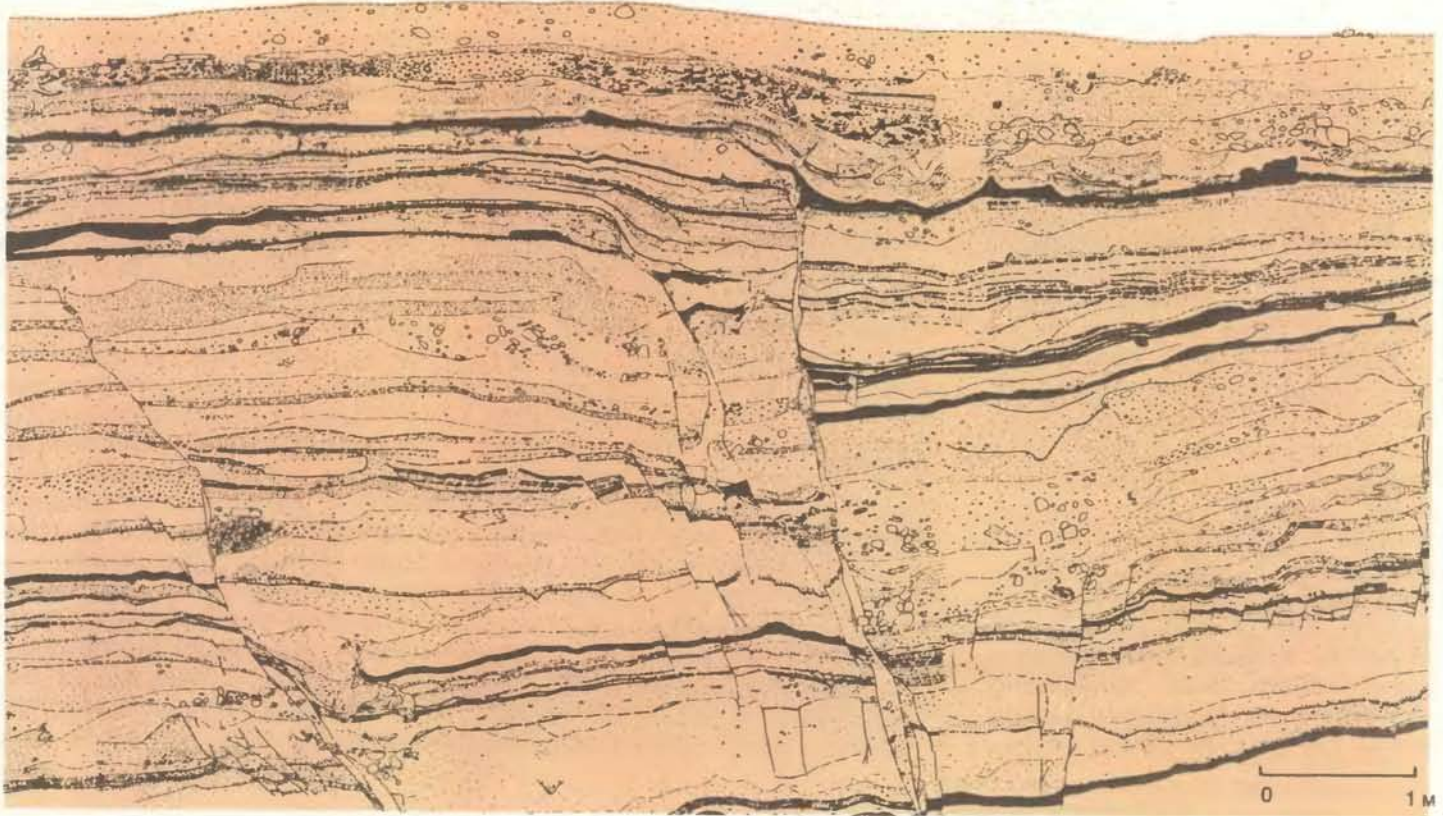
землетрясений (в правом верхнем углу схемы) отражает всплеск сейсмической активности, начавшийся 23 ноября 1984 г. землетрясением с магнитудой 5,7 в районе Бишопа (Bi). Землетрясение с магнитудой 3 ощущается людьми только в окрестности эпицентра; толчок с магнитудой 5 может вызвать локальные разрушения; землетрясение с магнитудой 7 ощущается на площади порядка миллиона квадратных километров и может причинить большой ущерб; землетрясения с магнитудой 8 называют «сильнейшими». Возрастание магнитуды на 1 соответствует 10-кратному усилению сотрясений и 30-кратному увеличению энергии.



Сан-Андреас представляет собой один из отрезков границы между Тихоокеанской и Северо-Американской плитами. Плиты скользят относительно друг друга; в частности, дно Тихого океана движется относительно Северной Америки на северо-запад. В среднем смещение по разлому Сан-Андреас происходит со скоростью 3,5 см/год. Из этого следует, что резкие подвижки по разлому в будущем неизбежно приведут к потенциально катастрофическим землетрясениям.

Как именно укладываются землетрясения в схему теории тектоники плит? Относительное проскальзывание двух плит на глубинах более 10—12 км происходит преимущественно без сейсмических возмущений. Горные породы на этих глубинах разогреты до такой степени, что находятся в вязком состоянии, т.е. могут деформироваться непрерывно, без скачков. (Так тянется замазка при медленной деформации оконной рамы.) Ближе к поверхности породы коры оказываются хрупкими, так что проскальзывание вдоль ослабленной зоны, в частности по разлому, зависит от силы трения. Резкое проскальзывание блоков верхней коры и есть

СЕЙСМИЧЕСКИЙ ЦИКЛ в понятиях теории тектоники плит. Землетрясение возникает, как правило, в результате резкой подвижки по разлому, вдоль которого две крупные плиты земной коры смещаются одна относительно другой. До момента этой подвижки плиты на глубинах более 10—12 км перемещаются медленно и спокойно; породы коры нагреты там до такой степени, что находятся в вязком состоянии (цветные стрелки). Одновременно на меньших глубинах, где кора холодная и, значит, хрупкая, на участках шероховатости, или замкнутых отрезках разлома (выделено черным), напряжение накапливается. В момент подвижки (а) сцепление на участке шероховатости преодолевается и область разрушения распространяется (выделено красным) через верхнюю, замкнутую часть разлома. Примерно через 100 с быстрое скольжение по разлому прекращается (b). В течение нескольких следующих месяцев происходят афтершоки (черные точки). В верхних горизонтах может также отмечаться дополнительное медленное скольжение. Впоследствии, скажем, лет через 50—100, резкая подвижка и крупное землетрясение могут произойти на соседнем отрезке разлома (d). Наконец, спустя, быть может, два столетия весь цикл возобновляется: смещение глубоких горизонтов коры создает новые напряжения в верхней хрупкой коре (e).



ТРАНШЕЯ у реки Паллет-Крик на разломе Сан-Андреас в 55 км к северу от Лос-Анджелеса. Раскопки выполнены сотрудником Калифорнийского технологического института К. Си. В стенке траншеи обнажены нарушенные слои песка (точки), гравия (*неправильные штрихи*) и торфа (*закрашено черным*). Нарушения в породах отражают последовательные эпизоды разрывообразования, связанные с древними землетрясениями; время образования торфяников, определяемое радиоуглеродным методом, позволяет судить о возрасте землетрясений. Самый верхний слой торфа не нарушен; он перекрывает разрывы более раннего происхождения. Среди других проявлений подвижек, со-

ответствующих землетрясениям разного времени, выделяются складкообразование и деформация осадков, которые в момент землетрясения были еще мягкими. В некоторых местах песчаный материал по линии разлома свидетельствует о разжижении песка под действием землетрясения. Работа Си, которая относится к категории палеосейсмологических исследований, способствует успешному прогнозу землетрясений, позволяя оценивать их повторяемость для значительно более длительного времени, чем это возможно при использовании любых исторических данных.

причина землетрясений. Такое проскальзывание может начаться с разрушения (вспарывания) особенно прочного отрезка разлома (где велико трение), называемого геологами участком шероховатости.

КАК ЖЕ все-таки предсказать землетрясение? Начало долгосрочному прогнозу было положено, когда С. А. Федотов из Института физики Земли АН СССР и К. Моги из Института исследования землетрясений Токийского университета нанесли на карты зоны активных тектонических нарушений (т.е. области, где происходит проскальзывание блоков коры) для сильнейших землетрясений вдоль западной окраины Тихого океана. Положение этих зон устанавливается по пространственному распределению афтершоков (последующих толчков каждого сильного землетрясения). Как Федотов, так и Моги отметили, что выделенные ими зоны примыкают друг к другу, не перекрываясь, и что за достаточно большое время

(одно-два столетия) эти зоны должны заполнить всю Тихоокеанскую окраину. Иными словами, вдоль всей границы плиты должны произойти резкие смещения блоков коры по разрывам.

Сотрудники Колумбийского университета Л. Сайкс, Дж. Келлергер и У. Мак-Кээн использовали эти выводы для изучения землетрясений, возникающих на границах крупных плит во всем мире. Несколько участков таких границ привлекли особое внимание. Каждый из них известен как место сильнейшего землетрясения, отмеченного более века назад, после которого не было подземных толчков, которые соответствовали бы значительным разрывным подвижкам вдоль границы плит. Сайкс и его коллеги назвали такие участки «сейсмическими дырами» и указали на них как на наиболее вероятные места возникновения сильнейших землетрясений в ближайшие несколько десятилетий. В отношении нескольких таких дыр предсказание уже оправдалось: там про-

изошли подвижки, вызвавшие землетрясения.

Разлом Сан-Андреас в южной Калифорнии — крупная сейсмическая дыра. Это не значит, однако, что разлом по всей своей длине одинаково реагирует на смещение плит. Не следует также считать, что выделение сейсмических дыр является единственным способом долгосрочного прогноза землетрясений. На одних отрезках разлома Сан-Андреас (например, в центральной Калифорнии) смещение происходит в результате медленного пластического течения (ползучести, или крипа). В других местах энергия упругой деформации, накопленная в зоне разлома, высвобождается за счет характерных скачкообразных подвижек величиной не более нескольких сантиметров. Есть и такие участки, где скачкообразная составляющая смещения равна 7—10 м. Со смещениями последнего типа связаны сильнейшие землетрясения 1857 и 1906 гг.

Осредненная по достаточно боль-

шому периоду времени сумма смещений всех видов: медленного асейсмического крипа по разлому, скачкообразных смещений, сопровождающих землетрясения, и неупругой деформации типа складкообразования в коре, — должна равняться общей величине смещения между двумя плитами. Из этого совершенно естественно вытекает идея долгосрочного прогноза землетрясений, основанная на том, что можно было бы назвать балансом смещения. В 1970 г. один из авторов (Уоллес) объединил теорию упругой отдачи Рида и данные о скорости проскальзывания по разлому, полученные из анализа смещения геологических объектов на обоих крыльях разлома Сан-Андреас за последние 20 млн. лет. Результатом стал долгосрочный прогноз, который правильнее, быть может, называть указанием на потенциальную опасность землетрясений: было установлено, что крупные землетрясения происходят на том или ином участке разлома

Сан-Андреас с интервалом от 50 до 200 лет.

ВПОСЛЕДНИЕ годы появились другие средства для долгосрочного прогноза; новые методы геологических наблюдений создали целую науку — палеосейсмологию. В этих методах сочетаются детальное изучение форм рельефа в зонах разломов, анализ деформации осадочных слоев, наблюдаемой в стенках траншей, прорытых поперек активных разломов, и определение возраста углистого материала из осадочных отложений. (Последнее выполняется путем радиологических измерений концентрации различных изотопов углерода.) Применение указанных методов позволило установить приблизительное время возникновения в прошлом крупных землетрясений и оценить их относительную энергию; таким образом, стало возможным определять повторяемость землетрясений на базе большего отрезка времени, чем при

использовании любых исторических данных.

Наиболее полные сведения о прошлых землетрясениях получены на сегодняшний день для участка разлома Сан-Андреас в районе речки Паллет-Крик в 55 км к северу от Лос-Анджелеса. Эту работу выполнил К. Си из Калифорнийского технологического института. На участке Паллет-Крик последовательные эпизоды смещения по разлому Сан-Андреас многократно нарушали осадочные слои, которыми сложено русло речки, и в то же время преграждали сток, в результате чего нарушенные отложения покрывались новым осадочным материалом. В итоге замедленный сток и повторяющиеся разрывные смещения сформировали в торфяниках, алевролитах и песках сложную систему пересекающихся трещин различного возраста. В середине 1970-х годов Си провел в этом районе раскопки, анализируя каждое смещение в породах. Из слоев торфяников был



СЕТЬ ЛАЗЕРНЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ образует систему треугольников, стороны которых пересекают в разных направлениях разлом Сан-Андреас в южной Калифорнии. Для каждого звена этой сети регулярно измеряется время распространения по нему лазерного луча и затем определяются длины базовых линий, имеющих среднюю протяженность до 30 км. Наблюдаемые изменения длин этих линий

позволяют исследователям говорить, что в коре накапливаются напряжения, которые могут привести к землетрясению. Измерения правосторонней сдвиговой деформации — упругого изгиба, отражающего процесс смещения по разлому Сан-Андреас (графики в правой части рисунка на с. 9), — были выполнены Дж. Савиджем и его коллегами из Геологической службы США. На всех графиках кри-

взят материал для радиоуглеродных определений возраста, что позволило судить о времени образования каждого встреченного разрыва.

Первые исследования, выполненные Си, позволили обнаружить следы по меньшей мере 9 крупных землетрясений за последние 1400 лет. Затем, когда были пройдены новые траншеи, это число увеличилось до 12. Теперь Си считает, что интервал между крупными землетрясениями на отрезке Мохаве (в пределах этого отрезка разлома Сан-Андреас располагается участок Паллет-Крик) составляет от 50 до 300 лет. Согласно материалам Си, средняя повторяемость землетрясений равна 140—150 годам.

Сопоставим данную величину с историей недавних геологических событий в этом районе. Последним сильнейшим землетрясением на отрезке Мохаве разлома Сан-Андреас было землетрясение 1857 г. С тех пор прошло 128 лет — число, угрожающе близкое к среднему интервалу между

толчками, выведенному Си. Установлено также, что скорость накопления упругой деформации на разломе Сан-Андреас составляет 3,5 см/год. Значит, накопившаяся с 1857 г. деформация равна примерно 4,5 м, что может в любое время вызвать землетрясение с магнитудой 7,5 или выше. (Землетрясения с магнитудой 5 и выше считаются потенциально разрушительными. Повышение магнитуды на единицу — например с 5 до 6 — означает 10-кратное усиление колебаний грунта и примерно 30-кратное увеличение энергии подземного толчка.)

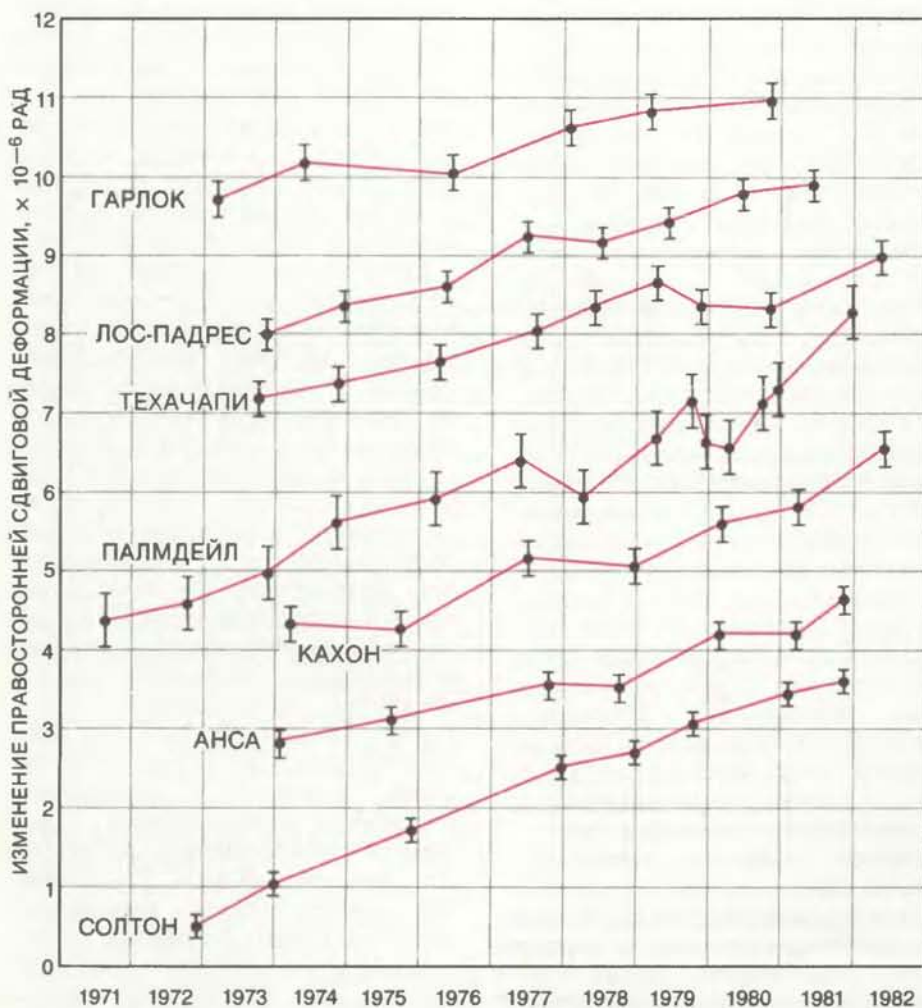
Полученная Си величина средней повторяемости была включена в прогноз, подготовленный Геологической службой для Совета национальной безопасности США. Оценка вероятности землетрясения с магнитудой 8,3 на южном отрезке разлома Сан-Андреас дает величину от 2 до 5% в год, или 50% в ближайшие 20—30 лет.

В северной Калифорнии на разломе Сан-Андреас пока не найден участок,

подходящий для изучения палеосейсмичности, который дал бы столько же информации, как участок Паллет-Крик. Тем не менее для той части разлома Сан-Андреас, которая «сработала» при землетрясении 1906 г., имеющиеся данные позволяют оценить повторяемость землетрясений с магнитудой выше 7,5 в 150—300 лет. После катастрофы 1906 г. в течение 50 лет наблюдалось сейсмическое затишье, но с 1957 г. начали отмечаться землетрясения средней силы; примерно так же обстояло дело в течение нескольких десятилетий перед 1906 г. На этом основании У. Элсуэрт и его коллеги из Геологической службы предполагают, что в течение ближайших 40 лет наиболее вероятная перспектива — это землетрясения с магнитудой 6,5—7, которые в отдельных местах могут вызвать значительные разрушения.

ПРОЦЕССЫ постепенного накопления упругой деформации и ее высвобождения изучены сравнительно хорошо. Процессы же, понимание которых имеет решающее значение для краткосрочного прогноза землетрясений, напротив, во многом еще не ясны. Например, детали того, как вязкое течение пород нижней коры вызывает упругую деформацию в хрупкой верхней коре, изучены плохо. Еще важнее, возможно, то, что до сих пор не выяснено в подробностях, как происходит разрушение и разрывное смещение в хрупких породах коры. Насколько равномерно идет, например, накопление упругой деформации в хрупкой коре? Какое значение надо придавать вариациям скорости накопления напряжений? Что именно возбуждает сейсмический процесс? Действуют ли как спусковой крючок внешние напряжения? Или, быть может, всплеск в накоплении деформации? Или же это некий прогрессирующий процесс усталостного разрушения в породах коры или в самой зоне разлома?

Во всех усилиях по краткосрочному прогнозированию центральное место занимает одна стратегическая линия. Необходимо пронаблюдать, какие геологические явления предшествуют главному толчку землетрясения. Некоторые результаты здесь уже достигнуты. Похоже, что перед многими крупными землетрясениями фоновая сейсмичность района возрастает — постепенно или резко. Самый наглядный пример — рой слабых толчков, отмечавшихся перед Хайчэнским землетрясением 1975 г. в провинции Ляонин на северо-востоке Китая. Эти рои начались примерно за два месяца до главного толчка. Но китайские исследователи еще раньше



вые стремятся вверх, что указывает на накопление напряжений. Отклонения от среднего градиента кривых (особенно ускоренные накопления напряжений) являются возможными предвестниками землетрясения. Горные породы коры не выдерживают сдвиговой деформации, превышающей примерно 10^{-4} радиан (радиан — угол, равный приблизительно 57°); следовательно, сдвиговая деформация, накапливающаяся в коре со скоростью 5×10^{-7} рад/год, соответствует интервалу повторяемости землетрясений порядка 200 лет.

пришли к выводу, что в данном районе должно произойти очень крупное землетрясение. Они основывали свой прогноз на долгосрочных наблюдениях путей миграции подземных толчков: места возникновения землетрясений как бы двигались вдоль пояса длиной несколько сотен километров. Кроме того, некоторые геодезические измерения указывали на то, что упругая деформация накапливается.

Сам район Хайчэна в течение десятилетий до землетрясения 1975 г. испытал только несколько очень слабых толчков. Но 1 февраля 1975 г. рои землетрясений приобрели значительную силу, и обитатели неукрепленных

кирпичных домов были эвакуированы. Поэтому, когда произошел главный толчок (это случилось вечером 4 февраля) и многие дома рухнули, большое число жителей оказалось вне опасности. В противоположность этому перед Таншанским землетрясением, которое произошло спустя примерно полтора года, не было отмечено никаких сколько-нибудь значительных форшоков (предварительных толчков). Число жертв этой катастрофы, согласно официальным сведениям, составило 240 тыс.

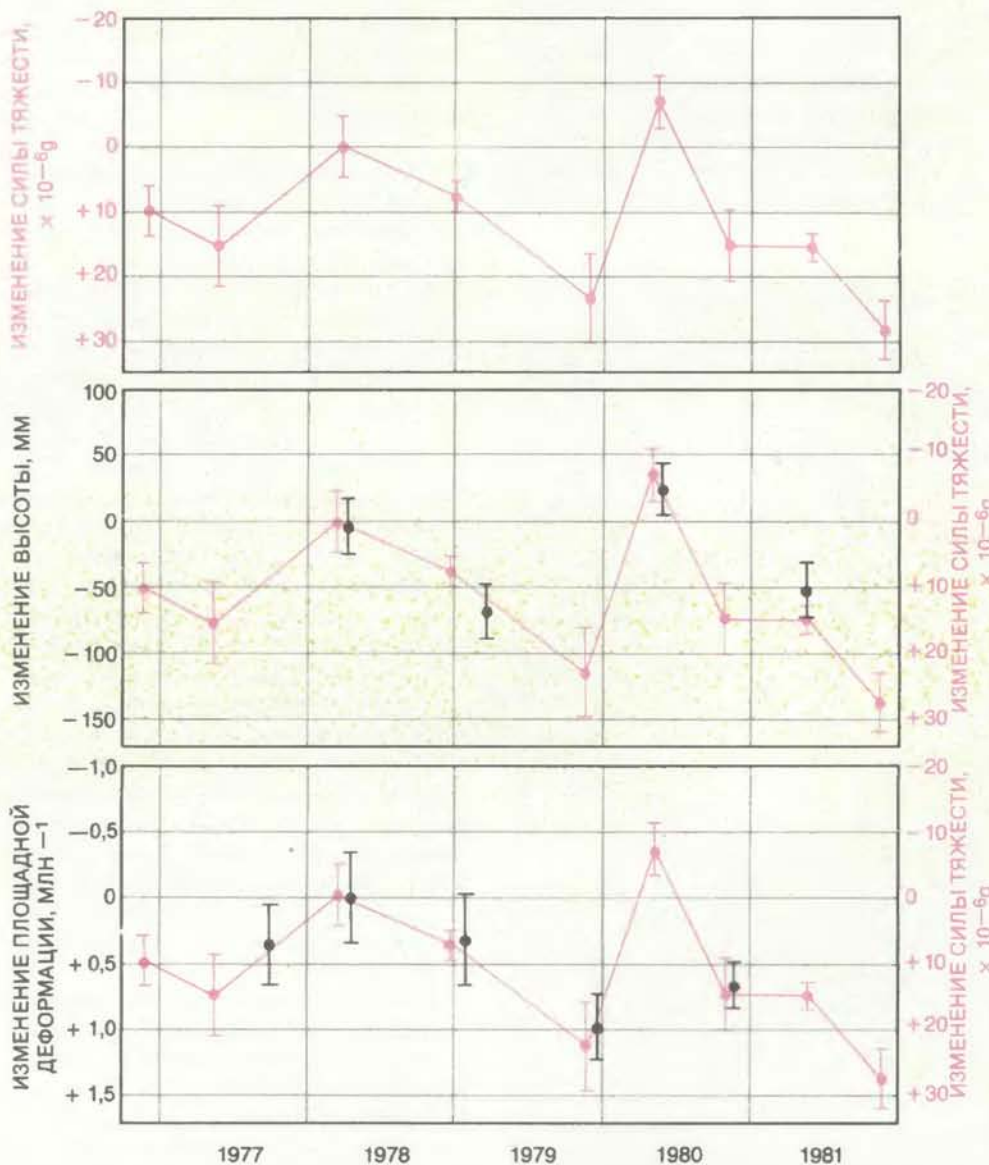
Сейсмичность может нести в себе важное предостережение о будущем крупном землетрясении; однако это

не единственный предвестник. Перед сильными толчками наблюдалась также, хотя и не всегда, ускоренная деформация земной коры. Это явление было замечено, например, перед одним из землетрясений в районе Паркфилла на разломе Сан-Андреас в 1966 г. Лабораторные эксперименты и теоретические модели сейсмического процесса позволяют считать, что ускоренная деформация — ее называют предтолчковым крипом — непрерывный атрибут землетрясений. Суть этого предположения состоит в том, что разрушению пород коры предшествует развитие мелких трещин или ослабленных зон, рост которых переходит затем в катастрофический разрыв. Выделение сейсмических предвестников на фоне постоянно возникающих флуктуаций напряженного состояния земной коры остается главной целью в разработке методов прогноза землетрясений.

АППАРАТУРА, требуемая для слежения за состоянием коры и для выделения аномальных явлений, которые могут предвещать землетрясение, в последнее десятилетие быстро совершенствовалась — как в смысле расширения возможностей, так и в смысле повышения надежности каждого отдельного прибора. Выросло также число введенных в действие приборов, раздвинулись географические рамки покрытой ими площади.

Рабочими инструментами для этих исследований стали недорогие надежные сейсмометрические датчики автономного действия, сконструированные Дж. Итоном и его сотрудниками из Геологической службы. Более 500 таких датчиков, каждый из которых состоит из сейсмометра и необходимой для его работы электронной схемы, образуют в настоящее время наблюдательную сеть, покрывающую всю Калифорнию. По телефонным проводам или по радио они непрерывно передают информацию о сейсмических сигналах в центры регистрации и обработки, находящиеся в Менло-Парке и Пасадене. В 1984 г. они зарегистрировали более 10 тыс. землетрясений. Техническое и программное обеспечение вычислительных комплексов, разработанное Р. Алленом и Дж. Эллисом (также из Геологической службы), позволяет автоматически устанавливать положение, глубину и магнитуду каждого толчка; в отдельные дни компьютерам приходится обрабатывать данные по 1200 толчкам.

Аппаратурное обеспечение включает также несколько сетей лазерных дальномерных устройств. С их помощью производится слежение за



СИЛА ТЯЖЕСТИ, ВЫСОТА МЕСТА И ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ в районе перевала Техон в южной Калифорнии меняются одновременно. На графиках представлены локальное значение ускорения силы тяжести (*вверху*), высота места (*в середине*) и деформация коры, измеряемая по изменению площади поверхности (*внизу*). Экстремумы трех графиков коррелируют между собой; таким образом, можно предполагать, что эти независимые измерения отражают реальный характер флуктуаций в коре, а не просто «шум», присутствующий во всех данных мониторинга земных недр. Вариации параметров такого типа изучаются как возможные сигналы, предвещающие землетрясения. Представленные на этих графиках три группы данных получены Р. Джейкенсом и его сотрудниками из Геологической службы США.

длинами сторон системы треугольников. Изменение какой-либо из этих длин позволяет судить о напряжениях в коре на данном отрезке; изменение площади какого-либо треугольника позволяет, кроме того, оценить объемную деформацию коры. Внося необходимые поправки на оптические свойства атмосферы (для чего производятся измерения температуры воздуха с борта самолета, летящего по линии луча), можно измерять расстояния с погрешностью менее 1 см на 30 км. В последнее время введены в строй несколько лазерных устройств, работающих на двух частотах. Лучи разного цвета имеют различные оптические свойства, поэтому атмосферные вариации можно вычислить непосредственно по разности времени прихода этих лучей. Таким образом эти вариации можно учитывать автоматически. Вертикальная деформация коры отражается в изменении высотных отметок, измеряемом непосредственно с помощью обычных геодезических инструментов или косвенным путем — по изменению локального значения силы тяжести.

Следует сказать, что все эти методы приносят результаты лишь при повторяющихся измерениях. Соответственно они требуют больших затрат времени и средств и дают значения, осредненные по пространству и по времени и отнесенные к одной точке и к одному моменту времени. Поэтому в течение последних 15 лет были затрачены большие усилия, чтобы разработать надежные приборы для непрерывного измерения упругой деформации в конкретном месте земной поверхности. Испытания показали, что земная кора в пределах нескольких метров от поверхности производит настолько много шумов, т.е. случайных помех, что полезные сигналы, связанные с деформацией, выделить невозможно. Среди источников шумов — суточные и сезонные колебания температуры, дожди, флуктуации атмосферного давления и колебания уровня грунтовых вод. Так что надежды, возлагавшиеся ранее на недорогие приборы, которые можно было бы разместить, как сейсмографы, на большой площади, до сих пор не осуществились.

Один из приборов, способных непрерывно измерять деформацию, — проволоочный деформограф. Он состоит из проволоки длиной порядка 30 м, растянутой вдоль трубы, которую укладывают на глубине нескольких метров. На одном конце проволоки укрепляют регистрирующее устройство, отмечающее изменение ее длины. Другой перспективный прибор — скважинный деформограф, ко-

торый сконструировали И. Сакс и его сотрудники из Института Карнеги в Вашингтоне. Это наполненный жидкостью цилиндр, тесно соприкасающийся со стенками глубокой скважины. Количество жидкости, вытесняемой из цилиндра в результате сжатия или расширения горных пород, непрерывно измеряется электронным устройством. В Калифорнии сейчас установлено несколько таких инструментов. Наблюдения за уровнем воды в скважинах и регистрация таких геохимических явлений, как изменение содержания радона в подземных водах, дают в лучшем случае неоднозначные результаты. Геодезические измерения, производимые с помощью спутников, постоянно совершенствуются: вскоре, вероятно, их можно будет использовать для слежения за движением блоков земной коры с точностью, достаточной для работ по прогнозу землетрясений.

ЧТО ЖЕ говорят осуществляемые сейчас наблюдения о современных геологических процессах в Калифорнии? Как они помогают разработке методов краткосрочного прогноза? Обратимся к событиям, имевшим место перед 1980 г. Среди геодезических изменений, отмеченных в это время, особое внимание было обращено на одно обстоятельство: часть территории южной Калифорнии поднималась. Сотрудники Геологической службы США Р. Касл и его коллеги пересмотрели результаты, полученные Национальной геодезической службой США, и другие данные за несколько десятилетий. Исследователи пришли к выводу, что за период с 1960 по 1962 г. район Палмдейла (в 50 км к северу от Лос-Анджелеса) поднялся примерно на 25 см. С 1972 по 1974 г. поднятие увеличилось еще на 15 см. Кроме того, максимум поднятия сместился на 125 км в восток-юго-восточном направлении, а сам участок поднятия распространился на юго-восток, едва не достигнув озера Солтон-Си. Перемещение такого крупного блока коры заставило опасаться, что в этом районе назревает сильнейшее землетрясение.

В других районах земного шара, например в окрестностях Ниигаты в Японии, уже бывали случаи, когда региональное поднятие коры предшествовало землетрясению. Надо отметить также, что Палмдейлское поднятие заняло участок овальной формы, перекрывающий значительный отрезок разлома Сан-Андреас, вспарывание которого вызвало сильнейшее землетрясение 1857 г. Чтобы удостовериться в реальном существовании поднятия, некоторые старые ниве-

лирные ходы (т.е. профильные измерения высоты пунктов), по материалам которых было выявлено Палмдейлское поднятие, были повторены. В результате этого новые нивелирные съемки были выполнены так, чтобы свести к минимуму возможность систематических ошибок. Вероятно, самым убедительным доказательством того, что упругая деформация коры действительно имела место, стала работа Р. Джейкенса и других сотрудников Геологической службы. Они обнаружили тесную корреляцию между тремя независимыми группами измерений: данными о локальных аномалиях гравитационного поля, об изменении высотных отметок и об изменении самого характера деформации коры в южной Калифорнии за пятилетний период.

Другие геодезические данные позволили заключить, что по разлому Сан-Андреас происходит дальнейшая деформация коры, что увеличивает возможность скачкообразного смещения. Измерения горизонтальной деформации, проводившиеся в течение 10 лет сотрудниками Геологической службы Дж. Савиджем и другими, показали, что существует длительная тенденция укорочения коры в меридиональном направлении. В 1978 или 1979 г. деформация изменилась таким образом, что возросли касательные напряжения по простиранию разлома Сан-Андреас. Ясно, что вероятность проскальзывания по разлому стала выше, но величина порогового, критического сопротивления, которое должно быть преодолено, остается пока неизвестной.

В 1979 г. были выполнены также измерения концентрации радона в двух скважинах на северной окраине Лос-Анджелесской впадины, указавшие на заметное повышение содержания этого газа. Режимные определения, которые могли бы показать нормальное изменение концентрации, продолжались не более года, однако отмеченное повышение было расценено как значительное. Начать с того, что, по сообщениям из Советского Союза и из Китайской Народной Республики, возрастание концентрации радона предшествовало нескольким большим землетрясениям. Считают, что газ выделяется из деформируемых пород коры. Взятые в совокупности данные о долгосрочной повторяемости землетрясений и наблюдавшиеся геофизические изменения возбудили в 1980 г. тревогу по поводу того, что южной Калифорнии грозит сильнейшее землетрясение.

Однако предпринимаемые с тех пор попытки дать точный прогноз для южной Калифорнии остаются весьма

неопределенными. Выделено несколько мест, где потенциально могут возникнуть землетрясения. Более частые, но более слабые, чем в 1857 г., подземные толчки стали казаться более вероятными. Определенные отрезки разлома Сан-Андреас никогда в историческое время не испытывали разрывных смещений; накопление упругой деформации на таких участках делает их, возможно, самыми вероятными местами для следующего сильнейшего землетрясения. (Некоторые исследователи считают, что южный отрезок разлома Сан-Андреас — к юго-востоку от Сан-Бернардино — один из наиболее сейсмоопасных районов.) Наконец, в Калифорнии помимо разлома Сан-Андреас имеются и другие крупные разломы. Они также способны производить сильные землетрясения, что, вероятно, и происходит, но со средней повторяемостью более 1000 лет. Некоторые из разломов выходят на поверхность, другие перекрыты поверхностными отложениями. Один из таких разломов, проходящий на глубине примерно 10 км, вызвал в 1983 г. среднее по энергии, но разрушительное землетрясение в Коалинге.

Крупный эксперимент по прогнозу землетрясений проводится в настоящее время А. Линдом и его сотрудниками из Геологической службы на разломе Сан-Андреас в районе Парк-Филда (в центральной Калифорнии). В этом районе землетрясения с магнитудой 5,5—6 возникают приблизительно раз в 22 года, причем последний толчок был в 1966 г. (Единственным исключением на протяжении более чем столетия было землетрясение 1934 г., происшедшее на 10 лет «раньше срока».) Набор установленных на разломе приборов включает проводочные и скважинные деформографы и двухчастотное лазерное дальнометрическое устройство. Ученые надеются точно установить, какие изменения геофизических параметров и какие явления-предвестники возникнут перед следующим землетрясением, которое ожидается в 1988 г., плюс-минус несколько лет. В 1980 г. У. Бэйкэн из Геологической службы предсказал место и магнитуду предполагаемого землетрясения: толчок с магнитудой 6 произошел в апреле прошлого года в районе Морган-Хилла. Никаких предвестников, которые позволили бы дать краткосрочный прогноз времени этого землетрясения, обнаружено не было.

КАК наилучшим образом использовать в интересах общества новые данные о том, почему и когда возникают сильнейшие землетрясения? В

долгосрочной стратегии первое место занимает включение требований сейсмостойкости в практику проектирования и строительства зданий. В Калифорнии строительные нормы утверждаются местными властями, но основываются на рекомендациях, сделанных Ассоциацией инженеров-строителей штата. В этих рекомендациях отражены результаты инженерного анализа, а также эмпирические данные, накопленные в ходе длительных наблюдений за тем, как ведут себя во время землетрясений различные постройки. Таким образом, строительные нормы содержат минимальные стандарты сейсмостойкости. Кроме того, законодательство штата налагает особые условия на проекты школ, больниц и плотин и требует проведения специальных изысканий при строительстве зданий вблизи активных разломов. Крупные проекты, такие, как проекты высотных зданий в Лос-Анджелесе и Сан-Франциско, а также специальные проекты, касающиеся, например, строительства атомных электростанций, подвергаются особенно тщательной проверке. На другом конце шкалы «жесткости» требований находятся односемейные деревянные дома рамной конструкции, которые в большинстве своем устойчивы к сейсмическим воздействиям.

Вместе с тем архитектурные моды, равно как и строительные материалы и методы строительства, меняются, поэтому в любое время имеется большое число уже построенных зданий, не удовлетворяющих последним требованиям к конструкции или качеству строительства. Что же касается домов среднего размера, то они часто строятся с соблюдением только минимальных инженерных требований без обеспечения необходимой сейсмостойкости. Такие дома составляют большой процент в общем списке построек в любом населенном пункте. Отметим далее, что решающее значение имеет точность, с которой проекты воплощаются в жизнь, а именно контроль качества и внимание к таким «мелочам», как расположение стальной арматуры и прочность сварки. Между тем точность и качество иногда приносятся в жертву желанию ускорить строительство или снизить расходы.

Во многих общинах Калифорнии осуществляются планы землепользования, нацеленные на то, чтобы свести к минимуму потенциальный ущерб от землетрясений. Крайне неблагоприятно сооружать здания, в которых будут находиться люди, поперек линии разлома или на оползневом склоне, который может внезапно

прийти в движение при подземном толчке. Использование таких участков для размещения парков, дорог и других незастроенных общественных территорий обеспечивает большую безопасность для жителей.

Краткосрочный прогноз землетрясений мог бы повысить уровень безопасности, особенно для людей, живущих или работающих в зданиях, которые не удовлетворяют действующим правилам сейсмостойкости, а также для людей, находящихся вблизи сооружений, повреждение которых повлечет потенциальную опасность. Среди простых мер, которые можно было бы предпринять, имея краткосрочный прогноз, — эвакуация людей из опасных зданий (не в масштабах целых городов) на несколько часов или суток, выезд машин скорой помощи и пожарных машин из гаражей и вызов необходимого персонала на специальное дежурство. На атомных электростанциях дополнительные меры предосторожности могут включать в себя как специальные учения персонала и планирование действий на случай стихийных бедствий, так и более дорогостоящие мероприятия, такие, как снижение мощности и даже временная остановка электростанции. Подобные возможности имеются на многих производств. Просто убрав с полок хрупкий инвентарь, — скажем, электронное оборудование, химикалии и медикаменты, — можно в значительной мере уменьшить потери.

По решению законодательных органов шт. Калифорния и благодаря финансированию экспериментальных исследований со стороны федерального правительства и администрации штата в 1980 г. была создана организация под названием Проект готовности к землетрясениям в южной Калифорнии. Эта организация планирует эффективное использование прогнозов для уменьшения социального и экономического воздействия землетрясений, мероприятия на случай непредвиденного подземного толчка и восстановительные работы после землетрясений. Вместе с тем в Калифорнии совершенствуется административный механизм, организующий выпуск предупреждений о возможности землетрясений. В масштабе всей страны ответственность за выпуск сообщений об угрозе стихийных бедствий геологической природы лежит на директоре Геологической службы США, который работает в тесном сотрудничестве со своим партнером на уровне штата — руководителем Калифорнийского управления горных работ и геологии. Комиссии ученых — специалистов по наукам о Земле — как штатного, так и фе-

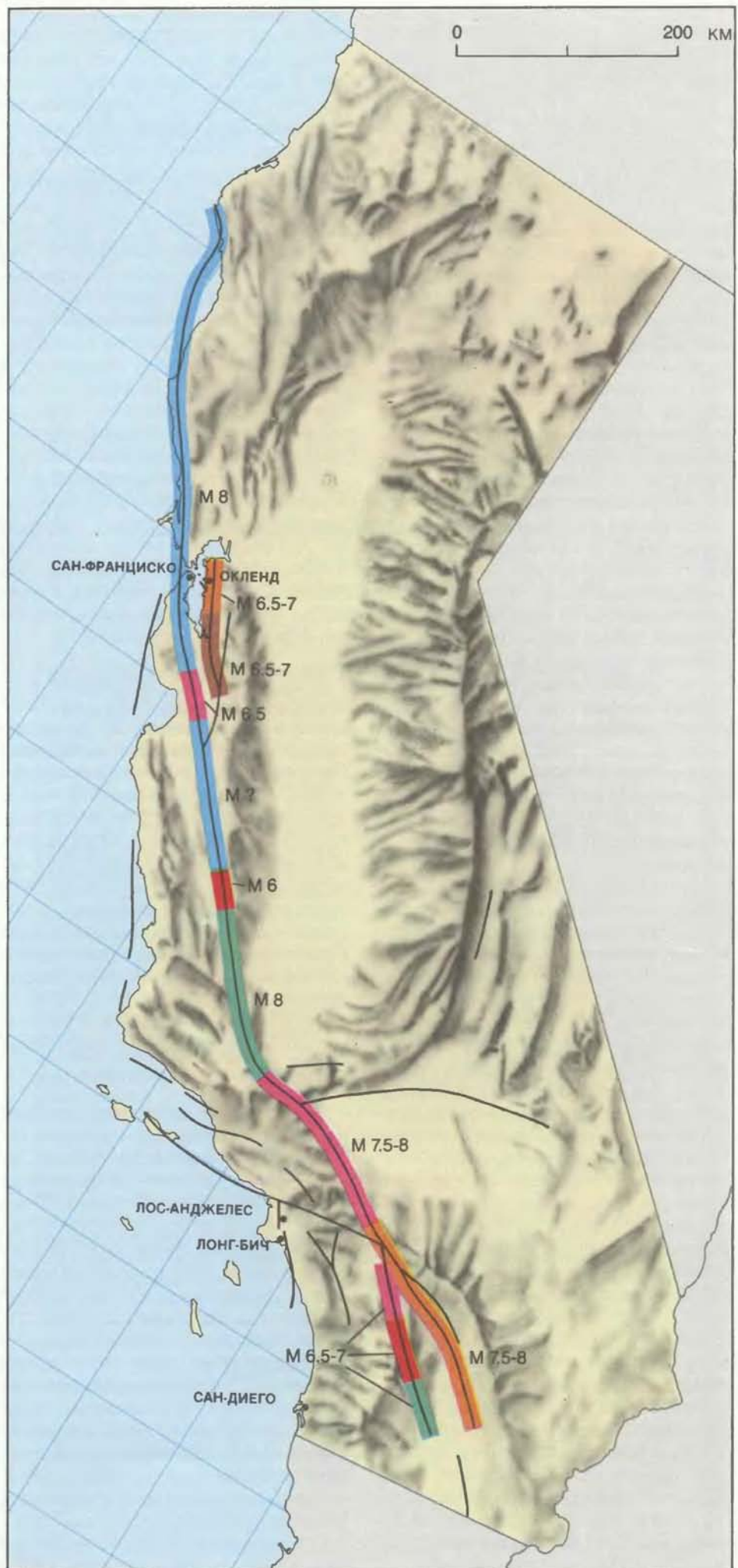
дерального уровня, призваны помогать в оценке научной обоснованности того или иного прогноза.

Ответственность за действия, предпринимаемые по получении предупреждающего сообщения (или в случае самого землетрясения), лежит на Федеральном ведомстве по чрезвычайным мероприятиям и на Управлении экстренных служб штата. До сих пор Геологическая служба выпустила два официальных бюллетеня об ожидаемых землетрясениях (в форме рекомендаций): один — об угрозе сильнейшего землетрясения в южной Калифорнии, другой — о среднем по магнитуде, но потенциально разрушительном землетрясении в районе Маммот-Лейкс в восточной Калифорнии. После выхода второго бюллетеня действительно произошел ряд землетрясений с магнитудой 5—6. В ряде случаев также рассматривались (как на уровне штата, так и федеральными органами) геофизические и геологические аномалии, предположительно указывающие на близящееся землетрясение, однако они не были признаны достаточным основанием для выпуска экстренного предупреждения.

СПЕЦИАЛИСТЫ по наукам о Земле суверенно доказывают свою способность делать долгосрочные предсказания вероятности землетрясений.



ВЕРОЯТНОСТЬ землетрясения на разломе Сан-Андреас в ближайшие 30 лет оценена сотрудниками Геологической службы А. Линдом и его коллегами. Эта вероятность различна для разных отрезков разлома, так как геологическая обстановка вдоль разлома неодинакова. Некоторые отрезки не следуют общему движению Тихоокеанской плиты относительно Северо-Американской; в этих местах опасность высвобождения упругой деформации коры в виде крупного землетрясения считается наибольшей. На других отрезках происходит «крип», на третьих деформация ослабляется за счет землетрясений умеренной силы. Все предсказания относятся к подземным толчкам, связанным с резкими подвижками на данном отрезке разлома. Каждый такой толчок имеет характерную магнитуду (М).



Следующими шагами в этом направлении будут исследования по разработке интегрированных систем, включающих геофизические измерения, быстрый автоматизированный сбор и анализ данных, а также приложение результатов такого анализа к расшифровке сложного характера деформации горных пород. Превращение долгосрочных предсказаний в краткосрочный прогноз и основанные на нем предупреждения об опасности потребуют решения трудных проблем. Так, например, долгосрочные данные указывают на то, что в южной Калифорнии неминуемо должно произойти сильное землетрясение. Тем не менее короткопериодные вариации геофизических параметров, наблюдаемые в южной Калифорнии в настоящее время, остаются необъясненными. Следует ли считать такие вариации предвестниками землетрясения или же это нормальные флуктуации в коре? У нас еще нет достаточного опыта для того, чтобы дать определенный ответ. Многие ученые крайне озабочены тем, как сообщать о своих наблюдениях, не возбуждая ненужной тревоги. В Китае, где некоторые предсказания землетрясений оказались верными, неоднократно были и ложные прогнозы. Возможно, некоторые из вариаций, наблюдаемых сегодня в Калифорнии, были бы расценены как достаточное основание для выпуска краткосрочного предупреждения, если бы они имели место в Китае.

Что будут делать ученые, если они обнаружат одновременно аномалии трех или четырех различных типов? Среди них могут быть последовательность слабых или умеренных землетрясений на спокойном до того отрезке разлома Сан-Андреас и возникновение криповых смещений по разлому в период ускоренного накопления горизонтальной упругой деформации. Вполне возможно, что специалисты будут возражать против объявления предупреждения о землетрясении: цена ложной тревоги крайне высока. Может оказаться также, что жители с неохотой будут реагировать на предупреждение. (Такое нежелание прислушаться к прогнозу проявилось перед извержением вулкана Сент-Хеленс, хотя некоторые его признаки были совершенно очевидны.) Тем не менее потенциальная опасность большого ущерба от ожидаемого нового сильнейшего землетрясения в Калифорнии диктует необходимость использовать все пригодные подходы к предсказанию этого события и приложить все усилия к тому, чтобы такое предсказание не застало врасплох. Вот в каких муках рождается геология реального времени.

SCIENTIFIC AMERICAN

ФЕВРАЛЬ 1935 г. Использование спеченных карбидов для изготовления плашек, резцов и трущихся деталей механизмов ежегодно дает экономии в несколько миллионов долларов. Массовое применение этих химических соединений, обладающих твердостью, близкой к твердости алмаза, привело к настоящему перевороту в области механической обработки металлов — штамповке, волочении, резании — благодаря появившейся возможности существенно повысить скорость технологических операций и одновременно улучшить качество выпускаемой продукции. Новые материалы представляют собой спеченные вместе частицы карбидов вольфрама, тантала, титана и молибдена, а в качестве связующих металлов используют кобальт и иногда никель.

В прошлом году федеральная корпорация Tennessee Valley Authority провела археологические исследования на месте строительства плотины Норриса и Уилера. Раскопки проводились с целью получения данных о древних поселениях в этом районе. Археологи обнаружили 40 насыпных холмов, каждый из которых располагается на месте древнего индейского поселения. Судя по находкам, центральное место на каждом холме занимало главное строение общественного назначения, а возможно, храм. Длина его составляла 12—18 м, а высота — 9—10 м. Вблизи Карвилла раскопано древнее укрепленное поселение.

В наше время практически каждый предмет, создаваемый человеком, несет на себе отпечаток современной науки. Что же касается архитектурных сооружений, то они, пожалуй, не испытывают влияния науки. Еще совсем недавно построенные здания мало чем отличаются от тех, что создавались древними жителями города-государства Ур, впервые разработавшими принципы сооружения арок и куполов. Сейчас наметилась другая тенденция: современная архитектура активно использует новейшие технические достижения, такие как стальные каркасы и лифты, которые позволяют возводить небоскребы. Многочисленные исследования проведены в области создания монолитных бетонных сооружений. Немало говорят и о применении в строительстве сталь-

ных конструкций и блоков из стекла. Пожалуй, одно из важнейших новшеств, влияние которого на конструкцию зданий следует серьезно изучать, — это кондиционирование воздуха.

Фирма Westport Manufacturing Company разработала конструкцию радиоконюпаса с большим радиусом действия, предназначенного для того, чтобы пилот, летящий над океаном или неизвестным ему районом суши, мог прокладывать курс в направлении на любую радиовещательную станцию. Радиоконюпас состоит из круговой индикаторной шкалы, конвертера, двигателя-генератора и рамочной антенны. Пилот может настроить прибор на какую-нибудь радиостанцию; если самолет летит прямо к ней, стрелка индикатора указывает на нуль, если же самолет отклонится от выбранного направления, стрелка сместится либо вправо, либо влево в зависимости от курса самолета.

SCIENTIFIC AMERICAN

ФЕВРАЛЬ 1885 г. Среди астрономов царит оживление: приближается комета Энке. Наблюдатели за звездами направляют свои телескопы на небесный свод в надежде увидеть прибывающую гостью, которая среди других комет не является выдающейся. Она не ослепляет удивленные взоры своим блеском, как Солнце, ее шлейф не изогнут подобно турецкому ятагану и не разделяется на шесть хвостов длиной по 6 000 000 миль. Комета Энке интересна в основном тем, что это первая известная комета с малым периодом обращения, ее орбита самая короткая из всех орбит других комет такого же класса и не выходит за пределы Солнечной системы. Наконец, ее поведение, как представляется, гораздо лучше согласуется с известными физическими законами, чем поведение других, более выдающихся представителей семейства комет.

С целью разработки мер по уменьшению опасности мореплавания гидрографическая служба США приступила к сбору сведений о применении масла для успокоения поверхности моря во время шторма. В течение длительного времени по этому вопросу высказывались противоречивые суждения. В 1844 г. голландские эксперты, входившие в специальную комиссию, вылили для пробы несколько галлонов масла во вспенен-

ные штормом воды Северного моря и обнаружили, что проделанная процедура практически не уменьшила волнения. На основании результатов эксперимента комиссия заключила, что многочисленные упоминания об использовании масла в качестве средства для спасения судна — не больше чем фантазия моряков. Тем не менее шотландские рыбаки продолжали укрощать шторм, выбрасывая за борт мелко порубленные жирные части рыб, которые они брали с собой в плавание специально для этой цели. К настоящему времени по данному вопросу собрано так много надежных свидетельств моряков, что положительный вывод, кажется, невозможно опровергнуть. Следует учесть, однако, что масло вовсе не делает морскую поверхность абсолютно гладкой, оно лишь смягчает силу бурунов, беспорядочно катящихся валов, которые вначале повреждают судно, а затем затопляют его.

Ю. Бобан, антиквар и путешественник, хорошо известный среди антропологов и этнографов, восстановил одеяние молодого астекского воина, всадника армии Монтесумы. Этот поистине замечательный экспонат предназначен для одной из крупнейших этнографических коллекций в Мексике. Мексиканский воин времен завоевания Южной Америки конкистадорами (1521 г.), как можно видеть из рисунка, носил пятнистое одеяние, напоминающее шкуру тигра [sic], а на голову надевал шлем в виде головы этого зверя.



Воин-астек в реконструкции Ю. Бобана

Влияет ли электрическое освещение на рост растений? Один из наиболее известных цветоводов г. Нью-Йорка И. Буханан утверждает, ссылаясь на свои наблюдения, что декоративные растения, выращиваемые в помещениях, где вместо газового освещения используется электрическое, выглядят столь же здоровыми и пышными, как и те, что вырастают в оранжереях. Лишь немногие цветоводы, зани-

мающиеся разведением цветов в коммерческих целях, имеют средства и время на дорогостоящие эксперименты, необходимые для того, чтобы выяснить, можно ли в зимних садах с электрическим освещением выращивать цветы и фрукты. Представляется, что этот вопрос достаточно важен, чтобы в США им занялось министерство сельского хозяйства.

Издательство ФИНАНСЫ И СТАТИСТИКА предлагает:

Э. Роде БАНКИ, БИРЖИ, ВАЛЮТЫ СОВРЕМЕННОГО КАПИТАЛИЗМА

Перевод с немецкого

Книга профессора Э. Роде удачно сочетает в себе черты научного исследования и учебного пособия. В каждом ее разделе содержится краткий исторический экскурс по соответствующему вопросу, анализируется современный механизм банковских, биржевых и валютных операций, рассматриваются тенденции эволюции и внутренние противоречия этого механизма, связанные с экономическими законами капиталистического способа производства и углублением общего кризиса капитализма. Материал книги четко и логично систематизирован и классифицирован. Автору удалось комплексно рассмотреть вопросы, которые ранее ни в одном издании не излагались.

В разд. 1 показаны генезис, эволюция и современная структура банковской системы основных капиталистических стран. Наглядно рассмотрены основные функции центральных банков (выпуск банкнот, регулирование учетной ставки, нормы минимальных резервов и т.д.) и конкретный механизм осуществления указанных функций. Заслуживает внимания и то, что в

разд. 1 подвергнуты анализу не только банковские системы США, Японии, ФРГ, Великобритании и Франции, но также Италии, Швейцарии и Австрии. В разд. 2 содержится детальное исследование функций ссудного капитала в условиях современного капитализма, дается весьма подробное аналитическое описание механизма банковских операций, их субординации, результатов и последствий для экономики. В разд. 3 обстоятельно рассмотрены важнейшие элементы современного механизма капиталистической фондовой и товарной биржи, особенности деятельности ведущих биржевых центров (Лондонского, Цюрихского и др.). Разделы 4—6 посвящены исследованию валютных отношений в условиях современного капитализма. Здесь особенно интересен анализ международных рынков ссудного капитала.

Книга адресована специалистам в области политэкономии империализма, экономистам-международникам, преподавателям и студентам экономических вузов.

1986, 25 л. Цена 4 р. 10 к.



Как трипаносома меняет свою оболочку

Из-за этого паразита в Африке на огромной территории
невозможно разводить скот; в результате

значительная часть населения лишена молока и мяса.

Трипаносомы выживают в крови животного-хозяина
благодаря способности менять свои антигены поверхности

ДЖОН Э. ДОНЕЛСОН, МЕРВИН ДЖ. ТЕРНЕР

АФРИКАНСКАЯ трипаносома — одноклеточное животное, которое ведет паразитический образ жизни и часть своего жизненного цикла проводит в крови человека или других млекопитающих. Попав в организм млекопитающего, трипаносома вызывает опаснейшее заболевание — трипаносомоз, конечным проявлением которого у человека является сонная болезнь*. В Америке эта болезнь эндемична; она встречается там, где распространена муха цеце *Glossina palpalis*, которая является промежуточным хозяином трипаносомы и переносит ее от одного млекопитающего к другому. Около 50 млн. человек подвергаются риску заражения сонной болезнью. Каждый год регистрируется примерно 20 тыс. случаев заболевания, и, без сомнения, тысячи больных остаются неучтенными. Однако более актуальный, чем непосредственная угроза здоровью людей, фактор — подверженность трипаносомозу домашнего скота, вследствие чего в Африке на территории в 12 млн. км² (это превосходит по площади США) невозможно разведение большинства видов мясного и молочного скота. Практически не имея мясных и молочных продуктов, основная часть населения этой территории недоедает, из-за чего подвержена многим болезням.

Трипаносома успешно преодолевает защитные силы организма млекопитающего благодаря своей способности ускользать от действия его иммунной системы. Млекопитающие обычно защищаются от вирусов, бактерий или простейших, вырабатывая

специфические антитела против антигенов — «чужеродных» молекул, находящихся на поверхности этих организмов. Антитела связываются с антигенами и нейтрализуют или убивают вторгшийся организм. Некоторые продуцирующие антитела клетки постоянно присутствуют в крови и обеспечивают продолжительный иммунитет. Иммунитет может быть приобретен и в результате введения вакцины, которая имитирует естественное заражение.

Но ни иммунный ответ на инфекцию, ни вакцинация не создают защиты против заражения трипаносомой. Несмотря на то что эти паразиты постоянно находятся в кровяном русле организма-хозяина и вполне доступны для действия иммунной системы (в отличие от малярийного паразита, который большую часть своего жизненного цикла «прячется» внутри клеток), она против них бессильна. В процессе эволюции у трипаносом выработалась способность постоянно менять антигены, находящиеся на поверхности клетки. К тому моменту, когда иммунная система продуцирует новые антитела, способные связываться с новыми антигенами, некоторые трипаносомы уже успевают сбросить свою оболочку, как змея кожу, и заменить ее на другую, отличающуюся от старой по своим антигенным свойствам. Иммунная система хозяина просто не может «угнаться» за изменчивостью инфекции, и паразиты благополучно размножаются.

Молекулярные процессы, лежащие в основе этого поразительного явления антигенной изменчивости, интенсивно изучаются в ряде лабораторий в Африке, Европе и США. Полученная к настоящему времени информация говорит о том, что, по всей вероятности, нет способа помочь иммунной системе млекопитающего справ-

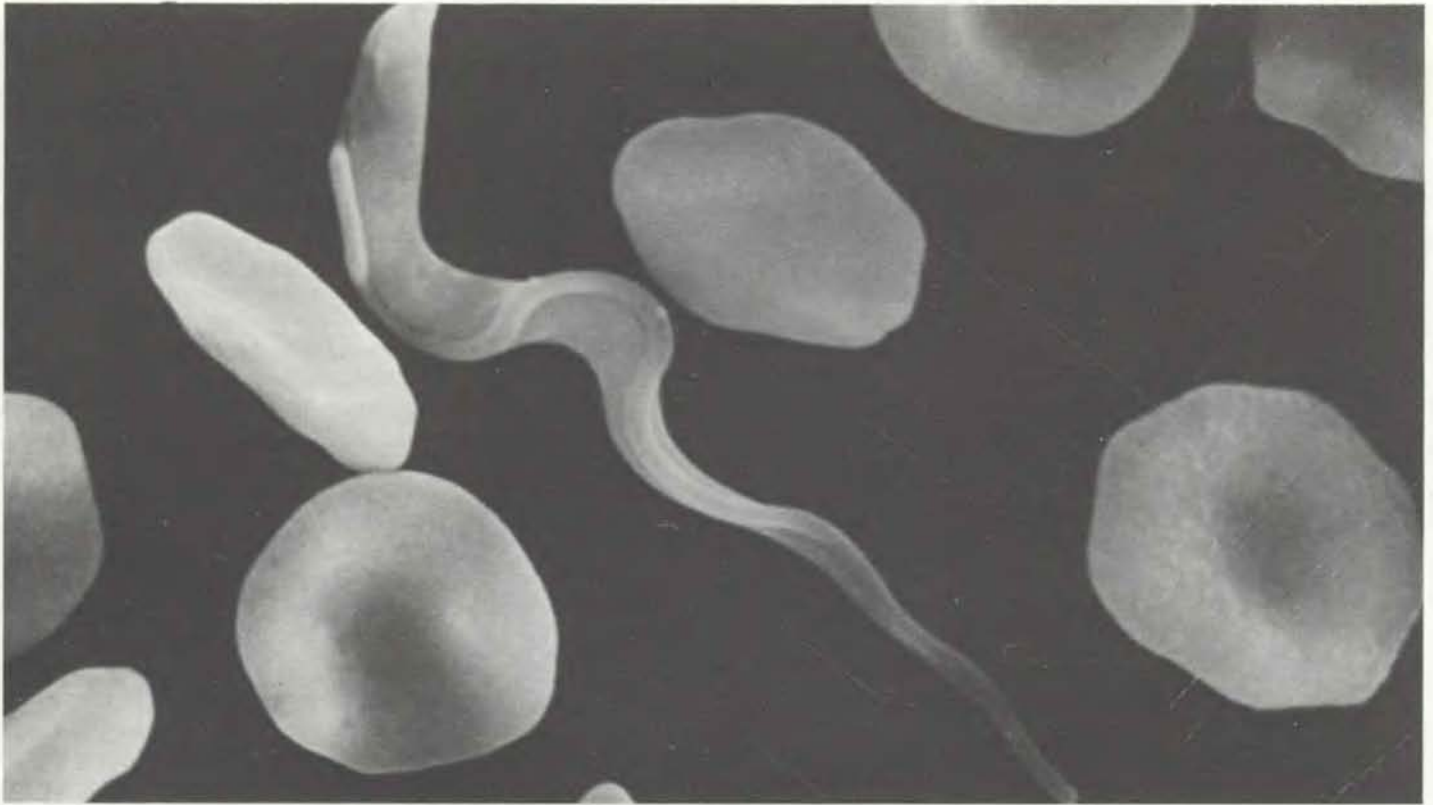
ляться с трипаносомами, попавшими в его кровяное русло. Следует искать иные подходы для профилактики и лечения заболевания.

ПАРАЗИТЫ, выработавшие в ходе эволюции такую высокоэффективную защитную стратегию, представляют собой, как уже говорилось, одноклеточные организмы, размеры которых варьируют от 15 до 30 мкм. Существует несколько видов трипаносом, которые различаются по морфологическим признакам и спектру хозяев. Людей заражают *Trypanosoma rhodesiense* и *T. gambiense*, названные так по территориям, где они были впервые обнаружены. Домашний скот поражается *T. congolense*, *T. vivax* и *T. brucei**. Последний вид часто используется для научных исследований, так как эти трипаносомы хорошо размножаются в лабораторных животных, а в крови человека погибают.

Как многие другие паразиты, на различных стадиях своего сложного жизненного цикла трипаносомы принимают различную форму. Когда муха цеце кусает зараженное трипаносомой млекопитающее, те вместе с его кровью попадают в желудок насекомого, где они претерпевают ряд био-

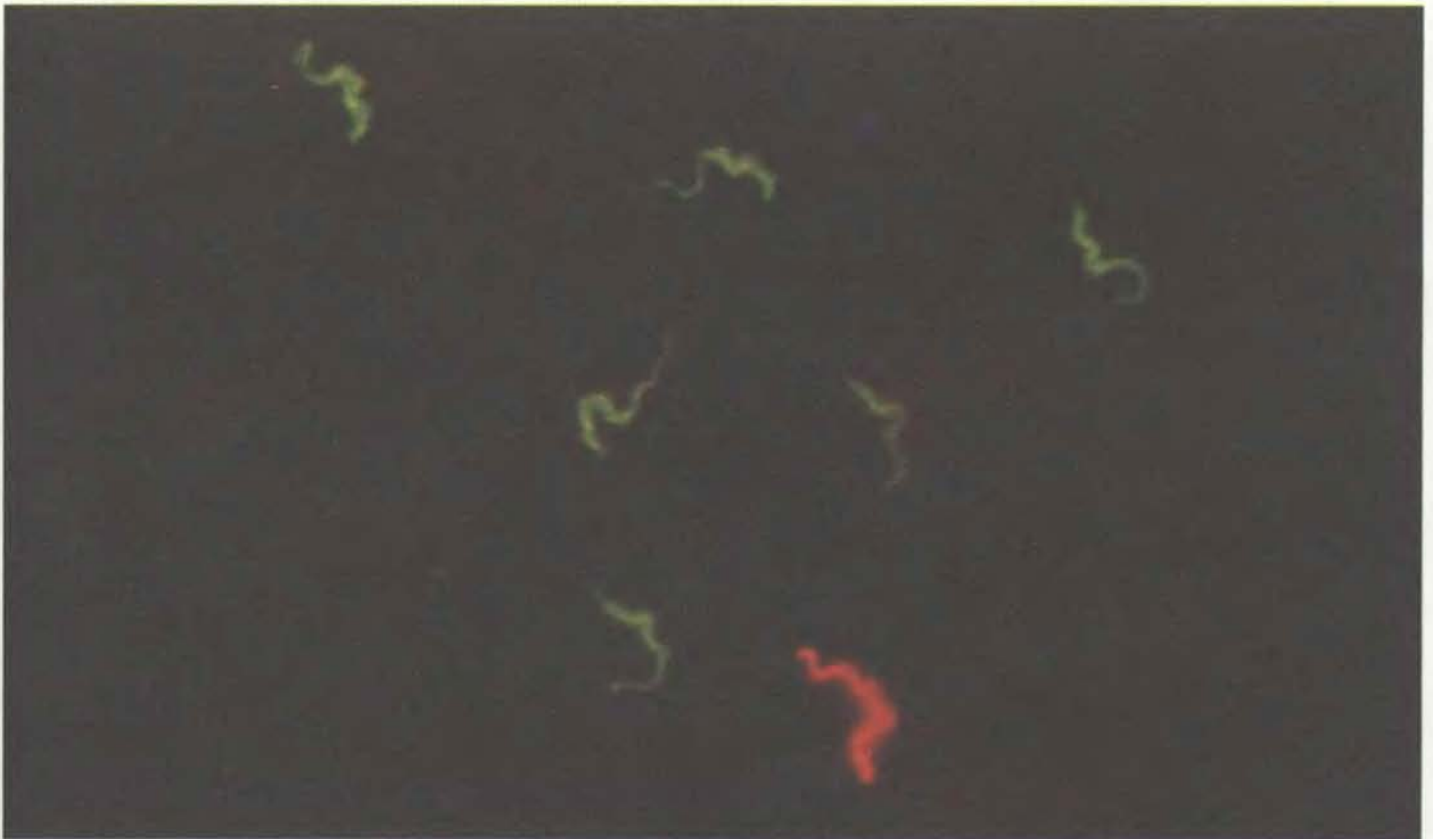
* В Африке *T. brucei* вызывает у крупного рогатого скота болезнь, называемую нагана; ее переносчик — кровососущие мухи из рода *Glossina*. В Южной Азии распространена болезнь сурра, также вызываемая *T. brucei*; переносит ее слепни. В Советском Союзе трипаносомные заболевания крупного рогатого скота не играют сколько-нибудь заметной роли. В южных районах СССР трипаносомы вызывают су-ауру у верблюдов (возбудитель *T. evansi*, переносчики — слепни) и случную болезнь у лошадей и ослов (возбудитель *T. equiperdum*, передается при половом контакте). — Прим. ред.

* Человек болеет также другой разновидностью трипаносомоза — болезнью Шагаса (возбудитель *T. cruzi*), которая распространена в Южной Америке. — Прим. ред.



ТРИПАНОСОМА в окружении эритроцитов. Паразит попадает в кровеносную систему млекопитающего при укусе мухи цеце. Трипаносома — одноклеточное животное. Ее клетка покрыта оболочкой, в состав которой входят переменные поверхностные гликопротеины (ВПГ). ВПГ обладают антигенными свойствами, и иммунная система орга-

низма-хозяина вырабатывает против них антитела, которые связываются с оболочкой, вследствие чего паразиты гибнут. Однако трипаносома способна изменить оболочку и таким образом ускользнуть от действия иммунной системы. (Фото сделано с помощью сканирующего электронного микроскопа С. Брентано; увеличение $\times 5500$.)

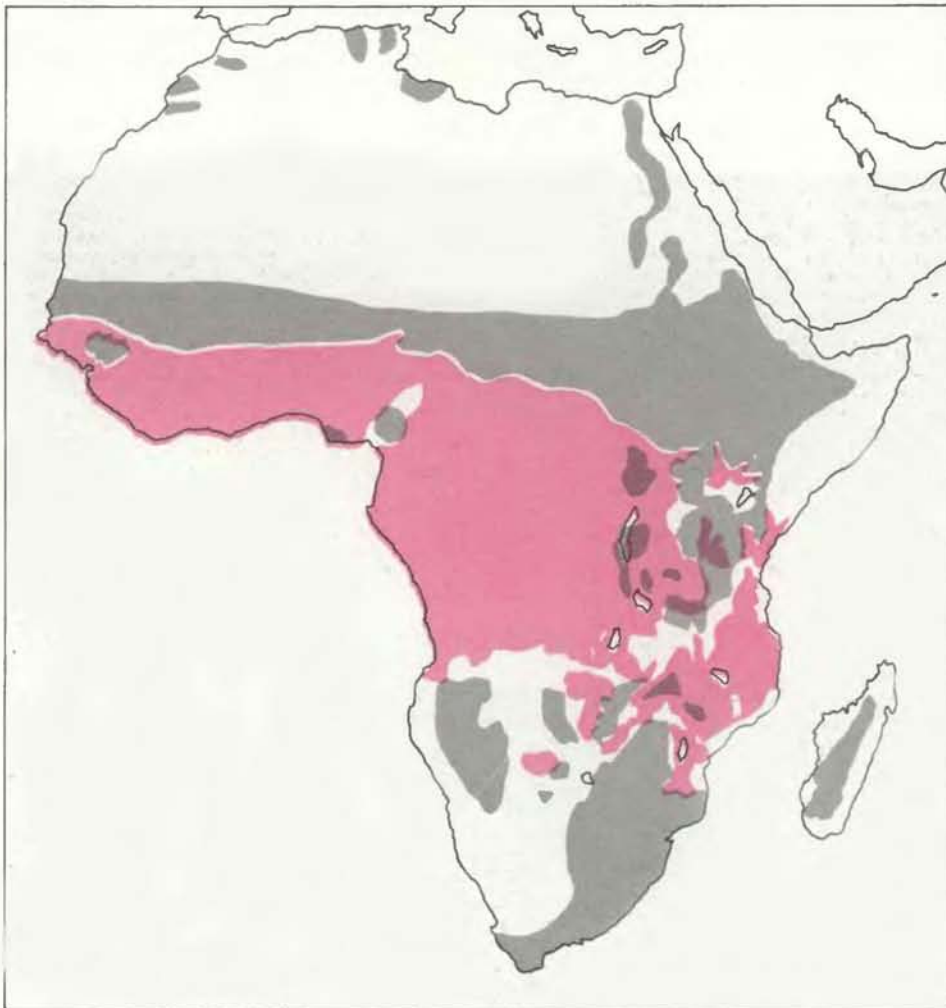


АНТИГЕННЫЕ РАЗЛИЧИЯ трипаносом выявляются методом иммунофлуоресценции. Большинство трипаносом окрасились в зеленый цвет, так как антитела против их ВПГ помечены красителем, который в ультрафиолетовом свете дает зеленую флуоресценцию. Одна из трипаносом

красная. Она сменила оболочку и содержит иные ВПГ, с которыми связались другие антитела, которые помечены красным флуоресцирующим красителем. (Микрофотография сделана К. Эссером из Армейского научно-исследовательского института Уолтер Рид.)



МУХА ЦЕЦЕ. Ее хоботок и брюшко красные от крови, которую она высосала из лабораторного животного. Муха цеце служит трипаносомам промежуточным хозяином, в ее организме паразиты проходят ряд стадий развития, прежде чем попадают в кровь дефинитивного хозяина — млекопитающего.



ТРИПАНОСОМА И МУХА ЦЕЦЕ, являющаяся ее переносчиком, — причина того, что в Африке более чем на 10 млн. км² земель (которые могли бы служить пастбищами) невозможно скотоводство. Скот разводят в Африке там (серый цвет), где не водится муха цеце (ее ареал выделен розовым цветом).

химических и структурных изменений, в процессе которых клетки теряют внешнюю оболочку. Примерно через три недели трипаносомы появляются в слюнных железах и хоботке мухи в метациклической форме; на этой стадии клетки вновь имеют оболочку.

Если теперь муха укусит другое животное или человека, трипаносомы в метациклической форме попадут в его кровеносную систему, и там они быстро дифференцируются в форму, которая может пролиферировать (т.е. размножаться). У человека болезнь, развивающаяся вследствие трипаносомного поражения, может протекать или в острой, или в хронической форме — в зависимости от вида, к которому относится возбудитель. В обоих случаях болезнь сначала затрагивает кровеносную и лимфатическую системы, вызывая перемежающуюся лихорадку, высыпания на коже, отеки и опухание лимфоузлов. Именно на этой стадии начинается борьба трипаносом с иммунной системой организма. Затем паразиты проникают в спинномозговую жидкость и центральную нервную систему, начинается воспаление наружных мозговых оболочек, развиваются различные нервно-психические нарушения, в том числе сонливость; в конце концов наступает коматозное состояние и смерть.

Впервые о том, что в ходе трипаносомной инфекции имеют место какие-то изменения, заговорили еще в начале нашего столетия. У больных трипаносомозом врачи наблюдали четкую периодичность в подъеме и спаде температуры. В 1910 г. английские исследователи Р. Росс и Д. Томсон, обследуя пациентов, пораженных трипаносомозом, каждые несколько дней брали образцы крови и обнаружили, что изменения температуры тела сопровождались резким увеличением или уменьшением количества паразитов в крови. В статье, описывающей эти данные, Росс и Томсон обсуждали гипотезу итальянского врача А. Массалья, которую тот предложил за год до их обследования. А. Массалья полагал, что «кризисы при трипаносомозе происходят из-за образования антител в крови. Некоторым паразитам удается избежать уничтожения, так как они привыкают или приспосабливаются к действию антител. Именно эти паразиты и вызывают рецидивы». Только через пятьдесят с лишним лет эта догадка получила подтверждение и эффект был объяснен.

НАЧАЛО работам, приведшим к объяснению описанных явлений,

было положено в 1965 г., когда К. Виркерман из Университета в Глазго впервые описал гликокаликс — толстую поверхностную оболочку, покрывающую клеточную мембрану трипаносомы. Вскоре было обнаружено, что клоны трипаносом (клон — это популяция клеток, являющихся потомками одной материнской клетки) отличаются друг от друга по свойствам оболочки. В 1968 г. Р. Лепаж из Института Молтено (отдел биохимической паразитологии Совета по медицинским исследованиям в Кембридже, Великобритания), изучая антигены поверхности у различных клонов трипаносом, обнаружил, что клетки каждого клона несут на своей поверхности свой антиген белковой природы, биохимически отличный от белков других клонов. Различия между белками оказались весьма значительными, и поэтому можно было предполагать, что каждый из них — продукт экспрессии отдельного гена.

В середине 70-х годов Дж. Кросс и его сотрудники в Институте Молтено выделили из одного лабораторного животного, зараженного трипаносомами, четыре различных клона паразитов. Они показали, что гликокаликс их клеток построен из одинаковых гликопротеиновых молекул (гликопротеины — это белки, к которым присоединены углеводные группы) и что у всех клеток одного клона гликопротеины идентичны. Определив аминокислотную последовательность начального участка полипептидной цепи гликопротеинов из разных клонов, исследователи обратили внимание на тот факт, что в каждом клоне последовательность была своя. Это говорило в пользу предположения Лепаж о том, что разные антигены поверхности кодируются разными генами. Такие антигены получили название вариабельных поверхностных гликопротеинов (ВПГ).

На ранних стадиях инфекции организм млекопитающего продуцирует антитела, способные связываться именно с теми ВПГ, которые его иммунная система «видит» на поверхности вторгшихся в организм паразитов. Антитела убивают, скажем, 99% исходной популяции трипаносом. Однако некоторые из них выживают, так как «включают» другой ген ВПГ и покрываются оболочкой, содержащей ВПГ, с которыми антитела, имеющиеся в крови зараженного животного в данный момент, не взаимодействуют. Эти выжившие клетки дают начало новой популяции трипаносом — они несут на своей поверхности ВПГ, отличные от прежних, и размножаются, пока иммунная система вырабатывает новые антитела.



ГЛИКОКАЛИКС — поверхностная оболочка трипаносомы, содержащая ВПГ, — на этом фото выглядит как диффузный темный слой вокруг клетки. Сразу под ним — клеточная мембрана, которая на микрофотографиях имеет вид двойной черной линии. (Электронная микрофотография сделана Л. Тэтли и К. Виркерманом из Университета в Глазго; увеличение $\times 190\,000$.)

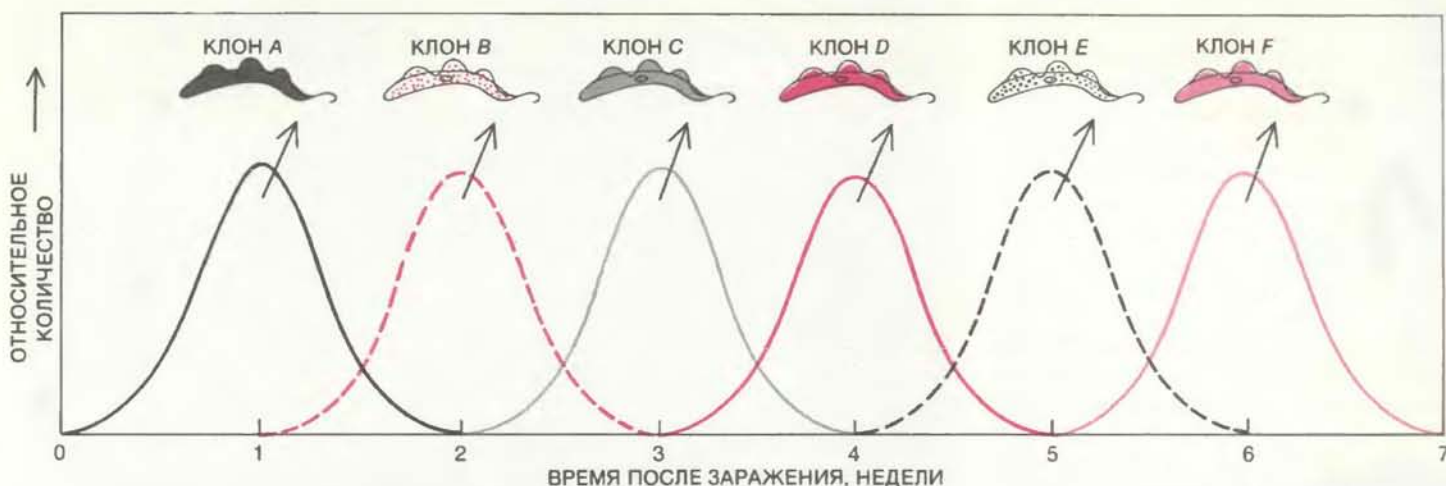
Когда новых антител становится достаточно, они опять убивают почти всех паразитов. Но к этому моменту некоторые трипаносомы уже сменяют свою оболочку — они выживут и будут пролиферировать. Так продолжается до тех пор, пока организм-хозяин не погибнет. Судя по имеющимся в настоящее время данным, переключение с одного типа ВПГ на другой происходит спонтанно. Оно не индуцируется иммунной системой животного-хозяина, которая в этой ситуации играет роль скорее фактора отбора.

Полностью потенциальные возможности трипаносом в отношении синтеза различных ВПГ не известны. В эксперименте трипаносомы, являвшиеся потомством одной родительской клетки, продуцировали более 100 различных ВПГ, причем не было никаких указаний на то, что это предел. Сейчас считается, что в одной клетке имеется несколько сотен, а может быть, даже и около тысячи генов, кодирующих ВПГ. (Это означает, что 5—10% всей ДНК трипаносомы име-

ет своей функцией создание вариабельности антигена.) В природных условиях гены всех трипаносом в совокупности, вероятно, содержат достаточно генетической информации, чтобы обеспечить практически бесконечное число различных по антигенным свойствам ВПГ.

КАКОВА структура ВПГ и как молекулы ВПГ присоединяются к клеточной мембране? Каким образом достигается то, что в данный момент времени экспрессируется один и только один из множества генов ВПГ? Для того чтобы получить новую информацию о ВПГ и о том, как ВПГ сменяют друг друга на поверхности трипаносомы, в ряде лабораторий были применены подходы, основанные на технологии рекомбинантных ДНК.

Первый этап таких исследований — выделение информационной РНК (мРНК) из клона трипаносом. Затем на этой мРНК, как на матрице, синтезируют *in vitro* комплементарную ей



ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ ВСПЛЕСКИ пролиферации паразитов в крови характерны для трипаносомоза. Их причина — антигенная вариабельность гликокаликса. Популяция трипаносом, несущих на своей поверхности определенный антиген ВПГ А, пролиферирует в крови в течение нескольких дней. Имунная система вырабатывает антитела против этого антигена, и большая часть паразитов гибнет. Однако некоторые трипаносомы выживают благодаря экс-

прессии другого гена ВПГ, например ВПГ В. Они дают начало новой популяции трипаносом, которые размножаются до тех пор, пока в организме не образуется достаточно антител против антигена ВПГ В. При хронической инфекции цикл повторяется много раз, так как паразиты постоянно меняют ВПГ оболочки. Из клеток каждой популяции можно получить клоны, каждому из которых свойствен один определенный тип ВПГ.

цепь ДНК (кДНК). Полученную кДНК встраивают в вектор — молекулу ДНК, служащую переносчиком, которую вводят в бактериальные клетки. Бактерий, содержащих рекомбинантную ДНК, размножают и выделяют из них кДНК уже в большом количестве. Эта кДНК представляет собой копию гена ВПГ, который экспрессировался в трипаносомах данного клона. Определив последовательность нуклеотидов кДНК, можно, согласно генетическому коду, установить последовательность аминокислот ВПГ, кодируемого данным геном.

Были определены, частично или полностью, нуклеотидные последовательности 15 кДНК. Анализ составленных по этим данным аминокислотных последовательностей показал, что каждая из новосинтезируемых молекул ВПГ состоит примерно из 500 аминокислот. Первые 20—30 аминокислотных остатков представляют собой сигнальный пептид, он нужен для переноса синтезированных молекул ВПГ сквозь клеточную мембрану трипаносомы. Сравнение рассчитанных по кДНК и реальных аминокислотных последовательностей для ряда ВПГ позволяет считать, что в ходе этого процесса сигнальный пептид отщепляется. Последовательность 360 аминокислот, располагающихся за сигнальным пептидом, существенно различается у большинства ВПГ; по-видимому, именно она «отвечает» за антигенную гетерогенность трипаносом. Последние 120 остатков на С-конце полипептидной

цепи примерно одинаковы у различных ВПГ; по степени сходства этих участков гомологии все ВПГ можно разделить на две группы.

Обычно у поверхностных белков как раз С-концевой участок молекулы служит якорем, удерживающим белок на клеточной мембране, однако у ВПГ это не так. В зрелых молекулах ВПГ последние 20 аминокислот на С-конце отщеплены и заменены содержащей необычный олигосахарид структурой, которая играет важную роль в сцеплении ВПГ с мембраной. По-видимому, олигосахарид у всех ВПГ один и тот же независимо от последовательности аминокислот в вариабельной области. Такой вывод можно сделать на основании того, что антитела, полученные против олигосахарида одного ВПГ, связываются со всеми ВПГ. Почему же эта общая дающая перекрестную реакцию детерминанта не приводит к индукции естественного иммунитета и почему на ее основе нельзя создать вакцину? Дело в том, что ВПГ располагаются на поверхности клетки таким образом, что иммунной системе доступны только вариабельный домен молекулы ВПГ, а та часть молекулы, которая включает детерминанту, вызывающую перекрестную иммунную реакцию, не экспонирована.

Перекрестно-реагирующая детерминанта, видимо, является фрагментом более крупного олигосахарида, который в свою очередь присоединен к фосфолипиду, содержащему две цепи жирных кислот. Эти цепи и внедряются в клеточную мембрану, бла-

годаря чему вся молекула ВПГ удерживается на месте. Почему у трипаносом для сцепления с клеточной мембраной взамен обычного у поверхностных белков С-концевого «якоря» выработалась такая сложная структура? Причина, возможно, в том, что для трипаносомы способность быстро менять оболочку играет жизненно важную роль. В клетках паразитов есть фермент, который разрушает связь между белком и жирными кислотами и, таким образом, отделяет ВПГ от мембраны. Благодаря тому что у всех ВПГ независимо от аминокислотной последовательности молекулы «якорь» одинаков, этот фермент обеспечивает универсальный механизм быстрого сбрасывания оболочки, на месте которой потом появится другая.

СРАВНЕНИЕ последовательностей кДНК выявило весьма существенные различия между ВПГ, но было ясно, что для образования ВПГ с новыми антигенными свойствами достаточно замены очень небольшого числа аминокислот. Вероятнее всего, эти изменения имеют место в определенных, влияющих на антигенные свойства положениях в 360-членном вариабельном участке полипептидной цепи. Для того чтобы выявить эти точки, нужно установить трехмерную структуру вариабельной области с достаточно высоким разрешением. Интересные данные получили с помощью метода рентгеноструктурного анализа Д. Уили, Д. Фреймэн и П. Меткалф из Гарвардского универ-

ситета при участии М. Тернера в Институте Молтено.

К настоящему времени получены кристаллы пяти разных ВПГ, но наибольшие успехи достигнуты в определении структуры варибельного домена одного из них. Удалось получить разрешение, достаточное для того, чтобы выявить в белковой молекуле цилиндрические α -спиральные участки. Как оказалось, в такой конформации находится примерно половина варибельной области.

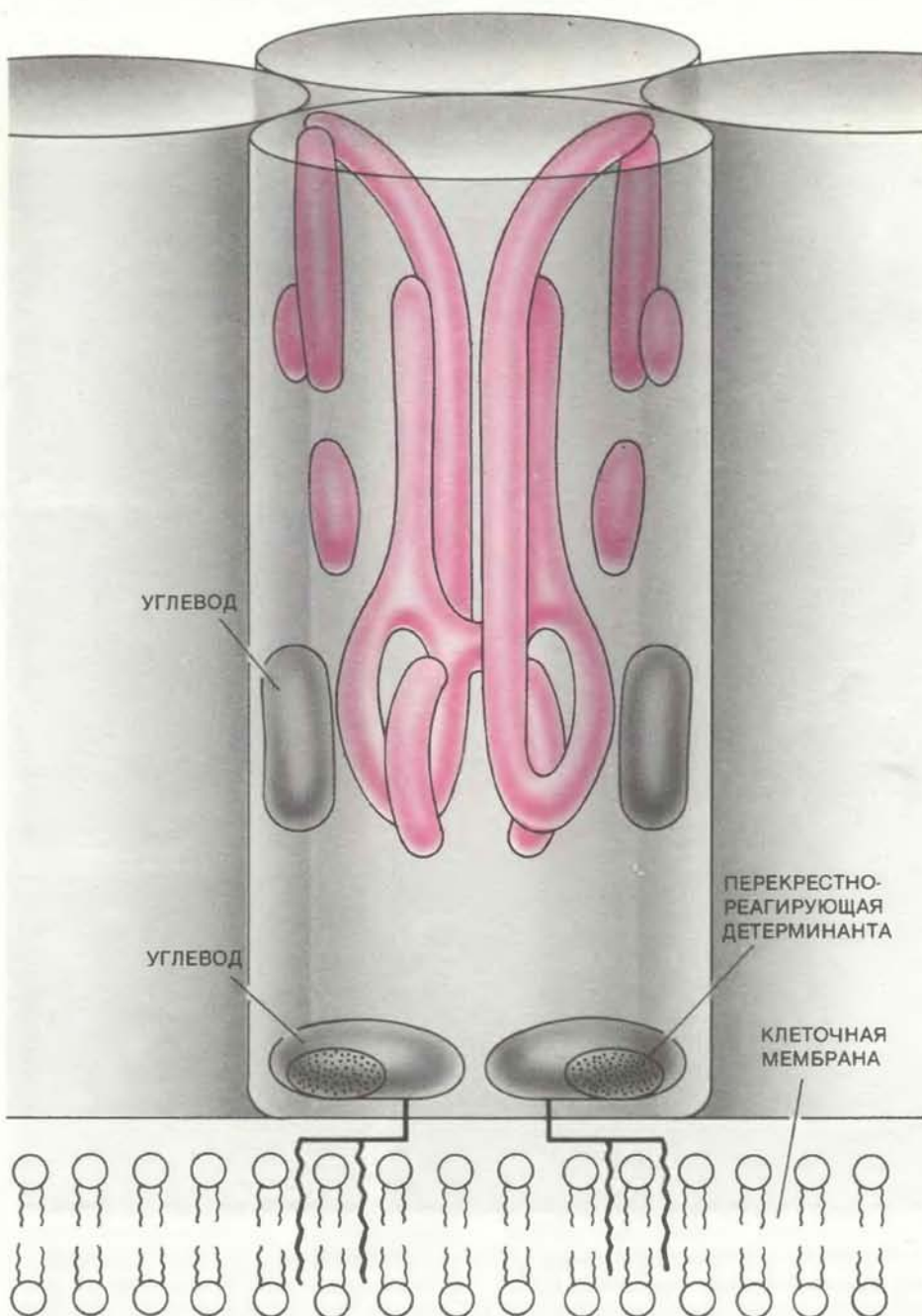
Варибельная часть молекулы ВПГ кристаллизуется как димер; весьма вероятно, что и в составе гликокаликса живой трипаносомы ВПГ также агрегируют с образованием димеров. По рентгеноструктурным данным димер (или по крайней мере та его часть, о структуре которой можно судить) представляет собой пучок α -спиральных участков. В середине пучка находятся две «шпильки» — по одной от каждого из мономеров. На одном конце димера к «шпилькам» подходят еще два α -спиральных участка, так что получается пучок из шести таких участков. На другом конце димера мономеры расходятся, образуя хорошо выраженную «шляпку». Эта структура отличается высокой степенью симметрии и, вероятно, служит остовом для остальной части варибельного домена, неразличимой на достигнутом уровне разрешения, так как она имеет конформацию, отличную от α -спирали. Ориентация остова в мембране неизвестна, поэтому ничего нельзя сказать о том, где находятся основные антигенные детерминанты.

ТАК ЧТО ЖЕ все-таки происходит, когда трипаносома «переключается» с одного гена ВПГ на другой, синтезируя в каждый момент времени только один поверхностный гликопротеин, отличный от прежних и последующих по антигенным свойствам? В экспериментах, необходимых для того, чтобы ответить на этот вопрос, также используется кДНК, получение которой описано выше. В данном случае кДНК, представляющая собой искусственный ген ВПГ, служит зондом, с помощью которого определяется положение копии этого гена в геноме трипаносомы.

Тотальную ДНК генома обрабатывают рестриктазой — ферментом, который расщепляет ДНК в специфических точках, находящихся в определенных последовательностях нуклеотидов. В результате образуется множество небольших фрагментов ДНК, несколько отличающихся друг от друга по длине. Эти фрагменты разделяют по размеру с помощью гель-электрофореза и переносят на нитро-



ПОЛИПЕПТИДНАЯ ЦЕПЬ типичного ВПГ состоит из примерно 500 аминокислот. Первые 20 аминокислот с N-конца цепи представляют собой сигнальный пептид, который отрезается от белка до того, как ВПГ прикрепляется к клеточной мембране. Следующие 360 аминокислот — это варибельный участок (цветной), последовательность которого различна у трипаносом, различающихся по антигенным свойствам ВПГ. Последние 120 аминокислот примерно одинаковы у всех ВПГ. Концевые 20 аминокислот отщепляются и заменяются крупной молекулой, которая, как якорь, удерживает ВПГ на клеточной мембране.



ВОЗМОЖНОЕ СТРОЕНИЕ ВПГ трипаносомы. Молекулы ВПГ изображены в виде цилиндров. Варибельная область (выделена цветом) представляет собой димер, в котором несколько α -спиральных участков, образующих пучок. Молекулы углеводов располагаются по бокам этого пучка. У «основания» молекулы ВПГ имеются еще два углеводных компонента, в которые, вероятно, входит олигосахаридный фрагмент, ответственный за перекрестную иммунную реакцию. От них отходят цепи жирных кислот, которые сцепляют ВПГ с клеточной мембраной.

целлюлозные фильтры, с которыми они очень прочно связываются. Затем фильтры с фрагментами ДНК инкубируют с кДНК гена ВПГ, меченной радиоактивным изотопом; кДНК гибридизуется с теми рестрикционными фрагментами, в которых имеются комплементарные ей последовательности. Несвязавшуюся кДНК отмывают и методом автордиографии выявляют места гибридизации. Таким образом можно установить, сколько копий данного гена (представленного кДНК) содержится в геноме того или иного клона трипаносом и одинаково ли расположен этот ген в геноме у клеток разных клонов.

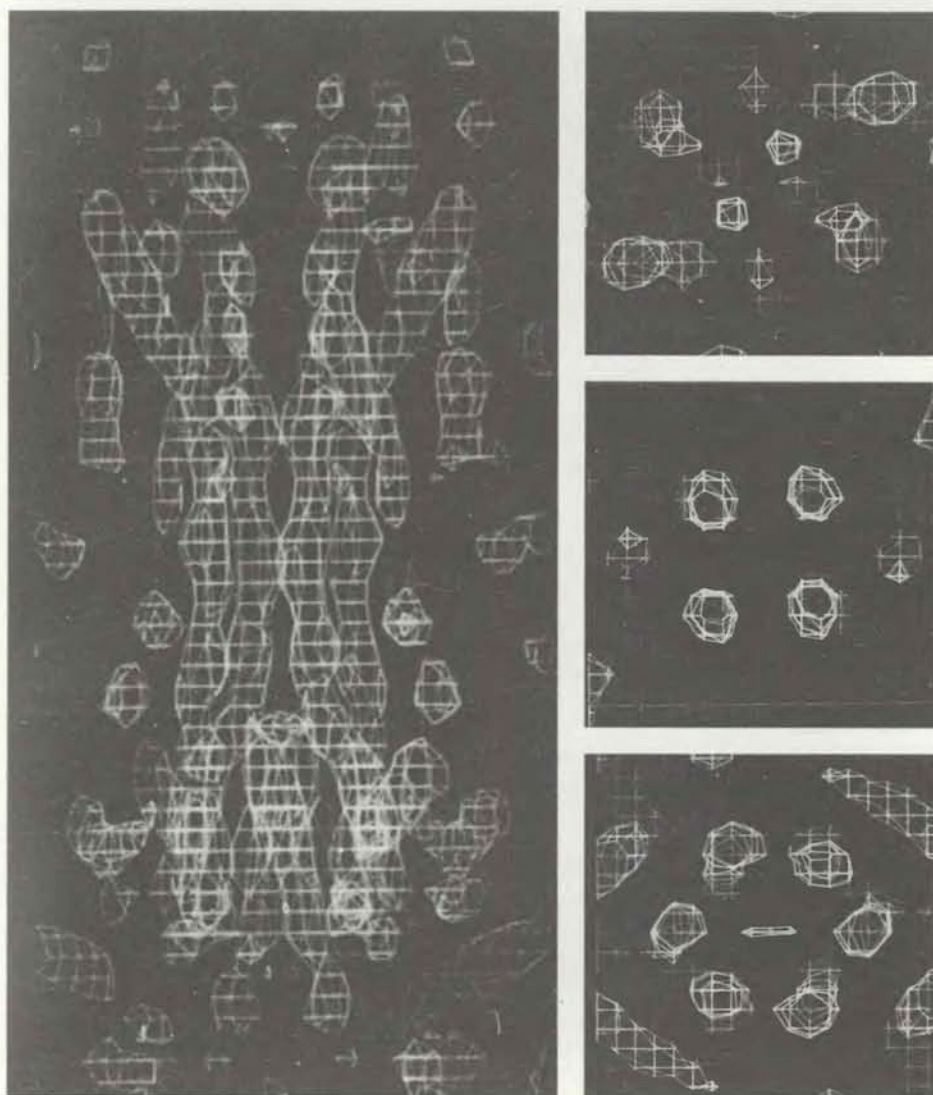
Таким способом П. Борст со своими сотрудниками (Амстердамский университет), а также Дж. Кросс и его коллеги (научно-исследовательские лаборатории компании Wellcome, Великобритания) обнаружили, что в то время, когда происходит экспрессия некоторых генов ВПГ, в геноме трипаносомы присутствуют дополнительные копии этих генов. Дополнительная копия получила название копии, связанной с экспрессией. Более того, Э. Пэйи и М. Стайнер (Свободный университет, Брюссель) показали, что мРНК экспрессируемого гена ВПГ транскрибируется с копии, связанной с экспрессией, а не с исходного

гена. При дальнейших исследованиях было установлено, что копия, связанная с экспрессией, всегда располагается в хромосомах примерно одинаково, а именно возле теломеры (конца хромосомы). Иными словами, один из генов ВПГ экспрессируется после того, как произойдет его дупликация и образовавшаяся копия перенесется в положение возле теломеры. «Переключение» с одного гена ВПГ на другой часто определяется удалением и деградацией копии первого гена и заменой ее копией следующего гена.

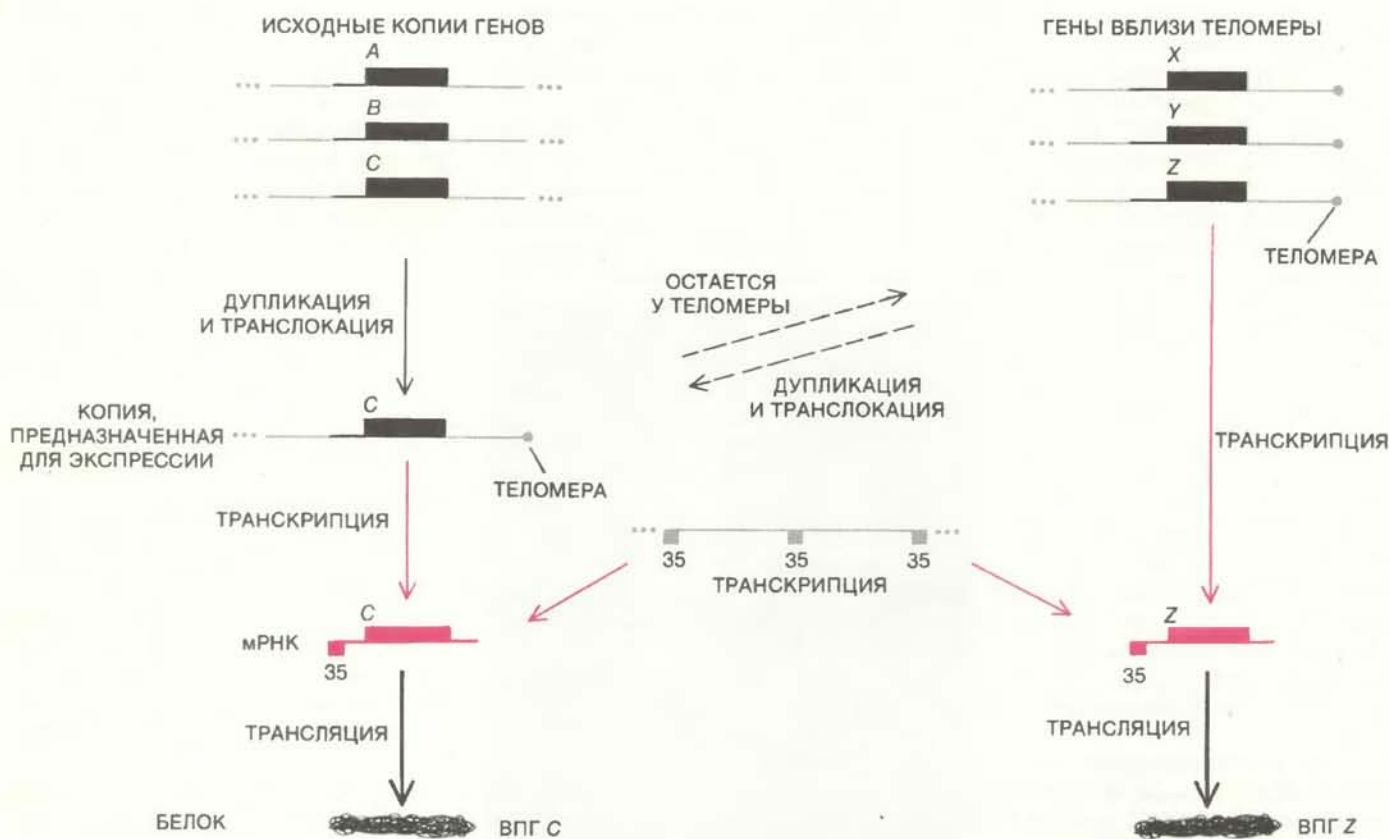
Механизм, предполагающий копирование и транслокацию, не единственный путь достижения антигенной вариабельности. Дж. Янг, Ф. Маива и Р. Уилльямс из Международной лаборатории по изучению болезней животных в Найроби обнаружили другой механизм. Они установили, что экспрессия некоторых генов ВПГ происходит без изменения числа фрагментов, с которыми гибридизуется отвечающая данному гену кДНК, а значит, копия, связанная с экспрессией, в этих случаях отсутствует. Наблюдается иная картина: кДНК таких генов, независимо от того, экспрессируется ли в клетках данного клона ген, представленный этой кДНК, гибридизуется с одним фрагментом, который в каждом клоне трипаносом имеет свой размер.

Оказалось, что гены ВПГ, которые экспрессируются без дупликации и транслокации, уже исходно расположены возле теломеры. Близость генов к теломере объясняет тот факт, что в разных клонах рестрикционных фрагменты, гибридизующиеся с отвечающей им кДНК, различаются по размерам. У трипаносом и других организмов часто возле теломеры располагаются короткие последовательности ДНК, повторяющиеся несколько сот раз. Число таких тандемных повторов между генами ВПГ и теломерами варьирует от клона к клону, поэтому фрагмент, содержащий определенный ген ВПГ, локализованный возле теломеры, у разных клонов может иметь разную длину.

ПРИМЕРНО половина изученных к настоящему времени генов ВПГ, судя по всему, локализованы возле теломер. Исходя из того, что в геноме трипаносомы имеется много сотен генов ВПГ, можно считать, что в одной клетке по крайней мере несколько сотен из них локализованы около теломер. А это значит, что у трипаносомы должны быть сотни хромосом! Для сравнения напомним, что хромосомный набор человека (диплоидный) насчитывает всего 46 хромосом. Так как в ядре трипаносомы содержится нор-



СТРУКТУРА части вариабельной области ВПГ была установлена с помощью рентгеноструктурного анализа Д. Уили, Д. Фреймэнном и П. Меткалфом из Гарвардского университета при участии М. Тернера. Эта часть молекулы кристаллизуется как димер. Слева — карта электронной плотности, составленная в проекции, параллельной к оси димера; виден пучок палочкообразных α -спиральных участков. На одном конце (здесь он внизу, хотя ориентация димера по отношению к клеточной мембране не установлена) имеется 6 α -спиральных участков, а в середине их 4 или 6. Вверху половинки димера расходятся, образуя двуглавую «шляпку». Справа — карты электронной плотности «поперечных срезов» димера в его верхней, средней и нижней частях.



ИСХОДНЫЕ КОПИИ ГЕНОВ, располагающиеся во внутренних участках хромосом трипаносомы (слева) не транскрибируются. Для экспрессии, например, гена С должна произойти его дупликация. Образовавшаяся копия транслируется ближе к теломере и транскрибируется. Получающаяся при этом мРНК затем транслируется и синтезирует ВПГ. Другие гены ВПГ находятся около теломер с самого начала (справа). Эти гены могут экспрессироваться без

образования дополнительной копии, но иногда и они дуплицируются и транслоцируются. Копия, «изготовленная» для экспрессии, обычно утрачивается, когда «включается» новый ген, но иногда она сохраняется, оставаясь у теломеры, и становится неактивным геном ВПГ. Отрезок длиной 35 нуклеотидов на одном конце мРНК не кодируется геном ВПГ, а транскрибируется с отдаленного участка ДНК, содержащего повторяющиеся последовательности.

мальное для одноклеточного организма количество ДНК, можно ожидать, что некоторые хромосомы трипаносомы имеют очень малые размеры, и это подтверждается экспериментальными данными. Ученик Борста Л. Ван дер Плэг, применив метод, разработанный Д. Шварцем и Ч. Кантором из Колумбийского университета, разделил ядерную ДНК трипаносомы на четыре класса по размерам. Он выявил «мини-хромосомы» длиной примерно 100 тыс. нуклеотидов, небольшие хромосомы, превосходящие мини-хромосомы по размерам в 2—7 раз, средние молекулы ДНК длиной около 2 млн. нуклеотидов и молекулы такой большой длины, что измерить ее использованным методом было невозможно.

Ван дер Плэг обнаружил гены ВПГ в хромосомах всех четырех классов. В одном случае он обнаружил основную, исходную копию гена в большой хромосоме, а копию, связанную с экспрессией того же гена, — в хромосоме средних размеров; т.е. транслокация дуплицированной ДНК может

происходить между хромосомами. В другом случае локализованный рядом с теломерой большой хромосомы ген не дуплицировался и экспрессировался, оставаясь на своем месте. Эти наблюдения подтверждают полученные ранее в других лабораториях данные о том, что в геноме имеется не одно, а несколько положений, в которых гены ВПГ могут активироваться, и вовсе не все гены ВПГ транслоцируются. Близость к теломере необходима для экспрессии, но недостаточна. Для выбора и активации одного определенного гена ВПГ должны вступать в действие и другие факторы.

Возможно, некоторые из событий, сопровождающих активацию генов для последующей их транскрипции, вносят свой вклад в увеличение разнообразия ВПГ. Пэйи, Стайнер и их сотрудники описали случаи, когда копия, связанная с экспрессией, возникала не путем дупликации исходной копии гена, а в результате рекомбинации сегментов по меньшей мере двух различных генов, располагающихся возле теломер; каждый из них коди-

ровал часть образующегося ВПГ. Если рекомбинация такого типа — частое событие, трипаносома способна продуцировать гораздо больше видов ВПГ, чем могут обеспечить те сотни генов ВПГ, которые есть в геноме изначально. В связи с этим объясняется и то, что положения активации генов находятся вблизи теломер: известно, что в богатых повторяющимися последовательностями участках ДНК, таких, как тандемные повторы возле теломер, особенно вероятна рекомбинация.

Иногда копия, связанная с экспрессией, не уничтожается при переключении на транскрипцию другого гена, а задерживается некоторое время в положении активации. Недавно в Университете шт. Айова Дж. Донелсон показал, что последовательности, фланкирующие одну из копий, связанных с экспрессией, практически идентичны последовательностям, располагающимся до и после гена, локализованного у теломеры. На основании этих и сходных с ними данных, полученных в других лабораториях, пред-

полагается, что некоторые из локализованных возле теломер генов ВПГ представляют собой ранее активные копии, связанные с экспрессией, которые не были ликвидированы при включении нового гена. Возможно, что хромосомы обмениваются прилежащими к теломерам участками и копия, связанная с экспрессией, покинув свое положение активации, располагается возле другой теломеры, где она впоследствии может вновь экспрессироваться. Альтернативой такому механизму является существование в геноме мобильного элемента, контролирующего активацию (эту роль могут играть короткие сегменты ДНК): перемещаясь от одной теломеры к другой, он функционировал бы как усилитель транскрипции и вызывал бы экспрессию различных генов ВПГ. В этом случае связанная с экспрессией копия гена могла бы оставаться в положении активации, а выключение гена достигалось бы путем ухода контролирующего элемента.

Трипаносомы и подобные им организмы имеют еще одну особенность. Информационные РНК для ВПГ (и многих других, если вообще не всех белков) всегда начинаются с одной и той же специфической последовательности из 35 нуклеотидов. Этой последовательности нет в соответствующих генах или в участках ДНК, фланкирующих эти гены, — она кодируется повторяющейся последовательностью ДНК, удаленной от них. Короткие 35-нуклеотидные фрагменты РНК, транскрибируемые с этого повтора, каким-то образом попадают в начало каждой мРНК. Вероятно, он играет некую роль в экспрессии генов трипаносомы, но какова эта роль, пока не установлено.

ПОПЫТАЕМСЯ теперь суммировать то, что известно о механизмах антигенной вариабельности у трипаносом. В геноме каждого индивидуального организма существуют сотни генов, кодирующих ВПГ. Они могут быть локализованы или во внутренних участках хромосом, или около теломер. В данный момент времени может транскрибироваться только один ген ВПГ, причем активный ген всегда располагается около теломеры. Для того чтобы перейти в активное состояние, ген, локализованный во внутреннем участке хромосомы (исходная копия), должен дублироваться и образующаяся копия, связанная с экспрессией, должна транслоцироваться в положение активации; таких положений много, но все они располагаются около теломер. Для экспрессии генов ВПГ, локализованных

рядом с теломерой, дубликация не нужна (хотя иногда она имеет место). Разнообразие антигенов еще более увеличивается благодаря рекомбинации. Конкретные молекулярные процессы, обеспечивающие переключение транскрипции с одного гена ВПГ на другой, пока не установлены. Однако, судя по всему, они настолько сложны и разнообразны, что практически невозможно их обойти. Поэтому создание вакцины против той формы трипаносомы, которая живет в крови человека и других млекопитающих, пока представляется маловероятным.

Зато возможно получить вакцину против метациклической формы паразитов. Как уже упоминалось выше, метациклическая форма — это конечная стадия развития трипаносомы в слюнных железах мухи цеце, и именно в метациклической форме паразиты попадают в кровь млекопитающего при укусе насекомого. С. Хайдук, Дж. Барри и К. Викерман из Университета в Глазго и К. Эссер из Армейского научно-исследовательского института Уолтер Рид в Вашингтоне установили, что у паразитов в метациклической форме спектр ВПГ ограничен: по-видимому, их всего около 15 вариантов. В сотрудничестве с К. Эссером Дж. Донелсон исследовал кДНК нескольких ВПГ метациклических паразитов и показал, что С-концевой участок их гликопротеинов очень похож на аналогичный участок ВПГ трипаносом, живущих в крови, и тоже обладает высокой степенью гомологии. Видимо, у обеих форм ВПГ прикрепляются к клеточной мембране одним и тем же способом. Более того, по имеющимся данным у метациклических трипаносом гены, кодирующие ВПГ, локализованы около теломер, как и многие гены ВПГ у формы, живущей в кровеносной системе. Пока что неясно, почему, когда трипаносома находится в метациклической форме, не экспрессируется весь спектр ВПГ. Тем не менее можно попытаться использовать это их свойство для создания эффективной вакцины.

Препараты для лечения трипаносомоза, имеющиеся в нашем распоряжении в настоящее время, очень токсичны и притом не устраняют опасности повторного заражения. Конечно, вполне вероятно, что будут разработаны новые химиотерапевтические средства. Трипаносомы не могут выживать в крови млекопитающих без гликокаликса, покрывающего клетку поверх ее мембраны. Препарат, препятствующий прикреплению ВПГ к клеточной мембране или активирующий фермент, отделяющий их от нее,

мог бы оказаться эффективным лекарством. Информационные РНК млекопитающих не содержат необычного 35-нуклеотидного участка, описанного выше, поэтому препарат, препятствующий синтезу содержащих его фрагментов РНК, обладал бы избирательным действием против паразитов. Стоит искать и агенты, влияющие на клеточные органеллы, присущие только трипаносомам. К их числу относятся гликосомы, представляющая собой окруженный мембраной агрегат ферментов, а также кинетопласт, прилегающий к единственной крупной митохондрии трипаносомы. Вещество, нарушающее функции этих органелл или блокирующее какие-либо другие метаболические пути, свойственные только паразитам, должно убивать трипаносом, не причиняя вреда организму-хозяину.

Есть и другие пути борьбы с трипаносомозом. На небольшой площади муху цеце можно полностью истребить, распыляя инсектициды или выпуская стерильных самцов этого насекомого. Однако такие методы не только мало эффективны, но и трудно осуществимы применительно к области, простирающейся более чем на 10 млн. км² на территории нескольких стран. Некоторые породы скота, которых разводят местные кочевые племена, по-видимому, отчасти устойчивы к трипаносомозу. Эти породы дают мало молока и мяса, но в принципе их можно скрестить с более продуктивными породами. Имеет смысл одомашнить таких диких животных, как антилопа канна и сернобык, которые, вероятно, не подвержены трипаносомозу и могли бы заменить домашний скот.

ВПОСЛЕДНИЕ годы стало очевидным, что африканские трипаносомы — великолепный объект для лабораторных исследований. Изучение их поверхностной оболочки даст важную информацию для таких весьма далеких друг от друга областей исследований, как регуляция экспрессии генов, прикрепление и функционирование мембранных белков, структура и репликация теломерных участков хромосом, молекулярные механизмы биологической изменчивости.

Данные фундаментальной науки должны в свою очередь внести вклад в решение поистине животрепещущей проблемы здравоохранения — проблемы борьбы с трипаносомозом. Следующие несколько лет покажут, можно ли практически использовать новую информацию о трипаносомах и реально ли полностью искоренить эту болезнь.

Издательство **МИР** предлагает:

Дж. М. Т. Томпсон

**НЕУСТОЙЧИВОСТИ И
КАТАСТРОФЫ
В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ**

Перевод с английского



Дж. М. Т. Томпсон
НЕУСТОЙЧИВОСТИ И КАТАСТРОФЫ
В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

Научно-популярная книга известного английского специалиста в области механики охватывает широкий круг явлений из различных областей науки и техники, в которых важную роль играют неустойчивости, бифуркации, резкие переходы из одного состояния в другое. Изложение отличается краткостью, наглядностью и простотой; книга богато иллюстрирована и содержит обширную библиографию.

Из отзыва чл.-корр. АН СССР В. Арнольда: «Книга будет полезна для воссоединения и «чистой», и «прикладной» математики с естествознанием: математики найдут в ней серьезные и содержательные применения современных качественных методов анализа динамических систем, геометрии и топологии, а не математики — описание общих идей и методов исследования».

1985, 16 л. Цена 1 р. 40 к.



Как образовалась Земля?

СУЩЕСТВУЕТ мнение, что Земля образовалась в результате аккреции мелких частиц — планетезималей. Согласно простейшей гипотезе, планетезималей имели гомогенный состав, т.е. в процессе накопления те планетезималей, которые оседали раньше, не отличались от тех, которые аккрецировались позднее. При проверке этой гипотезы М. Ланге из Института полярных исследований им. А. Вегенера (ФРГ) и А. Айренс из Калифорнийского технологического института обнаружили, что не все ее положения согласуются. В то время когда формирующаяся Земля была примерно вдвое меньше своих окончательных размеров, за счет действия гравитационных сил планетезималей должны были иметь скорость, достаточно высокую для того, чтобы вода высвобождалась из аккрецирующего планетного вещества и вступала в реакции с другими веществами с образованием газообразного водорода. Газ должен был выделяться в окружающее пространство и Земля оставалась бы без воды. Но, видимо, все происходило не так.

Несостоятельность этой гипотезы Ланге и Айренс установили путем проверки двух фактов, связанных с процессом аккреции. Во-первых, они экспериментально определили, какими должны были быть силы соударения, чтобы вода высвобождалась из минералов, а именно из серпентинита. Оказалось, что, когда радиус Земли был в два раза меньше, при соударении оседающих планетезималей действительно должна была высвободиться вся вода.

Во-вторых, Ланге и Айренс проверили, как в процессе аккреции вода могла реагировать с железом. По видимому, в реакции должна была участвовать вся вода. Так, при реакции воды, железа и минеральных веществ образуются форстерит, файалит и газообразный водород. Железа было в достаточном количестве, поэтому в свободном состоянии вода не должна была оставаться. В свою очередь водород испарялся бы, поскольку гравитационные силы формирующейся планеты были недостаточны для того, чтобы удержать его.

Ланге и Айренс решили эту дилемму, предположив, что аккрецирующее вещество имело негетогенный состав, т.е. первые планетезималей содержали больше железа, чем те, которые оседали позднее. В модели, кото-

рая наилучшим образом объясняет наличие на Земле Мирового океана, содержащего 10^{25} г. воды, было принято, что первые планетезималей содержали 36% железа (по массе), последние же его почти не содержали, так что среднее содержание железа по отношению ко всей массе планетезималей составляло 34%. Отсюда можно сделать вывод, что в течение примерно 100 млн. лет Земля аккрецировала из планетезималей, богатых железом. В последующий период длительностью около 60 млн. лет окружающее Землю пространство почти не содержало железа.

Почему же изменился состав планетезималей? К. Хэрриган и У. Уорд из Лаборатории реактивного движения предположили, что протосолнечная туманность — газопылевое облако, из которого сформировалась солнечная система, — была пронизана спиральными волнами плотности, т.е. областями высокой концентрации протопланетного вещества. Возможно, что волны плотности протосолнечной туманности стимулировали образование планет. Таким образом, формирующаяся в ходе аккреции Земля удалялась от Солнца в более холодную область, где основными конденсатами были силикаты, почти не содержащие железа.

Чтобы не истечь кровью

У ЛЮДЕЙ, страдающих классической гемофилией (гемофилией А), кровь не свертывается потому, что у них от рождения отсутствует белок, называемый фактором VIII, который является необходимым элементом каскадного механизма свертывания крови. Этот дефект компенсируется путем введения больному концентрированной плазмы, обогащенной фактором VIII. Однако такой способ лечения небезопасен. Препараты плазмы в клинике готовятся обычно из крови многих доноров, и в них могут попасть содержащиеся в крови кого-то из доноров вирусы, в том числе возбудители гепатита и синдрома приобретенной иммунной недостаточности (AIDS).

Недавно в журнале «Nature» были опубликованы результаты исследований, проведенных в лабораториях фирмы Genentech под руководством Р. Лона и Г. Вехара и в Институте генетики под руководством Дж. Тула и Р. Хьюика. Удалось клонировать ген фактора VIII и ввести его в культивируемые клетки млекопитающих. Таким образом были получены клет-

ки, синтезирующие биологически активный фактор VIII. Через несколько лет мы сможем с помощью таких клеток получать в большом количестве чистый фактор VIII, который нужен для лечения гемофилии.

Чтобы получить какой-либо конкретный белок по технологии рекомбинантной ДНК, прежде всего нужно выделить достаточное количество соответствующей мРНК — информационной РНК, комплементарной гену этого белка и служащей матрицей при его синтезе на рибосомах. Следующий шаг — получение кДНК, комплементарной выделенной мРНК; кДНК представляет собой искусственный ген данного белка и может быть введена в бактериальные или дрожжевые клетки, которые станут этот белок синтезировать.

Но такой подход невозможно было применить по отношению к фактору VIII, так как его мРНК присутствует в клетках в очень небольшом количестве и обнаружить ее трудно. Поэтому исследователи из Genentech и Института генетики начали с того, что очистили сам фактор VIII и определили частично его аминокислотную последовательность. Затем, согласно генетическому коду, по ней установили нуклеотидную последовательность, способную кодировать части гена фактора VIII, и синтезировали фрагменты ДНК с такими же последовательностями, как в этих частях. Полученные фрагменты использовали как ДНК-пробы для обнаружения в клетках частей гена фактора VIII (этот ген имеет очень большую длину).

Все же, для того чтобы собрать целиком кодирующую последовательность гена, нужна была в достаточном количестве мРНК фактора VIII с полной последовательностью гена. Однако теперь можно было «выловить» ее с помощью найденных фрагментов гена. Сотрудники Genentech обнаружили искомую мРНК в Т-клетках человека, а исследователи из Института генетики — в клетках печени. И те, и другие синтезировали кДНК, кодирующую фактор VIII, присоединили к ней вирусный промотор и встроили все вместе в плазмиду. Рекомбинантную плазмиду ввели в клетки хомяка и в клетки почки обезьяны, в которых, как предполагалось, есть ферменты, необходимые для процессинга гена и белка. Экспрессия гена фактора VIII в этих клетках действительно происходила, и синтезировался белок, по многим проверенным в лаборатории свойствам очень похожий на естественный фактор VIII. Полученный препарат ускорял реакцию свертывания в плазме, взятой у больных гемофилией.

Издательство МИР предлагает:

Дж. Фоли, А. вэн Дэм

**ОСНОВЫ
ИНТЕРАКТИВНОЙ
МАШИННОЙ
ГРАФИКИ**

В 2-х книгах

Перевод с английского



Рассмотрены автоматизированные методы получения чертежей и изображений с помощью дисплеев и ЭВМ. Значительное внимание уделено организации баз данных графической информации, ее вводу с помощью естественного языка, а также подготов-

ке фотографий для машинного воспроизведения.

Для специалистов в области машиностроения, архитектуры, строительства, вычислительной техники, а также студентов старших курсов различных специальностей

1985, 50 л. Цена 4 р. 40 к. за комплект



Источники космических гамма-всплесков

*Космические гамма-всплески происходят внезапно —
их невозможно заранее предсказать.*

*Хотя природа этого явления пока не ясна,
предложены наиболее вероятные его механизмы*

БРЭДЛИ Е. ШАФЕР

ПРИБЛИЗИТЕЛЬНО раз в сутки в непредсказуемой области неба происходит всплеск интенсивного гамма-излучения. Обычно он продолжается от 1 до 10 с, однако известны как очень короткие всплески длительностью 0,01 с, так и продолжительные — до 80 с. Всплеск начинается с резкого возрастания потока гамма-лучей, во время всплеска интенсивность излучения меняется нерегулярно, и в конце поток уменьшается ниже уровня регистрации. За редкими исключениями, излучение всплесков приходит из разных областей небесной сферы, и их не удается однозначно связать с уже известными астрономическими объектами.

В моменты пиков гамма-всплески намного превышают свечение всего неба в гамма-лучах. Если принять разумную оценку расстояния до источников гамма-всплесков, то по мощности, приходящейся на единицу объема, они превосходят все объекты в известной нам Вселенной. Согласно одной из оценок, за секунду в этих источниках генерируется столько же энергии, сколько на Солнце за неделю.

Несмотря на огромное количество излучаемой энергии, о самих источниках известно довольно мало. Всплески невозможно предсказать, а их излучение находится в спектральной области, в которой надежные измерения очень затруднены. Поскольку наблюдательных данных недостаточно, предложено множество моделей источников гамма-всплесков. К настоящему времени опубликовано около 40 моделей, среди которых немало «экзотических», основанных на идеях о взрывающихся черных дырах, ультрарелятивистских пылинках или ядерных превращениях сверхтяжелых элементов. Ситуация осложняется тем, что большинство моделей согласуется с современными наблюдательными данными.

Однако даже при очень скудной информации астрономы постепенно

приходят к единому мнению относительно основных характеристик источников гамма-всплесков. Созданы инструменты, которые позволяют получить ответы на наиболее важные вопросы о свойствах всплесков. Возможно, что уже в ближайшем будущем причина всплесков будет выяснена, и тогда завершится более чем десятилетний период попыток разгадать тайну загадочного явления.

ВПЕРВЫЕ гамма-всплески были обнаружены с помощью американских спутников серии «Вела». Эти спутники оснащены детекторами для регистрации вспышек гамма-излучения, которые могут сопровождать ядерные взрывы. После того как было обнаружено несколько вспышек, стало ясно, что они не имеют отношения к ядерным испытаниям и, по видимому, связаны с совершенно новым классом астрономических объектов во Вселенной. Открытие гамма-всплесков вскоре подтвердили Т. Клайн и У. Десаи из Годдардовского центра космических полетов НАСА. Впоследствии и другие группы ученых обнаружили гамма-всплески при анализе данных более ранних экспериментов, проводившихся для изучения других явлений.

В конце 70-х годов были начаты эксперименты второго поколения (см.: Ian B. Strong, Ray W. Klebesadel. Cosmic Gamma-Ray Bursts. "Scientific American", October, 1976). Для наиболее точного определения направлений прихода излучения всплесков исследователи имели возможность использовать около десяти детекторов, установленных на космических аппаратах, находящихся в различных точках Солнечной системы внутри орбиты Земли.

Один из таких экспериментов проводился на четырех советских автоматических межпланетных станциях «Венера» сотрудниками Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе АН СССР Е. П. Мазецем, С. В. Го-

ленецким и их коллегами. В этом эксперименте, который назывался «Колонус», использовались наиболее чувствительные по сравнению с другими детекторы. На основе полученных данных был составлен полный каталог, включающий моменты регистрации, координаты источников, временные профили и спектры нескольких сотен всплесков.

В этих более поздних исследованиях были достаточно точно определены положения источников нескольких всплесков, однако получить более подробную информацию о каждом из зарегистрированных событий по времени не удалось. Из-за кратковременности всплесков и непредсказуемости соответствующих им направлений на небесной сфере их невозможно искать с помощью имеющихся максимально чувствительных детекторов с узким полем зрения. Для надежной регистрации каждого всплеска наблюдатели вынуждены использовать приборы с максимально широким полем зрения, имеющие меньшую чувствительность.

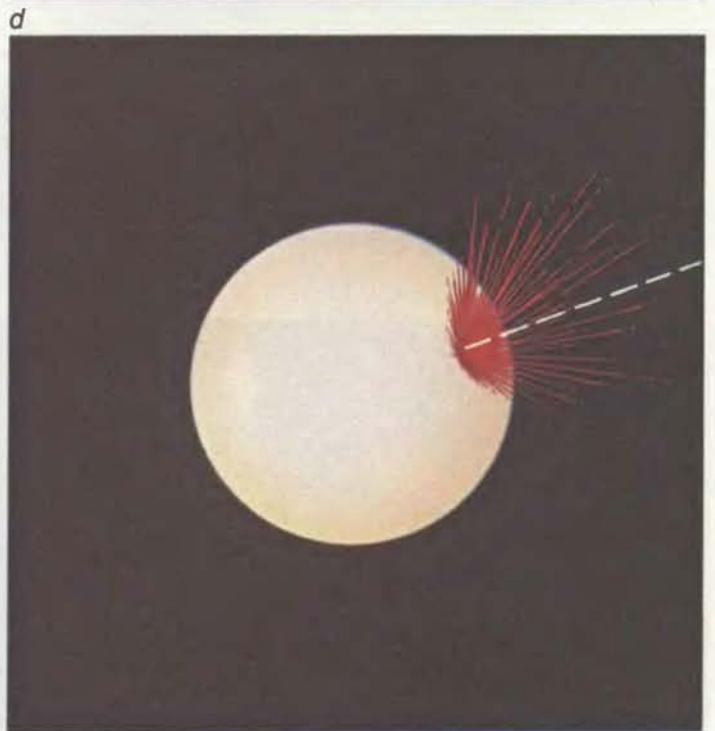
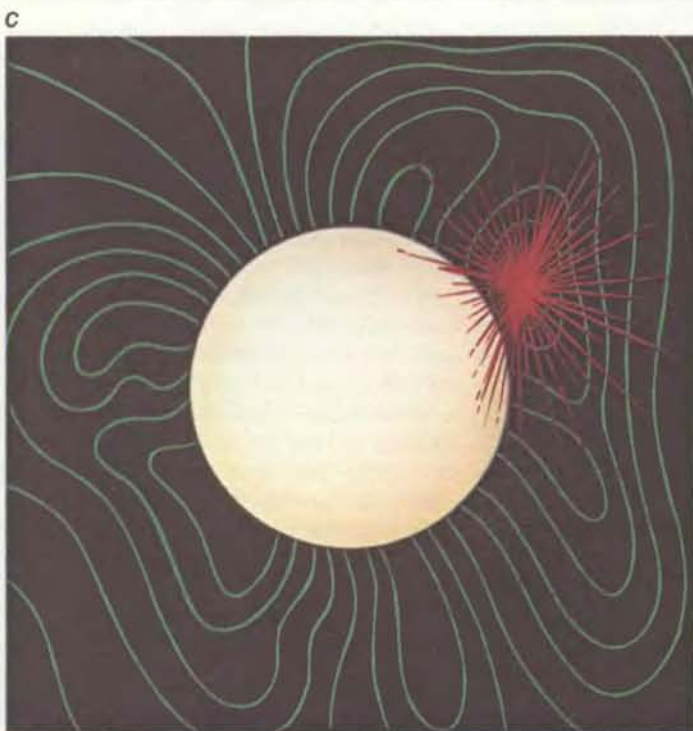
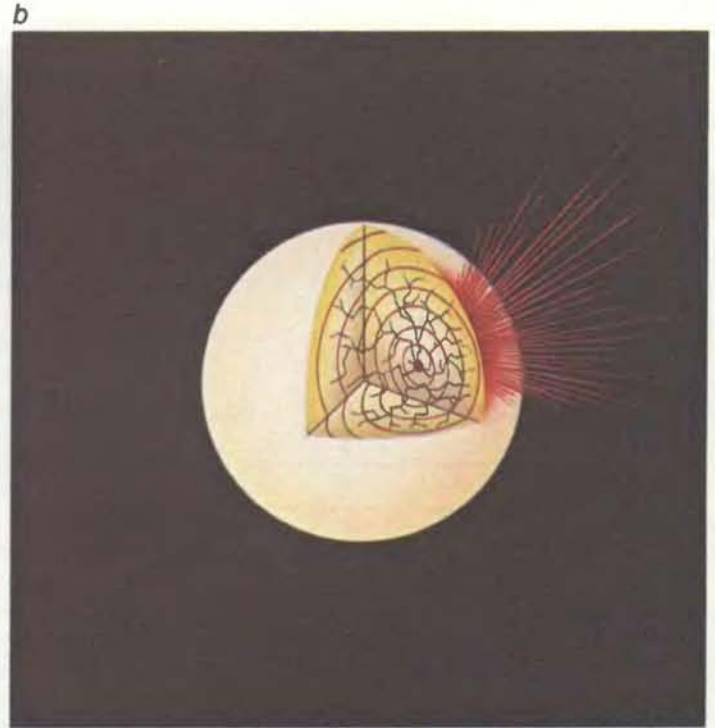
Другая трудность связана с тем, что излучение гамма-всплесков поглощается земной атмосферой. Детекторы должны быть вынесены в космическое пространство, что значительно усложняет эксперименты и сильно повышает их стоимость. Кроме того, детекторы гамма-излучения имеют более низкую чувствительность по сравнению с детекторами фотонов с меньшими энергиями.

Учитывая эти экспериментальные трудности, необходимо выяснить, какие из полученных наблюдательных данных могли бы позволить сделать выбор среди имеющихся моделей. Наблюдения гамма-всплесков заключаются в регистрации так называемых «кривых блеска», т.е. в измерениях переменной яркости всплесков. Так как гамма-всплеску соответствует широкое спектральное распределение фотонов, для каждого события кривые блеска могут быть измерены

в различных спектральных диапазонах. Проведенные к настоящему времени исследования позволили получить несколько сотен кривых блеска гамма-всплесков, причем во многих случаях одна кривая регистрирова-

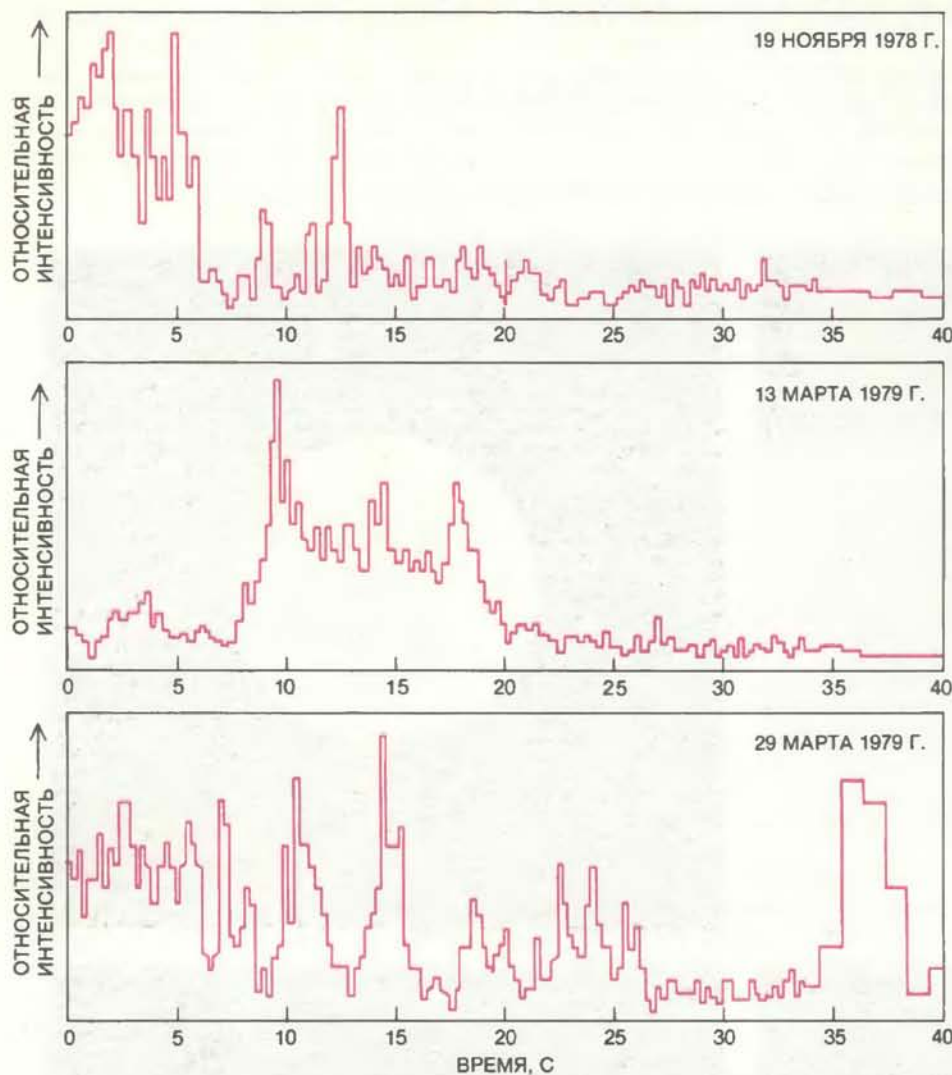
лась несколькими приборами на разных спутниках. В этой сравнительно небольшой коллекции содержатся все имеющиеся в нашем распоряжении сведения об источниках космических гамма-всплесков.

Какими бы скудными ни казались эти данные, из анализа кривых блеска может быть получена полезная информация. Например, сравнение кривых, зарегистрированных приборами на различных спутниках, позволяет с

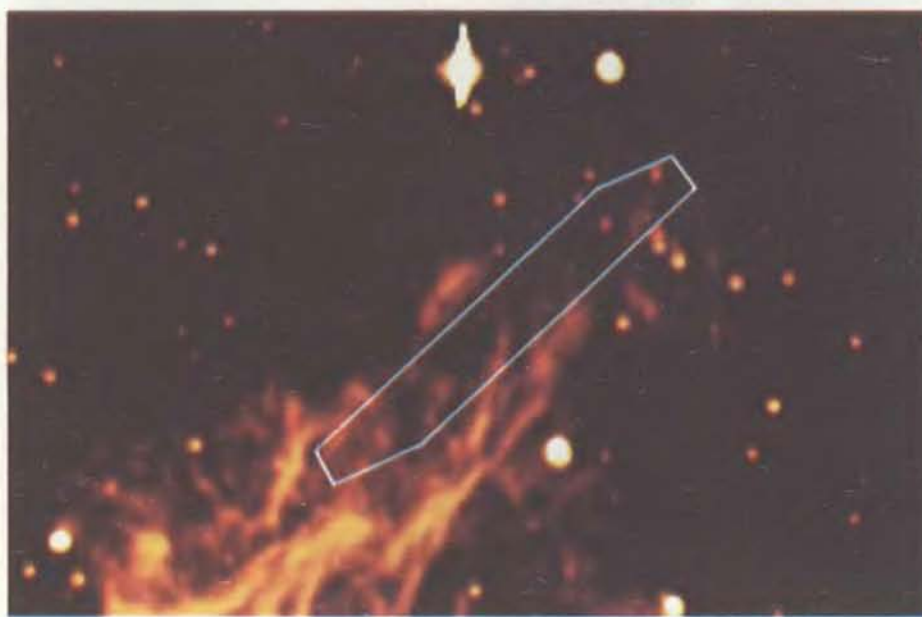


МНОГООБРАЗИЕ МОДЕЛЕЙ ИСТОЧНИКОВ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ вызвано тем, что наблюдательных данных, необходимых для их проверки, пока недостаточно. Наиболее вероятные модели, четыре из которых изображены на рисунке, связаны с нейтронными звездами. В модели *a* вещество слабоизлучающего второго компонента двойной системы (показан красным цветом) образует аккреционный диск вокруг нейтронной звезды. Из внутренних областей диска вещество «проваливается» вдоль магнитных силовых линий (зеленого цвета) на магнитный полюс. По мере накопления на полюсе оно сжимается, нагревается и в конечном итоге взрывается, излучая гамма-лучи. В модели *b* звезда испытывает «звездотрясение», при котором

ударная волна генерирует гамма-лучи. В модели с гамма-всплески связаны с локальными неоднородностями магнитного поля нейтронной звезды. В областях неоднородности поля над поверхностью звезды могут возникнуть нестабильные сжимающиеся «петли». В момент их исчезновения выделяется огромная энергия, которая превращается в электромагнитное излучение. Всплески также могут быть вызваны столкновениями кометы или астероида (траектория изображена белой пунктирной линией) с поверхностью нейтронной звезды (модель *d*). Из-за мощного гравитационного поля нейтронной звезды такое столкновение приводит к выделению энергии, достаточной для генерации гамма-всплесков.



КРИВАЯ БЛЕСКА показывает, как яркость гамма-всплеска меняется со временем. Представлены три кривые, полученные советским детектором «Конус» для трех разных всплесков. Кривые блеска разных всплесков не проявляют какого-либо сходства.



ПОЛОЖЕНИЕ необычного всплеска, происшедшего 5 марта 1979 г. (показано ломаной замкнутой линией), определено с высокой точностью с помощью 11 детекторов, которые были широко рассредоточены по Солнечной системе. Положение источника всплеска установлено методом сравнения моментов его регистрации разными детекторами.

относительно высокой точностью определить положение источника гамма-всплеска на небесной сфере. А сравнение кривых блеска для одного всплеска, соответствующих различным спектральным каналам, позволяет измерить его спектр (относительное распределение зарегистрированных гамма-фотонов по интервалам энергий).

Из спектра излучения космического объекта можно получить информацию о его природе, температуре и размере. Многие исследователи анализировали спектры наблюдавшихся всплесков, чтобы выяснить, какие процессы эмиссии излучения ответственны за их генерацию. Хотя известно несколько процессов, которым соответствуют спектры, аналогичные наблюдавшимся у гамма-всплесков, ни один из них не может удовлетворительно объяснить форму спектров для всех всплесков.

Было бы удивительно, если бы это оказалось так. Действительно, каждый механизм может быть обоснован только для некоторых идеальных условий — при фиксированной температуре, заданных ориентации и напряженности магнитного поля, в определенный момент времени. В реальном же случае должны происходить сложные взаимодействия процессов, описанных отдельно в идеализированных моделях.

Хотя спектральные данные практически не удается использовать для оценки физических условий в области генерации излучения, на их основе могут быть выяснены свойства среды, окружающей источник. Например, если в ней происходит поглощение или эмиссия излучения на одной из частот, принадлежащей диапазону, в котором генерируется гамма-всплеск, в наблюдаемом спектре должна появиться соответствующая линия. В советском эксперименте «Конус» в спектрах около 15% всплесков были обнаружены линии в области энергий от 40 до 70 килоэлектронвольт (кэВ). Независимое подтверждение достоверности этих линий было получено Дж. Хьютэром из Калифорнийского университета в Сан-Диего на основе данных, полученных со спутника HEAO-1.

В отличие от этих двух экспериментов при регистрации всплесков другими приборами аналогичные линии не наблюдались. Некоторые исследователи предполагают, что линии возникли вследствие ошибок при калибровке приборов «Конус» и HEAO-1. Действительно, для калибровки детекторов в диапазоне 40 — 70 кэВ необходимы многочисленные трудоемкие измерения из-за неоднозначности функции отклика сцинтилляторов.

Однако детальный анализ экспериментов «Конус» и HEAO-1 показал, что детекторы были откалиброваны правильно. Вероятно, указанные спектральные детали космических гамма-всплесков можно считать достоверными.

Согласно наиболее распространенной гипотезе, происхождение этих линий связано с так называемым электронным циклотронным резонансом: спектральная линия возникает на частоте, с которой электроны двигаются по круговым орбитам в сильном магнитном поле.

Согласно другому объяснению, излучение гамма-всплеска генерируется двумя очень близко расположенными источниками, имеющими различные спектры. В этом случае угловое расстояние между источниками при наблюдении с Земли должно было бы быть настолько малым, чтобы их излучение воспринималось как приходящее из одной точки. Суммарный спектр, получающийся в результате сложения спектров этих источников, может иметь такую линию.

ВТО ВРЕМЯ как спектральные данные позволяют выяснить механизм генерации всплесков, из данных по интенсивности можно определить, насколько однородным является распределение их источников в пространстве. Для этого обычно изучают зависимость числа всплесков с интенсивностями, превышающими заданную, от этой величины (см. рисунок на с. 33). В логарифмическом масштабе для однородного распределения график соответствует прямой, которая имеет определенный наклон. Если значительная доля источников удалена от Земли примерно на одинаковое расстояние, то график должен иметь характерную особенность при той интенсивности, которая соответствует вкладу этих источников.

При низких интенсивностях график отклоняется от прямой, хотя данных пока недостаточно для того, чтобы быть уверенным в статистической значимости этого отклонения. Первоначально объяснение формы наблюдаемой кривой было основано на предположении, что ближайшие источники всплесков заполняют пространство однородно, а более удаленные объекты распределены так, что в некоторых областях их очень мало или они совсем отсутствуют. Такая ситуация представляется вполне естественной, если источники всплесков образуют дисковую подсистему нашей Галактики. Однако на основе имеющихся данных характер распределения источников определяется неоднозначно: многие другие типы пространственного распределения

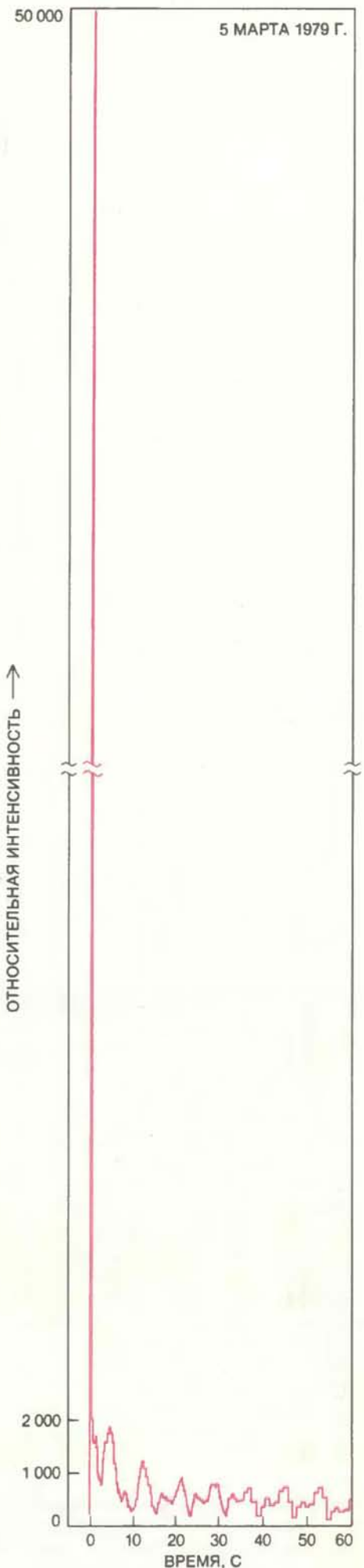
также удовлетворяют этим данным.

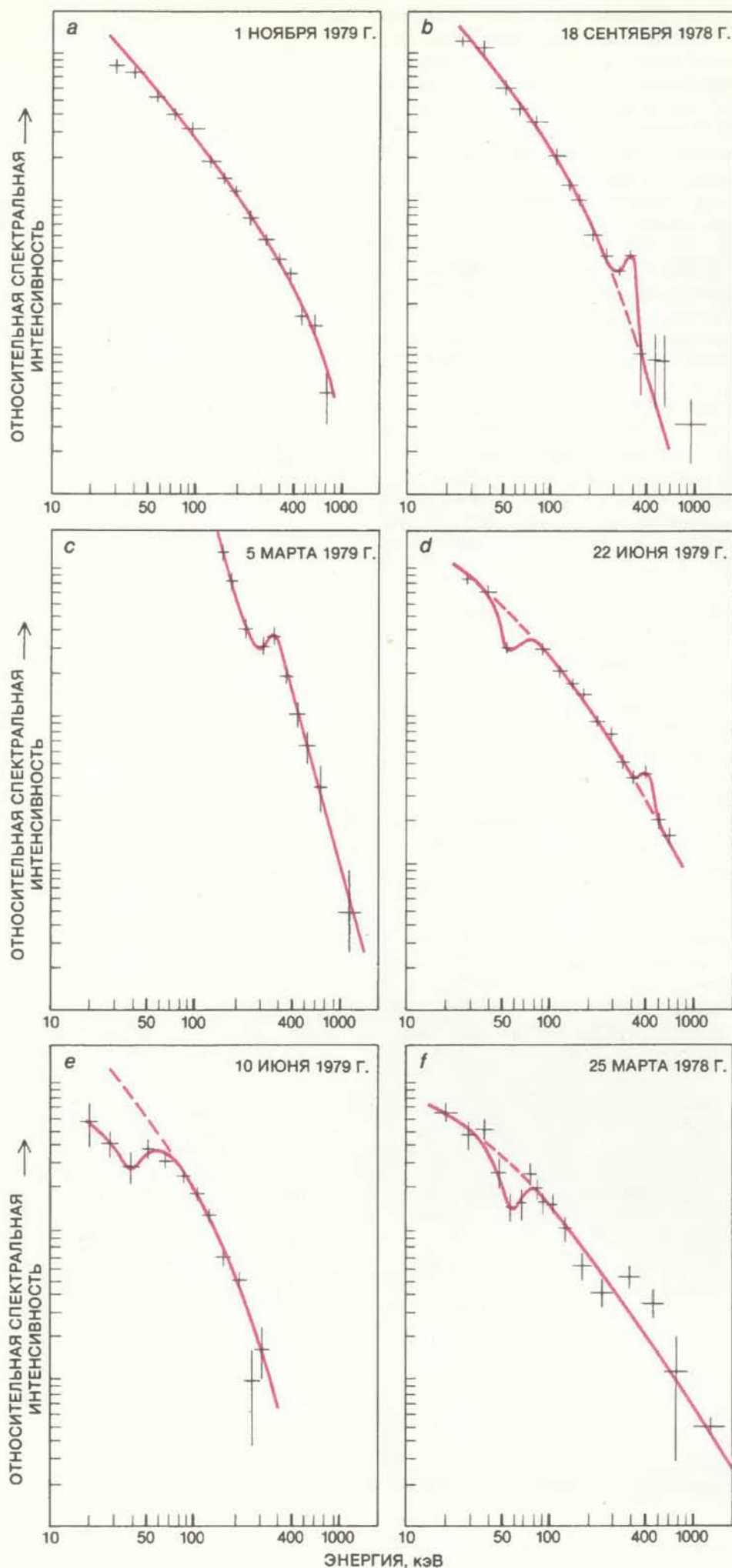
Кроме того, такое объяснение противоречит данным о положениях источников наблюдавшихся гамма-всплесков на небесной сфере. Действительно, из этого предположения следует, что удаленные источники всплесков должны быть распределены в пространстве неоднородно. Следовательно, на небесной сфере они должны концентрироваться в тех направлениях, которые соответствуют пространственным областям, где эти объекты преобладают (например, галактическая плоскость или некоторые ближайшие скопления галактик). Однако, как показал в 1981 г. М. Дженингс из Калифорнийского университета в Риверсайде, слабые всплески распределены на небе так же однородно, как и сильные. К настоящему времени, как возможное решение этой проблемы, предложено пять приемлемых, но взаимно исключающих друг друга гипотез.

СИТУАЦИЯ, которую я описал, выглядит, вероятно, довольно запутанной. Основные полученные данные оказываются под сомнением из-за несоответствия между изучаемым явлением и имеющимися возможностями наблюдений. Даже те данные, которые можно было бы считать бесспорными, во всех случаях допускают различные объяснения. Возникает вопрос, известны ли в настоящее время какие-либо факты о природе источников гамма-всплесков, которые можно считать нетривиальными.

Однако ситуация, вероятно, не настолько плоха, как я ее изобразил. В последние годы исследователи пришли к единому мнению о некоторых свойствах источников гамма-всплесков, которое сводится к трем основным выводам: звездные системы, излучающие гамма-всплески, содержат нейтронные звезды; эти нейтронные звезды имеют сильные магнитные поля; большинство источников находится в пределах нашей Галактики. Хотя ни одно из этих положений окончательно не доказано — причем обоснованное возражение может быть противопоставлено каждому из

УНИКАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ всплеска 5 марта 1979 г. хорошо видны на кривой блеска. Поток излучения увеличился за время меньше 0,0002 с до уровня, который более чем в 10 раз превышает максимальный поток, зарегистрированный для других известных всплесков. При уменьшении потока наблюдались пульсации с периодом около 8 с. Это единственный всплеск, для которого наблюдалась периодичность излучения.





них, — вместе они дают наиболее простое объяснение имеющимся данным.

Креугольным камнем этого объяснения служит убеждение, что нейтронные звезды каким-то образом связаны с генерацией гамма-всплесков. Нейтронная звезда — очень небольшой и очень плотный объект, который возникает на поздних стадиях звездной эволюции. (Радиус нейтронной звезды равен примерно 10 км, в то время как в центре ее плотность может быть более 61 тыс. тонн в 1 см^3 .) Поскольку мощные гравитационные и магнитные поля на поверхности нейтронных звезд обладают достаточным запасом энергии для генерации гамма-всплесков, предложено много механизмов, которые могли бы преобразовать эту энергию в поток гамма-лучей. Именно тот факт, что нейтронные звезды действительно существуют и достаточно распространены в нашей Галактике, очень обнадеживает при создании теории, объясняющей природу гамма-всплесков.

Не только теоретические предположения указывают на то, что источники гамма-всплесков содержат нейтронные звезды; имеются также определенные наблюдательные данные, которые это подтверждают. Один из таких фактов — очень короткое время изменения интенсивности излучения всплесков. Некоторые события имеют продолжительность всего 0,01 с, а у всплеска, который был зарегистрирован 5 марта 1979 г., возрастание интенсивности произошло всего за 0,0002 с. Так как источник не может существенно изменить яркость за время, более короткое, чем то, за которое свет пересекает излучающую область, размер области генерации всплеска 5 марта 1979 г. должен быть меньше 0,0002 световых секунд, т.е. менее 64 км. Немногие астрономические объекты удовлетворяют этому ограничению на размер или обладают энергией, достаточной для обеспечения мощности всплеска. Однако нейтронные звезды удовлетворяют обоим этим требованиям.

Другой факт, подтверждающий отождествление нейтронных звезд с

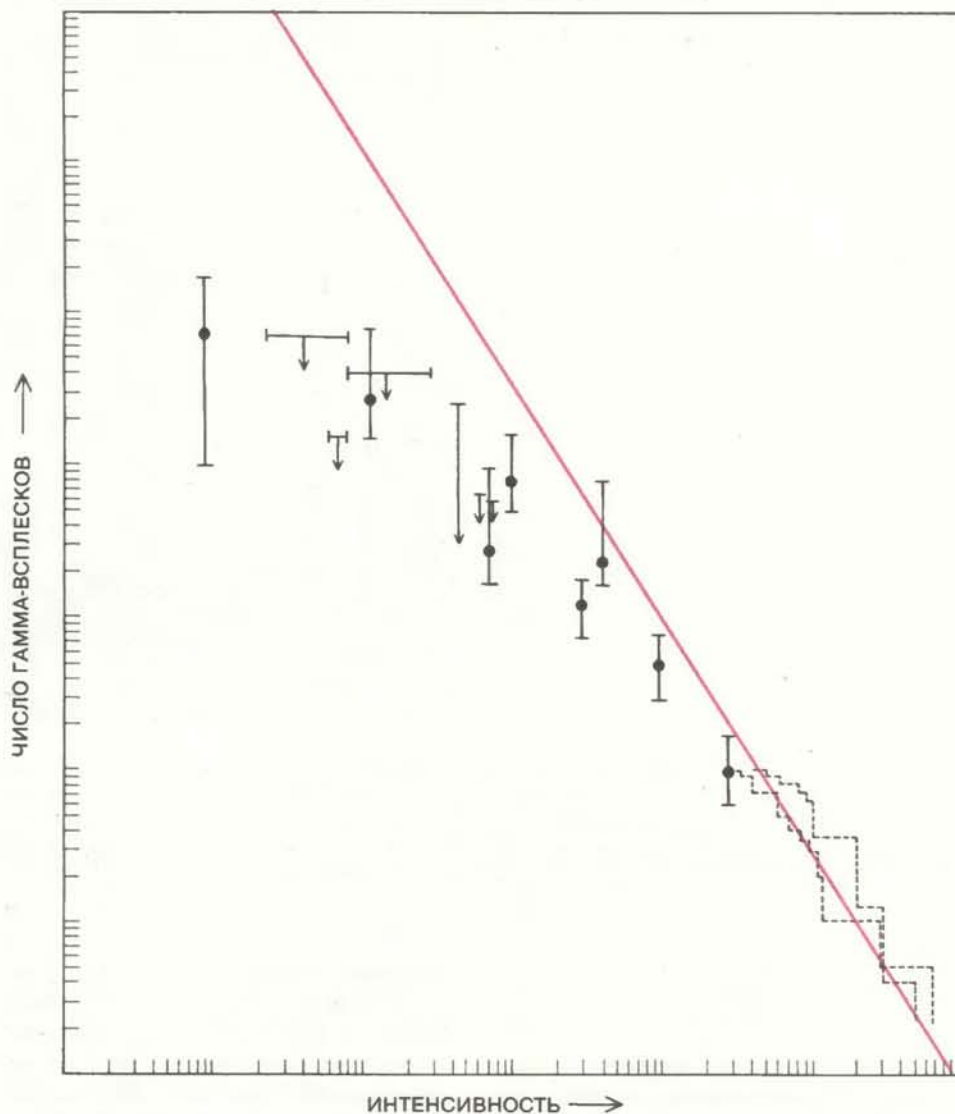
СПЕКТРЫ гамма-всплесков имеют характерные особенности. Некоторые всплески имеют линии поглощения или эмиссии в области энергий от 40 до 70 кэВ (*d, e, f*). Эта особенность может быть вызвана круговым движением электронов в сильном магнитном поле вблизи излучающей области. Другая особенность спектров (*b, c, d*) — эмиссионная линия при 420 кэВ — связана с аннигиляцией позитронов и электронов.

источниками гамма-всплесков, связан с особенностью спектров, обнаруженной примерно у 7% всплесков. Эти спектры имеют линию с энергией около 420 кэВ. Известно только несколько процессов, в которых может генерироваться достаточно мощная линия в этом диапазоне. Наиболее вероятно, что линия генерируется, когда электроны сталкиваются со своими античастицами — позитронами. При этом происходит аннигиляция обеих частиц и превращение их энергии, включая энергию массы покоя, в два фотона. Каждый фотон имеет энергию около 511 кэВ. Однако если аннигиляция происходит вблизи поверхности нейтронной звезды, то прежде, чем фотоны достигнут Земли, они должны выйти из гравитационного поля этой звезды и поэтому теряют часть своей энергии (уменьшение энергии фотона называют красным смещением, оно было предсказано в общей теории относительности). Фотоны теряют как раз энергию, равную разности между энергией 511 кэВ, с которой они были излучены, и энергией 420 кэВ, которой соответствует эмиссионная линия гамма-всплесков.

Следующее подтверждение связи нейтронных звезд с источниками гамма-всплесков вытекает из двух особых свойств всплеска, происшедшего 5 марта 1979 г. Первое заключается в том, что область локализации источника этого всплеска на небесной сфере находится очень близко к остатку сверхновой. Если рассматривать такое отождествление как реальное, то следует связать источник всплеска с этим остатком. Поскольку нейтронные звезды обычно возникают в результате взрывов сверхновых, можно предположить, что нейтронная звезда по крайней мере отчасти связана с всплеском 5 марта 1979 г.

Второе уникальное свойство этого события состоит в пульсации излучения с периодом около 8 с. Во многих случаях периодические изменения блеска астрономических объектов можно объяснить вращением звезды: вследствие ее вращения пучок лучей, испускаемых некоторой частью поверхности, периодически попадает на Землю. Восьмисекундный период является типичным для нейтронных звезд, в то время как для других объектов он представляется слишком коротким.

ВАЖНОЙ особенностью современных представлений об источниках гамма-всплесков служит гипотеза о наличии сильного магнитного поля. Ни один из аргументов в пользу этой гипотезы сам по себе не является абсолютно убедительным: каждый от-



ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ источников гамма-всплесков можно исследовать на основе анализа зависимости числа всплесков с интенсивностью, превышающей заданную величину, от этой величины. Если источники всплесков распределены однородно, то такая зависимость (представленная в логарифмическом масштабе) должна соответствовать прямой линии с наклоном $-3/2$ (выделено цветом). Отклонение от прямой означает, что наблюдаемые источники распределены неоднородно. Пунктирные линии соответствуют данным экспериментов, выполненным на различных космических аппаратах.

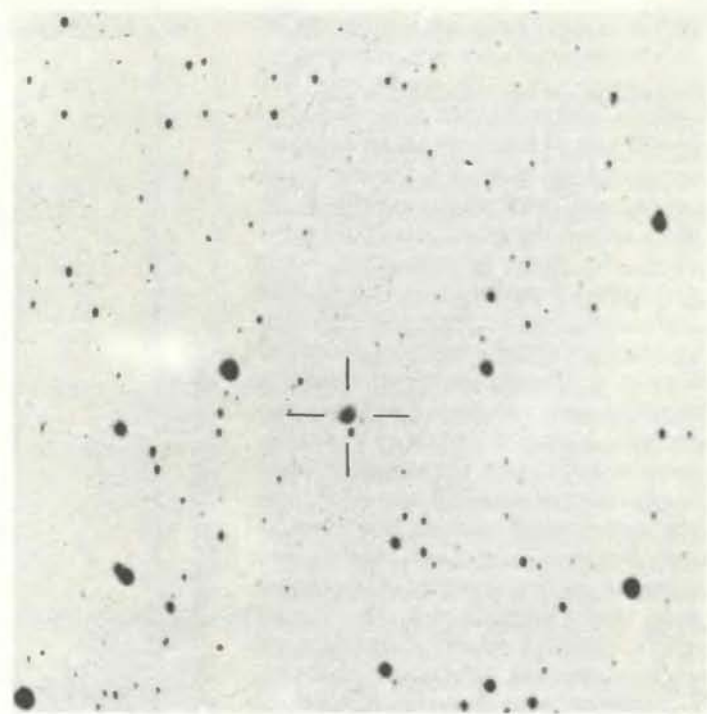
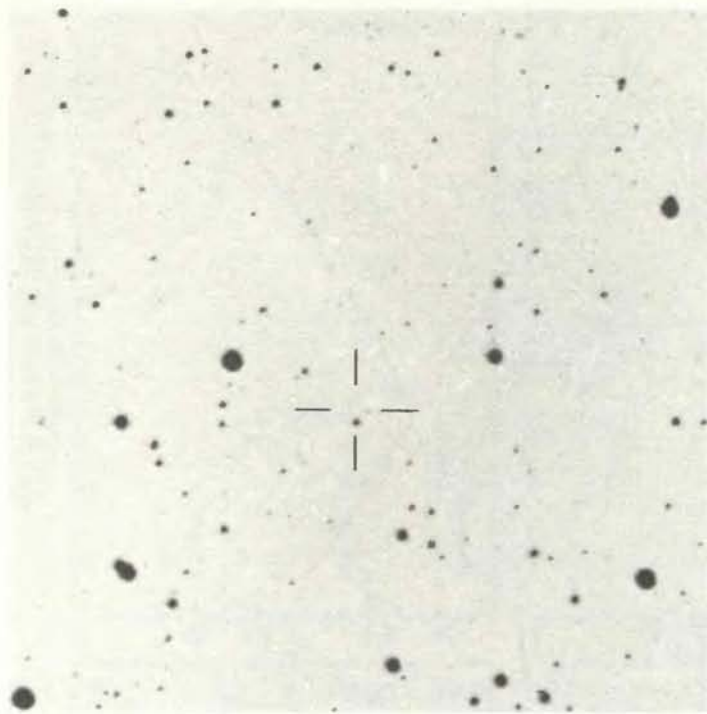
дельный факт можно объяснить без предположения о наличии поля. Однако вместе они достаточно убедительны для введения сильного магнитного поля в теорию космических гамма-всплесков.

Наиболее важный из этих фактов — обнаружение эмиссионных или абсорбционных спектральных линий в области от 40 до 70 кэВ. Если эти линии обусловлены круговым движением электронов, то магнитное поле, которое вызывает такое движение, должно иметь напряженность порядка 10^{12} Гс (для сравнения: магнитное поле Земли равно приблизительно 0,5 Гс). Если бы поле было слабее, то электроны испускали бы циклотронное излучение с гораздо меньшей энергией.

Второй наблюдательный факт — восьмисекундная периодичность всплеска 5 марта 1979 г., которая, вероятно, была вызвана вращением нейтрон-

ной звезды. Излучающая область звезды периодически меняет свое положение относительно направления наблюдения. Если бы эта область оказалась на одном из полюсов, где ось вращения пересекает поверхность звезды, то пучок лучей не вращался бы, и поэтому эффект периодической модуляции излучения должен был отсутствовать. Следовательно, должна существовать физическая причина «асимметрии» излучающей области относительно оси вращения. Наиболее вероятная причина этого — магнитное поле, ось которого не параллельна оси вращения нейтронной звезды.

ПРЕДПОЛОЖЕНИЕ о значении магнитного поля для генерации гамма-всплесков подтверждается не только наблюдательными фактами, но и теоретическими выводами. Наиболее важный из них заключается в



ОПТИЧЕСКАЯ ВСПЫШКА обнаружена на одной из двух фотографий, сделанных 17 ноября 1928 г.; фотография слева получена на 45 мин. раньше, чем фотография справа. Вспышка произошла в той же области, где 19 ноября 1978 г. был зарегистрирован гамма-всплеск. Изображения

звезд на фотографии справа слегка вытянуты вследствие погрешностей системы гидирования. Изображение вспышки не вытянуто; это указывает на то, что ее продолжительность была гораздо меньше полного времени экспозиции.

том, что любая область, испускающая интенсивный поток гамма-лучей, должна удерживаться внешней силой. В противном случае внутреннее давление излучения вызовет ее быстрое расширение, в результате которого плотность среды резко снизится и эмиссия гамма-лучей прекратится. Даже если огромная сила притяжения нейтронной звезды не сможет удержать интенсивный источник гамма-лучей, магнитное поле с напряженностью 10^{12} Гс, по-видимому, окажется достаточным для этого.

Еще одна особенность источников гамма-всплесков, которая считается общепринятой, — их принадлежность к нашей Галактике. Важнейший довод в поддержку этой гипотезы основан на необходимости связать с гамма-всплесками огромное энерговыделение в случае, если их источники являются внегалактическими. Чтобы обеспечить наблюдаемую яркость вспышки, для источника в нашей Галактике достаточна энергия в 10^{38} эрг, энергия же внегалактического источника должна составлять по крайней мере 10^{46} эрг. В то время как объяснить процесс генерации нейтронной звездой энергии, равной 10^{38} эрг, сравнительно просто, объяснение энерговыделения на уровне 10^{46} эрг сталкивается с серьезными трудностями.

Анализ зависимости числа вспышек с интенсивностью, превышающей заданную, от величины этой ин-

тенсивности также подтверждает гипотезу, согласно которой источники вспышек находятся в пределах нашей Галактики. Если бы большинство источников оказались вне Галактики, они, по-видимому, должны были находиться в области других больших скоплений вещества (например, в других галактиках или скоплениях галактик). Наблюдаемое распределение источников в пространстве в этом случае было бы нерегулярным и локальные повышения их концентрации должны были бы располагаться на различных расстояниях от Земли. Указанная зависимость должна была бы иметь локальные максимумы, соответствующие расстояниям до таких локальных областей. Однако кривая, соответствующая наблюдавшимся вспышкам, таких особенностей не имеет.

ХОТЯ изложенные теоретические представления служат хорошей основой для дальнейшего изучения гамма-всплесков, их применение ограничено трудностями, с которыми сопряжено получение надежных наблюдательных данных в гамма-диапазоне. Многие из этих трудностей можно было преодолеть, если бы обнаружилась возможность наблюдения фотонов низких энергий, испускаемых источниками гамма-всплесков. В связи с этим усилия ученых были направлены на высокоточную локализацию на небесной сфере как можно большего

числа вспышек. Полученные области локализации исследовались на оптических телескопах в поисках сопутствующих явлений.

Кроме двух исключений, результаты оказались отрицательными. Первое исключение — уникальный всплеск, происшедший 5 марта 1979 г., который был предположительно отождествлен с остатком сверхновой. Второе — три оптические вспышки, которые я обнаружил в 1981 г. (будучи аспирантом Массачусетского технологического института). В поиске оптических вспышек источников гамма-всплесков было исследовано примерно 30 тыс. фотографий — значительная часть архивной коллекции из 500 тыс. фотографий Обсерватории Гарвардского колледжа. Я изучил все фотографии из гарвардской коллекции, которые содержали области неба, где позднее были локализованы гамма-всплески. На трех фотографиях трех различных областей небесной сферы, полученных в 1901, 1928 и 1944 гг. соответственно, я обнаружил звездоподобные изображения, которые не были заметны на других фотографиях этих областей. Эти изображения оптических вспышек, безусловно, связаны с гамма-всплесками, наблюдавшимися позднее.

Хотя было бы желательно иметь больше данных, многое можно выяснить и из анализа только этих трех вспышек. Например, во всех трех слу-

чая энергия, соответствующая более позднему гамма-всплеску, почти в 1000 раз превышает энергию оптической вспышки. Совместно с другими теоретическими предпосылками это отношение указывает на то, что излучающая гамма-всплеск нейтронная звезда имеет оптического партнера; им может быть слабая звезда или холодный аккреционный диск.

Поскольку положение источника всплесков по оптическим данным устанавливается гораздо точнее, чем по данным, полученным в гамма-диапазоне, обнаруженные изображения позволяют провести глубокий поиск стационарного излучения источников гамма-всплесков с помощью больших оптических телескопов. Хотя для этих трех случаев результаты не являются окончательными, по видимому, в спокойном состоянии источники всплесков — крайне слабо излучающие объекты.

Статистический анализ этих трех оптических вспышек позволяет заключить, что источники всплесков излучают такие вспышки примерно раз в год. Я исследовал архивные фотографии, соответствующие приблизительно трехмесячной экспозиции для каждой из 12 областей локализации гамма-всплесков (фактическая продолжительность суммарной экспозиции составляет три года). Поскольку на фотографиях, соответствующих этой трехгодичной экспозиции, были обнаружены три вспышки, среднее время между оптическими вспышками источника гамма-всплесков можно считать равным одному году. Полученный результат позволяет исключить модели, которые не согласуются с возможностью ежегодных оптических вспышек.

Таким образом, исследование оптических вспышек показало, что наблюдения гамма-всплесков в области малых энергий могут дать полезную информацию.

ВБЛИЖАЙШИЕ годы будет начато несколько экспериментов, которые позволят получить новые данные об источниках гамма-всплесков. Наибольший интерес вызывает прибор на борту спутника «Гамма-обсерватория», запуск которого планируется в США в 1988 г. Этот инструмент принципиально не будет отличаться от предшествующих, но его чувствительность будет во много раз выше. Детекторы на «Гамма-обсерватории» будут регистрировать всплески, в 10 или 100 раз более слабые, чем те, которые могли наблюдаться в эксперименте «Конус». Они позволят определить положение источников всплесков на небе с точностью около 1°. Кроме того, детекторы, предна-

значенные для спектральных измерений, позволят получить спектры всех регистрируемых всплесков в широком диапазоне энергий.

Второй крупный эксперимент, разработка которого находится в настоящее время в завершающей стадии, предназначен для поиска оптических вспышек. Прибор будет состоять из двух частей. Первый инструмент, разрабатываемый Р. Вандерспеком и Дж. Риккером из Массачусетского технологического института, будет «патрулировать» большую часть доступной для наблюдений небесной сферы, чтобы обнаружить любое быстрое увеличение оптической яркости. В течение секунды с начала вспышки данные о ее положении будут передаваться на второй инструмент — оптический телескоп, наводящийся в

любое доступное направление за 1 с. (эта часть эксперимента разрабатывается Б. Тигарденом, Р. Каипой, Т. фон Росенвинге и Т. Клайном из Годдардовского центра космических полетов). Исследователи планируют регистрировать примерно двадцать всплесков в год.

Результаты, которые будут получены в этих и других экспериментах, в конечном итоге должны раскрыть истинную причину гамма-всплесков. Несмотря на то что в настоящее время установлены основные свойства источников гамма-всплесков, это явление остается одним из наиболее загадочных в современной астрофизике. Я с нетерпением жду того дня, когда будут получены данные, которые позволят нам окончательно понять его природу.

Наука и общество

Подлежит уточнению?

БОЛЕЕ года назад группа американских ученых — специалистов в области физики атмосферы и астрономов — впервые выдвинула гипотезу о ядерной зиме, и в течение всего этого времени она подвергается резкой критике как с научной, так и с политической точки зрения. Аргументируя тем, что любая попытка рассчитать долгосрочные климатические последствия ядерной войны неизбежно связана с массой не поддающихся учету факторов, некоторые критики считают, что-де ученым вообще не пристало публично обсуждать эту проблему до тех пор, пока не появится более убедительная основа для полных ужаса прогнозов. Другие идут еще дальше, приписывая авторам сценария ядерной зимы политические устремления. Сценарий, о котором идет речь, известен как исследование \$m001 группы ТТАПС (по первым буквам фамилий ученых, приводивших его, — Р. Турко, О. Тун, Т. Аккерман, Дж. Поллак и К. Саган.).

В ответ на критические замечания в свой адрес группа ТТАПС заявила, что авторы осознают степень неопределенности сделанного ими прогноза, что они стремились максимально обосновать свои предварительные расчеты, привлекая к их оценке признанных экспертов из различных областей, имеющих отношение к данной проблеме, и что в своем докладе они ясно выразили надежду на то, что «научные аспекты их работы будут всесторонне и критически проверены». Отмечая, что сценарий ядерной

зимы «не поддается экспериментальному уточнению — по крайней мере более одного раза», ученые пишут: «Открытое обсуждение этой проблемы — единственно правильный путь, позволяющий показать весь ужас потенциальной климатической катастрофы, который, как мы полагаем, нам удалось раскрыть».

Последним свидетельством того, что научная общественность в большинстве своем отнеслась к прогнозам относительно ядерной зимы со всей серьезностью, является опубликованный в декабре прошлого года доклад на 193 страницах, представленный междисциплинарной группой специалистов, которых Национальный научный совет (ННС) призвал оценить имеющиеся по рассматриваемому вопросу данные. В этом докладе ННС, написанном по заданию министерства обороны США, содержится вывод о том, что, хотя сейчас и невозможно точно и детально предсказать, какое влияние на климат окажет ядерная война, в силу ограниченности наших знаний по многим вопросам, не исключено, что предлагаемый сценарий ядерной зимы «вполне реален». Отзываясь на призыв ученых группы ТТАПС, сформулированный в их докладе, специалисты, привлеченные ННС, рекомендовали признать первоочередными те научные задачи, решение которых будет направлено на повышение достоверности оценок возможных климатических последствий глобальной ядерной войны.

Броуновское движение

Наблюдения за хаотическим движением частицы, взвешенной в жидкости, позволили в начале XX в. точно определить массу атомов. В настоящее время броуновское движение служит математической моделью случайных процессов

БЕРНАРД Х. ЛАВЕНДА

ИНОГДА в породах вулканического происхождения встречаются капли воды, захваченные при охлаждении расплава. В первой половине XIX в. шотландский ботаник Р. Броун обнаружил такую каплю в куске кварца. Эта вода на протяжении многих миллионов лет была недоступна для спор и цветочной пыльцы, переносимых ветром и дождем. Сфокусировав микроскоп на капле, Броун увидел десятки мельчайших частиц, двигавшихся самым беспорядочным образом. Такое движение не было для Бруна новостью; ему и раньше доводилось наблюдать подобное хаотическое движение при исследовании частиц цветочной пыльцы в воде. Но в свете нового эксперимента он вынужден был отказаться от объяснения, которое давал этому явлению ранее: «Живучесть сохраняется (у «молекул» растения) долго после смерти (растения)». Броун сделал правильный вывод, что движение частичек, «запертых» в кварце, должно быть не биологическим, а физическим явлением, но сказать что-нибудь более определенное в то время он не мог.

Причины так называемого броуновского движения сейчас хорошо известны. Частицу цветочной пыльцы или пылинку, взвешенную в какой-либо жидкости, непрерывно «бомбардируют» окружающие ее молекулы жидкости. Импульс одной молекулы вряд ли может быть достаточно большим для того, чтобы результат ее удара о частицу был виден под микроскопом. Но если с частицей сталкивается сразу большое число молекул, движущихся в одном направлении, то они могут вызвать ее заметное смещение.

Следовательно, броуновское движение — это вдвойне случайный эффект. Во-первых, траектория взвешенной частицы оказывается хаотической из-за случайных флуктуаций в скоростях соседних молекул. Во-вторых, микроскоп — своего рода фильтр и делает видимым только результат сравнительно больших флуктуаций в локальном молекулярном

окружении, так что наблюдаемое движение — это лишь слабый намек на истинную траекторию частицы. Если разрешающую силу микроскопа увеличить, например в 10, 100 или 1000 раз, то можно будет различать воздействия, оказываемые все меньшими и меньшими группами бомбардирующих молекул. При каждом таком увеличении участки траектории частицы, которые ранее казались прямолинейными, будут становиться беспорядочно изломанными. Траектория частицы при броуновском движении была первой встретившейся в природе линией, которая остается подобной самой себе при любом увеличении. Б. Менделброт из Исследовательского центра Томаса Дж. Уатсона фирмы ИВМ назвал такие геометрические объекты фракталами.

Вероятностные процессы

В начале нашего столетия стало ясно, что исследование броуновского движения имеет очень важное значение для развития физики, химии и математики. На основе таких исследований А. Эйнштейн доказал справедливость атомной теории строения вещества. Кроме того, он показал, что, измерив некоторые величины, характеризующие броуновское движение, можно определить ряд важных физических констант: массы атомов и молекул и число Авогадро, т.е. число молекул в одном моле (стандартной химической единице количества вещества). Изучение броуновского движения привело также к более глубокому теоретическому пониманию начал термодинамики, которые ранее были

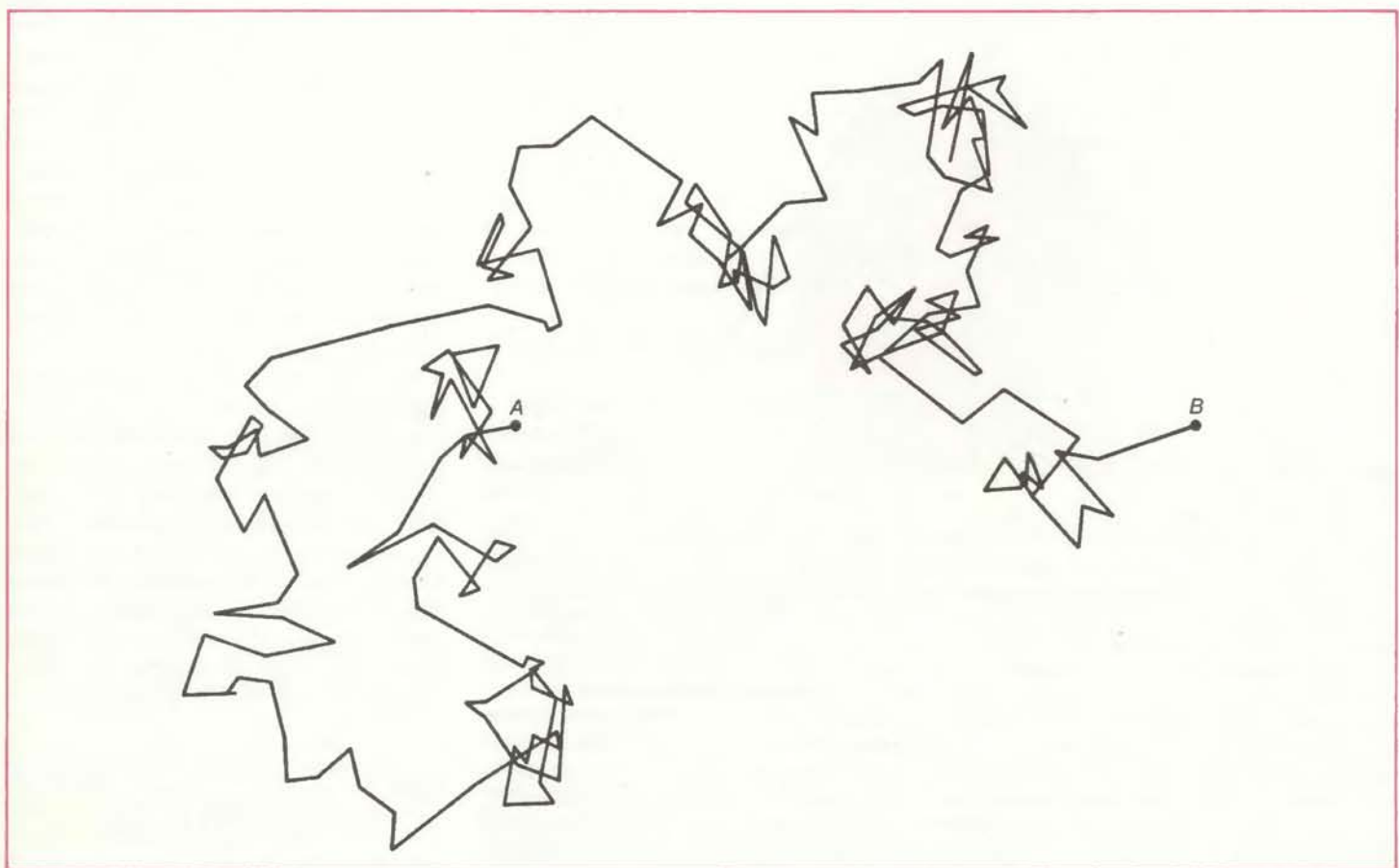
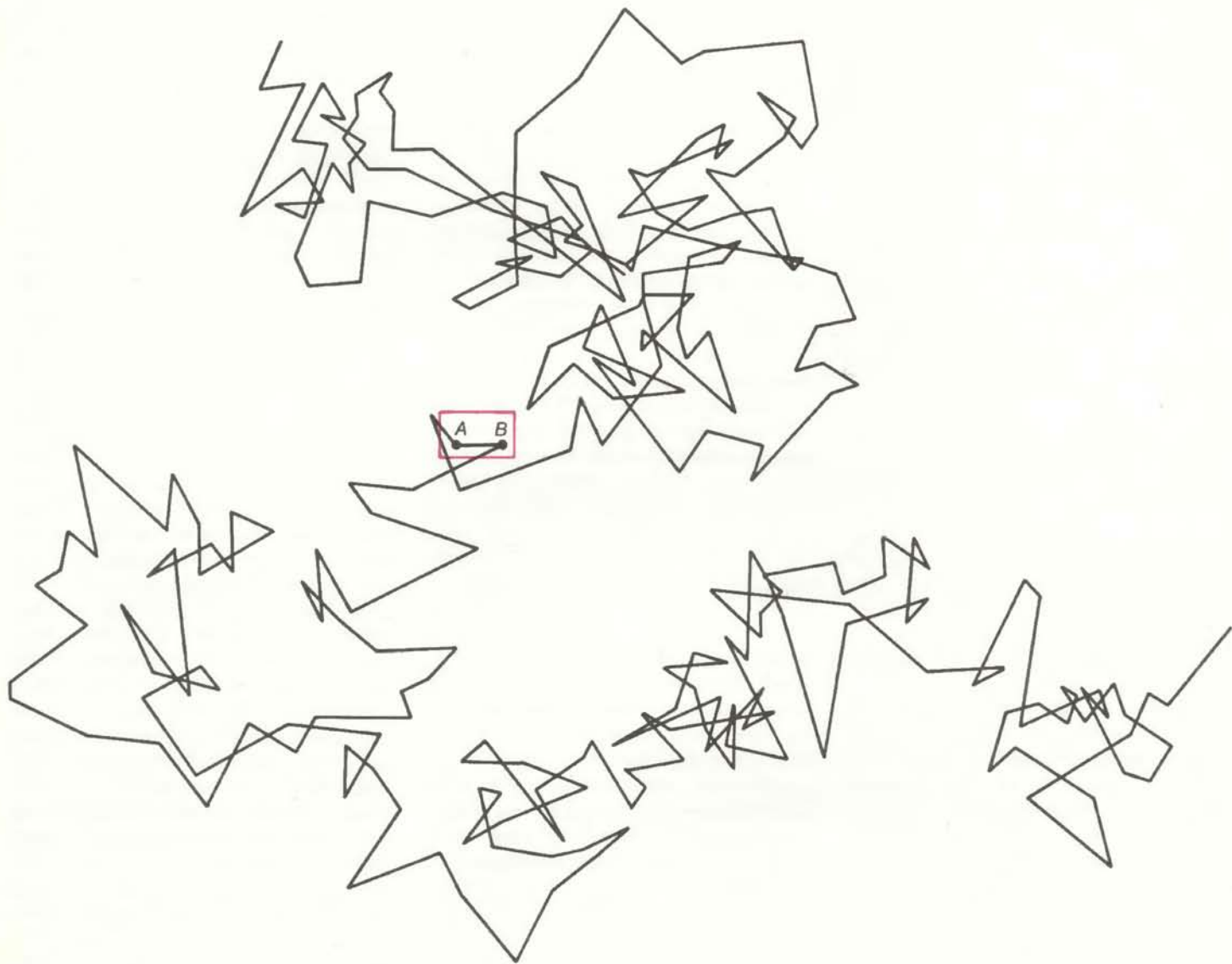
сформулированы как упрощенные эмпирические обобщения.

Позже изучение броуновского движения привело к созданию ряда математических методов для исследования вероятностных процессов. Эти методы нашли практическое применение в борьбе с электромагнитным «шумом»; они позволили также лучше понять динамику образования звездных скоплений, эволюцию экологических систем и колебания курса акций на бирже.

Удивительно, что в XIX в. броуновское движение не вызывало особого внимания со стороны ученых. Его объясняли действием локальных потоков в жидкости, обусловленных малыми разностями температуры в ней. Но если бы это было так, то частицы, находящиеся близко друг к другу и увлекаемые одним и тем же локальным потоком, должны были бы двигаться примерно в одном направлении. Под микроскопом этого не наблюдается. Взвешенные частицы движутся независимо друг от друга, даже если расстояние между ними меньше их диаметра.

К концу прошлого столетия были обнаружены некоторые закономерности броуновского движения, связанные с движением молекул. Например, чем меньше размеры частицы, тем быстрее она двигалась. Повышение температуры жидкости тоже приводило к более интенсивному броуновскому движению. Когда появилась кинетическая теория газов (разработанная Дж. Максвеллом и Л. Больцманом в 70-х годах XIX в.), было установлено, что такие физические эффекты согласуются с ней. Но лишь

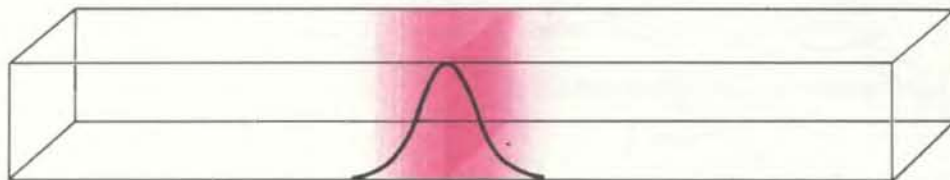
ХАОТИЧЕСКОЕ БРОУНОВСКОЕ ДВИЖЕНИЕ микроскопической частицы, взвешенной в воде, показано на рисунке вверху так, как оно было вычерчено французским физиком Ж. Перреном в 1912 г.; точками отмечены последовательные положения частицы через каждые 30 с. Перрен отмечал, что такие графики «дают лишь очень отдаленное представление о необычайной изломанности истинной траектории». Если малый участок изображенной траектории увеличить и отмечать положение частицы, скажем, в 100 раз чаще, то сложность первоначальной траектории полностью сохранится (внизу). Диаграмма внизу построена автором статьи с помощью моделирования на ЭВМ.



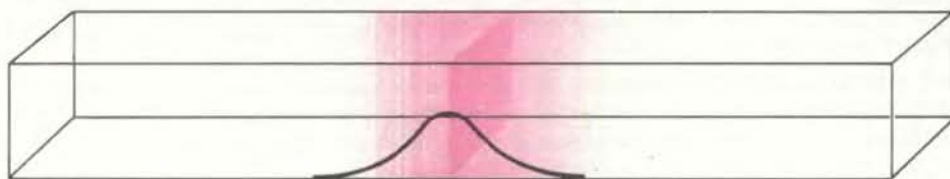
ВРЕМЯ = 0



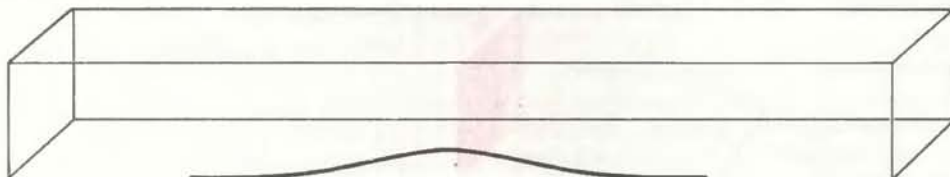
ВРЕМЯ = 0,3 с



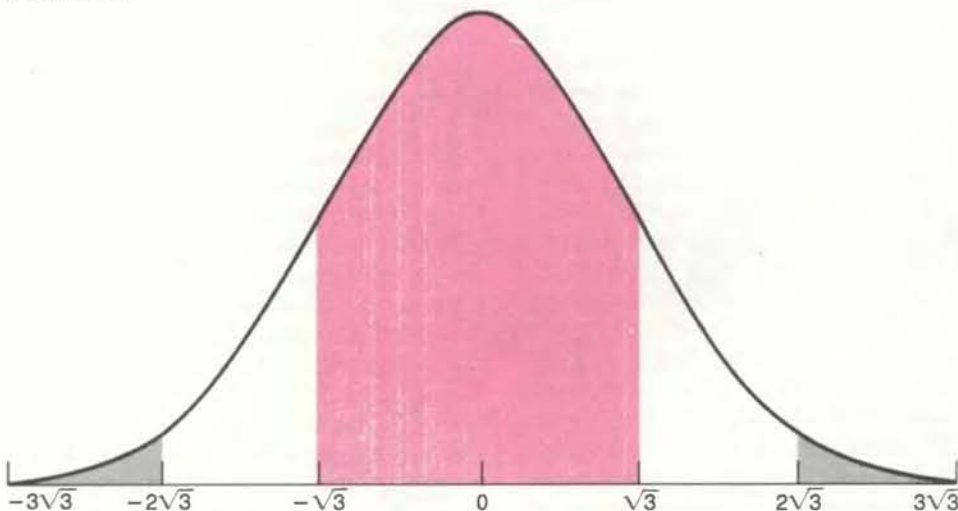
ВРЕМЯ = 1 с



ВРЕМЯ = 5 с



ВРЕМЯ = 3 с



ДИФФУЗИЯ броуновских частиц (выделено цветом) в жидкости или газе; показано их распределение в последовательные моменты времени. Частицы начинают диффундировать с проницаемой мембраны, находящейся в середине сосуда прямоугольного сечения. Колоколообразные кривые дают в каждый момент времени относительную плотность частиц в каждой точке по горизонтали. Среднеквадратичное смещение частицы по истечении данного времени пропорционально корню квадратному из этого времени. Кривая внизу показывает, как среднеквадратичное смещение связано с вероятностью того, что по истечении данного времени частица будет находиться в том или ином месте в сосуде. Например, если среднеквадратичное смещение за 3 с равно $\sqrt{3}$ см, то вероятность найти частицу в пределах $\sqrt{3}$ см от мембраны равна площади цветного участка под кривой, что составляет $\sim 0,68$. Вероятность того, что частица будет находиться далее $2\sqrt{3}$ см от мембраны, равна сумме площадей двух участков серого цвета, что составляет меньше 5% площади под всей кривой.

в 1905 г. А. Эйнштейн указал на первые количественные следствия из этой теории, относящейся к броуновскому движению*

Кинетическая теория газов

Кинетическая теория газов была первой успешной попыткой, показавшей, что хорошо известные свойства газов — это макроскопические проявления движения атомов. Например, еще со времен Р. Бойля (XVII в.) известно, что давление газа находится в обратном отношении к его объему. Если объем уменьшается (а температура не изменяется), то давление повышается пропорционально уменьшению объема. Если же объем увеличивается, то давление снижается. Согласно кинетической теории, давление есть результат непрерывной бомбардировки атомами газа стенок сосуда, в котором они находятся. При уменьшении объема давление повышается, потому что учащаются удары атомов, так как их становится больше в единице объема.

Известно, что давление газа прямо пропорционально температуре. С повышением температуры (при постоянном объеме) давление повышается, а с понижением температуры — снижается. В кинетической теории температура рассматривается как мера средней кинетической энергии атомов. Повышение температуры эквивалентно увеличению средней энергии бомбардирующих атомов, поэтому давление увеличивается.

Если рассматривать так называемый идеальный газ, то два указанных соотношения можно объединить в один простой закон: для любого моля любого газа произведение давления на объем, деленное на абсолютную температуру, есть величина постоянная. Эта константа называется универсальной газовой постоянной и обозначается буквой R ; она равна $1,99$ кал/(моль \cdot $^{\circ}$ С).

Создание кинетической теории газов привело к важному шагу вперед в концептуальном отношении: вместо детального описания движения отдельных частиц вещества вводилось его статистическое описание. Это представлялось логичным, так как в системе очень большого числа частиц крайне маловероятны значительные отклонения от среднего. По этой причине кинетическую теорию часто называют статистической механикой.

* Последовательное объяснение броуновского движения на основе молекулярно-кинетической теории было дано А. Эйнштейном и М. Смолуховским в 1905—1906 гг. — Прим. перев.

Сейчас нам совершенно ясно, что частица пыли или цветочной пыльцы, находящаяся среди хаотически движущихся атомов газа или жидкости, не может оставаться в покое. Но чтобы правильно оценить вклад А. Эйнштейна, нужно вспомнить, что 80 лет назад физическая реальность атома и его составных частей, которую мы безоговорочно принимаем, еще не была признана окончательно. Например, немецкий физик В. Оствальд считал, что атомы — это всего лишь «некое гипотетическое представление, которое дает весьма удобную картину» строения вещества.

Эйнштейн был уверен в реальности атомов. В 1905 г. он писал, что первоначальная цель его исследований атомной теории «состояла в том, чтобы найти факты, которые как можно более убедительно доказывали бы существование атомов с определенными размерами. В ходе этого, — продолжал Эйнштейн, — я обнаружил, что, согласно атомистической теории (т.е. кинетической теории), должно существовать движение взвешенных частиц, доступное наблюдению, не зная того, что броуновское движение уже давно наблюдалось и давно известно». Таким образом, Эйнштейн был первым, кому интуиция подсказала, что существование атомов должно проявляться в движении твердых частиц, взвешенных в жидкости. Ничего не зная о броуновском движении, он указал на то, что обнаружение таких частиц явилось бы убедительным подтверждением кинетической теории. Одним из самых удивительных результатов его работы была формула, которая дала возможность впервые точно измерить массу атома.

Диффузия

В исследованиях атомной теории броуновского движения, выполненных Эйнштейном, можно выделить математическую сторону (он вывел уравнение, описывающее диффузию взвешенной «броуновской» частицы в жидкой среде) и физическую, показывающую связь между доступной измерению скоростью диффузии частицы и другими величинами, такими, как число Авогадро и универсальная газовая постоянная.

Чтобы рассчитать диффузию частицы, пользуясь математическим аппаратом классической механики, требуется знать ее начальную скорость, а также величину и направление импульсов, которые частица получает за рассматриваемый отрезок времени. Но поскольку броуновская частица претерпевает примерно 10^{21} столкновений в 1 с, ее начальная скорость очень быстро перестает оказы-

вать какое-либо влияние на движение и далее оно определяется ударами молекул. Описывать отдельно все импульсы — тоже безнадежная задача. Поэтому Эйнштейн отказался от «прямого» механического описания диффузии броуновской частицы. Вместо этого он ввел вероятностное описание.

Чтобы вывести соотношение Эйнштейна, представим себе малый объем произвольной формы в области, доступной для диффундирующих частиц. Скорость, с которой изменяется концентрация диффундирующих частиц, равна разности потока частиц в этот объем и потока из объема. Оба они зависят от плотности потока, т.е. от потока через единицу площади. Плотность потока частиц из одной точки жидкости в другую прямо пропорциональна разности концентраций частиц в этих точках (закон Фика). Коэффициент пропорциональности называют коэффициентом диффузии, обозначают через D и определяют экспериментально.

Математическая запись всего изложенного приводит к дифференциальному уравнению, которое называют уравнением диффузии. Его можно решить, если заданы начальное положение диффундирующего вещества и границы пространства, в котором возможна диффузия. Решение представляет собой математическое выражение, которое дает концентрацию диффундирующего вещества в каждой точке пространства для каждого момента времени. Например, если диффундирующее вещество первоначально сконцентрировано на поверхности проницаемой мембраны, разделяющей на две равные части сосуд прямоугольного сечения, то решение уравнения диффузии дает семейство колоколообразных кривых. Центр каждой из них совпадает с центром сосуда, и с течением времени они становятся более широкими и более пологими (см. рисунок на с. 38).

Смещение частицы

Каждую колоколообразную кривую в данном случае можно интерпретировать иначе: такая кривая дает плотность вероятности диффузии одной-единственной броуновской частицы с центральной мембраны в сосуде. Как плотность обычного вещества, будучи умножена на объем, дает количество этого вещества, так и плотность вероятности, умноженная на соответствующую величину, дает вероятность. В случае нашей колоколообразной кривой соответствующая величина — это не объем, а длина: расстояние между двумя точками на горизонтальной оси графика. Произведение этого расстояния на среднюю

высоту колоколообразной кривой в интервале между двумя точками определяет вероятность.

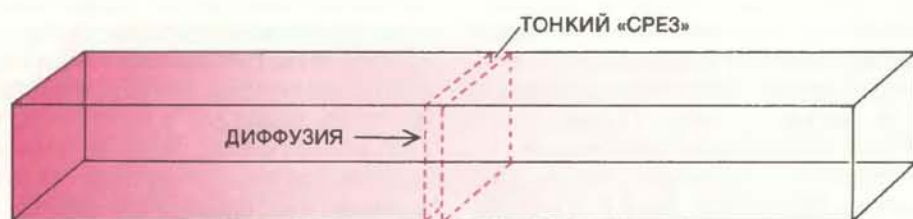
Вероятность того, что броуновская частица будет в определенное время находиться в данной области сосуда, равна площади под одной из колоколообразных кривых между двумя вертикальными прямыми. Каждая вертикальная прямая проходит через одну из двух точек на горизонтальной оси, соответствующих границам рассматриваемой области. При этом решение уравнения диффузии дает не распределение концентрации частиц, а распределение вероятности.

При вероятностном подходе смещение частицы удобно характеризовать среднеквадратичным смещением. Что такое среднеквадратичное смещение, легче всего понять, если рассмотреть диффузию большого числа броуновских частиц. Измерим смещения всех частиц в некоторый момент времени t и возведем их в квадрат. Корень квадратный из среднего всех квадратов смещений и будет среднеквадратичным смещением. Вероятность того, что броуновская частица продиффундирует от мембраны на расстояние, не превышающее одного среднеквадратичного смещения, равна 0,68. Вероятность того, что она пройдет дальше, чем два среднеквадратичных смещения, меньше 0,05.

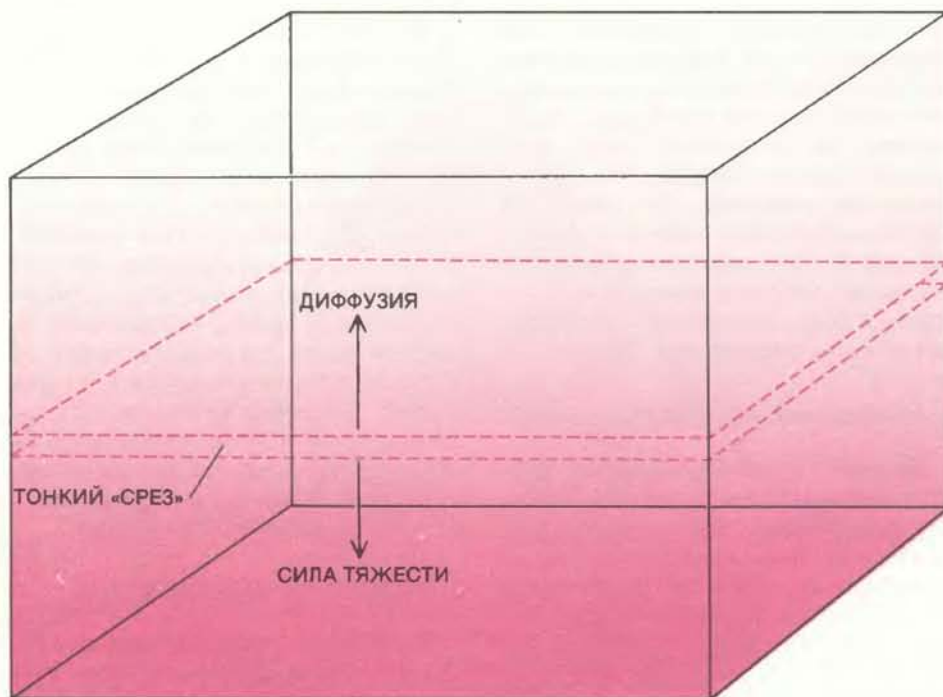
Среднеквадратичное смещение броуновской частицы, диффундирующей от мембраны в сосуде (см. рисунок на с. 38), равно $\sqrt{2Dt}$, где D — коэффициент диффузии, а t — время. Таким образом, если частица в среднем за 1 с диффундирует на 1 см, то 2 см она пройдет за 4 с, а 3 см — за 9 с. При других начальных и граничных условиях дифференциальное уравнение диффузии дает аналогичные решения. Эйнштейну удалось показать, что радиальное смещение частицы, диффундирующей в любом направлении из средней точки, «пропорционально не времени, а корню квадратному из времени». Это объясняется, по его словам, «тем, что пути, проходимые за два следующих один за другим интервала времени, не всегда складываются, а часто вычитаются».

Измерение диффузии

Указанный теоретический вывод сделал возможной первую серьезную проверку выражения Эйнштейна для распределения вероятности смещений броуновской частицы. Французский физик Ж. Перрен вместе со своими студентами наблюдал за движением почти сферической броуновской частицы и регистрировал ее положение через равные интервалы времени. Повторив такой эксперимент много раз,



НЕОДНОРОДНАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ броуновских частиц (выделено цветом) в сосуде прямоугольного сечения служит движущей силой их диффузии в направлении более низкой концентрации. Вверху — график зависимости концентрации частиц от расстояния для данного времени. Скорость изменения концентрации от точки к точке вдоль сосуда характеризуется наклоном прямой, проведенной через две точки на кривой, которые соответствуют двум точкам в сосуде. Средняя плотность потока частиц через любой тонкий поперечный «срез» сосуда пропорциональна скорости изменения концентрации частиц с расстоянием; следовательно, плотность потока пропорциональна наклону прямой, проходящей через две точки на кривой концентрации, которые соответствуют границам тонкого среза.



РАВНОВЕСНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ броуновских частиц в поле земного тяготения устанавливается в результате динамического равновесия между силой тяжести и силой диффузии, толкающей частицы из области более высокой концентрации (внизу) вверх, где концентрация меньше. В любом тонком срезе столба воздуха средняя скорость частиц, движущихся под действием силы тяжести вниз, равна средней скорости частиц, диффундирующих вверх. Скорость движения вверх пропорциональна скорости изменения концентрации с высотой (см. верхний рисунок на этой странице).

они построили график зависимости среднеквадратичного смещения от времени. Получилась прямая линия, по наклону которой был определен коэффициент диффузии D .

Этот экспериментально определенный коэффициент D и есть новая величина, введенная в теории Эйнштейна, которая позволяет измерить массу атома. Представим, что микроскопические броуновские частицы взвешены в вертикальном столбе неподвижного воздуха (см. нижний рисунок слева). Поскольку на частицы действует сила тяжести, они падают вниз. Но когда их концентрация внизу столба увеличится, разность концентраций внизу и вверху будет «гнать» частицы вверх, где их концентрация мала. Когда установится равновесие, распределение частиц будет определяться балансом между силой тяжести, направленной вниз, и диффузионной силой, направленной вверх.

Вязкость воздуха не позволяет частицам бесконечно ускоряться при падении под действием силы тяжести. Они достигают некоторой предельной скорости и затем движутся вниз с постоянной скоростью. Она пропорциональна силе тяжести, действующей на каждую частицу, деленной на вязкость. Поскольку вязкость изменяется с увеличением плотности воздуха, предельная скорость изменяется с высотой, но данное затруднение можно устранить, рассматривая скорость частиц на некоторой произвольно фиксированной высоте. При равновесии число частиц, дрейфующих на некоторой высоте вниз, должно быть равно числу частиц, дрейфующих вверх. Следовательно, на заданной высоте средняя скорость частицы, движущейся вверх, должна равняться предельной скорости частиц, движущихся вниз.

Плотность потока диффундирующих частиц равна их средней скорости, деленной на объем малого «облака» частиц, проходящих через поперечное сечение столба воздуха на данной высоте за малый интервал времени. Поэтому плотность потока можно представить как произведение скорости диффундирующих частиц на их концентрацию C на данной высоте. Поскольку же плотность потока равна также произведению коэффициента диффузии D на скорость изменения концентрации частиц с высотой, средняя скорость частицы, диффундирующей вверх, определяется отношением D/C , умноженным на скорость изменения концентрации с высотой.

Масса атома

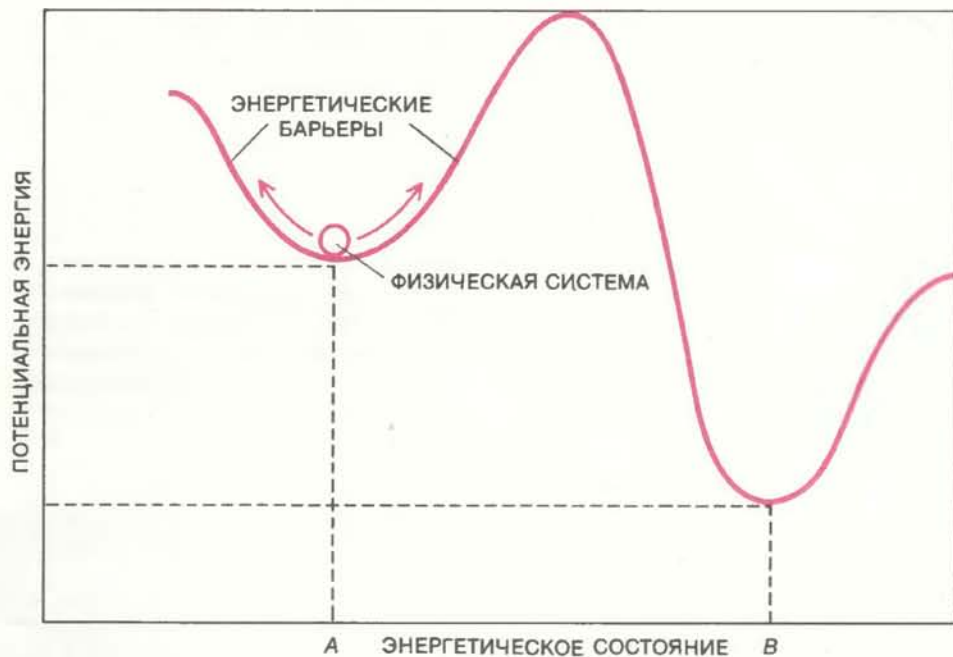
Скорость изменения концентрации пропорциональна скорости измене-

ния давления частиц по высоте, причем коэффициент пропорциональности можно найти из закона состояния идеального газа: N_0/RT , где N_0 — число Авогадро, R — универсальная газовая постоянная, а T — абсолютная температура газа. Здесь число Авогадро появляется просто из закона состояния идеального газа, но когда Эйнштейн проводил свои исследования, это была еще не известная точно величина. Благодаря ее введению в рассматриваемом случае оказалось возможным связать между собой характеристики двух явлений в жидкостях, которые ранее казались никак не связанными: движения частицы в вязкой среде и так называемого осмотического давления (давление, с которым действует на свою границу растворенное вещество, удерживаемое внешней силой в небольшой области жидкости).

Скорость изменения давления по высоте в каждой точке равна произведению концентрации частиц в тонком слое, расположенном на данной высоте, на силу тяжести, действующую на одну частицу. Если принять скорость диффундирующей частицы равной предельной скорости движения этой частицы под действием силы тяжести, то простые алгебраические преобразования приводят к формуле Эйнштейна для коэффициента диффузии $D = RT/fN_0$, где f — вязкость воздуха. Отсюда число Авогадро равно RT/Df .

Найти число Авогадро — значит измерить массу атома. Первым, кто воспользовался формулой Эйнштейна для этой цели, был Перрен, поэтому можно сказать, что Перрен первым «взвесил» атом. Вязкость f можно измерить разными способами, например измерив среднюю скорость частицы, падающей в воздухе. Универсальная постоянная R определяется путем измерения температуры и давления для известного количества газа, заполняющего известный объем. Температура T измеряется термометром, а величину D Перрен определил так, как описано выше. Имея все эти данные, можно найти число Авогадро; оно приблизительно равно $6 \cdot 10^{23}$.

Если учесть, сколько предположений было введено Эйнштейном, то можно лишь удивляться тому, что значение числа Авогадро, найденное Перреном, всего лишь на 19% отличается от значения, принятого в настоящее время. Зная число Авогадро, можно найти массу атома или молекулы. По определению масса атома или молекулы любого вещества есть масса одного моля этого вещества, деленная на число Авогадро. Например, масса одного моля кислорода



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ДИАГРАММА для физической системы с двумя состояниями A и B, потенциальная энергия которых меньше, чем в других близко расположенных состояниях. В отсутствие тепловых флуктуаций система, находящаяся в одном из этих состояний, оставалась бы в нем бесконечно долго. Но если в любом физическом состоянии возможны случайные флуктуации, то существует конечная вероятность того, что система не останется в каком-либо состоянии локального минимума энергии. Например, система, находящаяся в состоянии A, может преодолеть энергетический барьер и перейти в состояние B. Относительную устойчивость этих двух состояний с локальным минимумом энергии можно оценить, сравнив вероятности соответствующих переходов.

равна 16 г. Следовательно, масса одной молекулы кислорода составляет $16/(6 \cdot 10^{23})$, т.е. $2,7 \cdot 10^{-23}$ г. Потребовавшая кропотливого труда и необычайной аккуратности работа, которая завершилась такими вычислениями, нанесла «последний удар» тем, кто еще выражал сомнения относительно атомной теории. В 1926 г. Ж. Перрен был удостоен Нобелевской премии по физике.

Феноменологическая термодинамика

Важное значение работ Эйнштейна по исследованию броуновского движения не исчерпывается тем, что было сказано о них выше. Они не только полностью развеяли сомнения в физической реальности атомов, но и (благодаря своему колоссальному успеху) утвердили статистическую механику как основу для всех начал термодинамики.

Учитывая, как велико число Авогадро и как малы атомы, нетрудно понять, почему еще до разработки статистической механики оказалось возможным сформулировать феноменологические, т.е. макроскопические, принципы термодинамики, которые в основном верны. По закону больших чисел большие флуктуации, т.е. от-

клонения относительно среднего, поведения в макроскопической системе из 10^{23} частиц должны быть редкими. Меньшие же флуктуации, которые теоретически должны чаще встречаться, были слишком малы, чтобы их можно было обнаружить при сравнительно низкой чувствительности измерительных приборов в XIX в. Тем не менее статистический подход к термодинамике означал принципиальный пересмотр ее феноменологических начал.

Например, «вечное» движение броуновской частицы противоречит самому раннему, феноменологическому варианту второго начала термодинамики, согласно которому в любой замкнутой системе температура постепенно выравнивается. Когда равновесие достигнуто, тепловую энергию в такой системе невозможно преобразовать в полезную энергию, т.е. в работу.

Температура броуновской частицы, взвешенной в воде, такая же, как температура воды, но кинетическая энергия ее бесконечного блуждания определяется кинетической энергией молекул воды. Поскольку температура — характеристика кинетической энергии поступательного движения молекул, кратковременная передача их кинетической энергии броуновской частице возможна лишь за счет ло-

кального охлаждения воды. Таким образом, броуновское движение показывает, что состояние с одинаковой температурой, возможность которого допускается феноменологическим вторым началом, в природе никогда не достигается. В определении термодинамического равновесия должны учитываться малые, но отличные от нуля случайные флуктуации температуры системы.

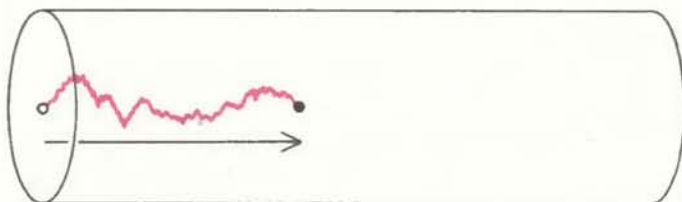
На важное значение таких флуктуаций в физических системах впервые

указал Эйнштейн в 1910 г. Он разработал теорию флуктуаций, для чего ввел в термодинамику статистические понятия. В феноменологической термодинамике подытожен опыт многократно повторенных человеческих наблюдений, который сводится к тому, что энергия всегда постепенно «обесценивается», т.е. ее становится все труднее превращать в полезную работу. Мерой такого «обесценивания» энергии в феноменологической термодинамике служила так называемая

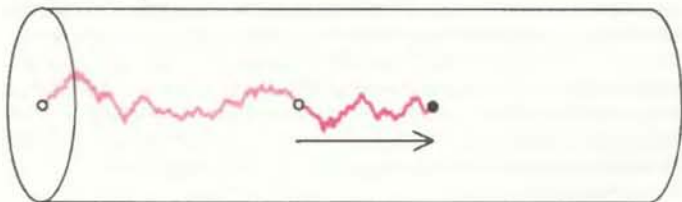
энтропия (от греческих слов, означающих «внутреннее изменение»). Согласно феноменологическому второму началу, энтропия любой системы со временем стремится к своему максимальному значению.

В статистической термодинамике в определение энтропии были внесены тонкие изменения. Согласно атомной теории, все макросостояния (т.е. макроскопические, доступные наблюдению состояния системы), в том числе и состояние равновесия, возникают из

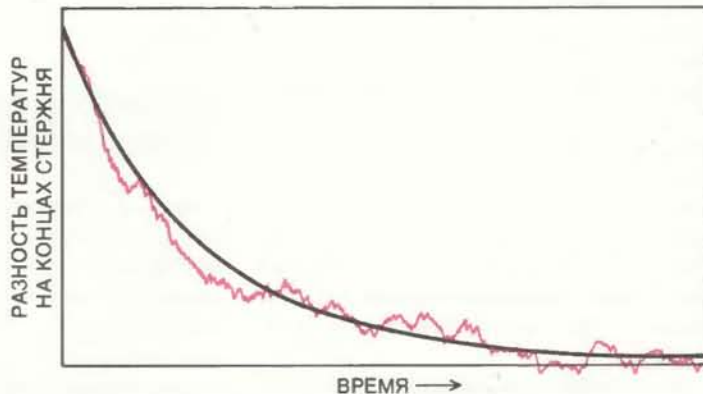
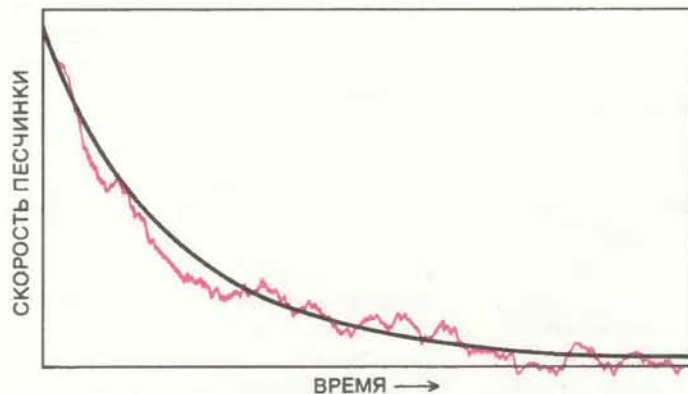
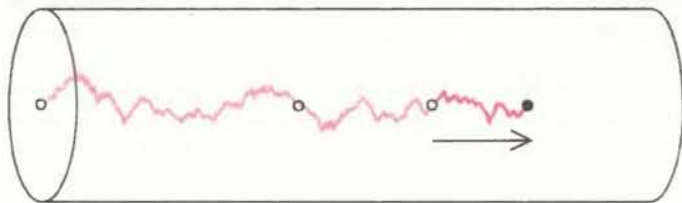
ВРЕМЯ = 1с



ВРЕМЯ = 2с



ВРЕМЯ = 3с



УСТАНОВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ в стержне, нагретом с одного конца (справа), в математическом отношении аналогично движению песчинки в жидкости (слева). Действующая на песчинку сила сопротивления, обусловленная вязкостью жидкости, аналогична «силе», стремящейся вернуть стержень в состояние с однородной температурой. Сила вязкого сопротивления пропорциональна скорости песчинки и постепенно уменьшается по мере замедления песчинки. Точно так же сила, стремящаяся восстановить равновесие в нагретом стержне, пропорциональна разности температур на его концах; по мере уменьшения этой разности восстанавливающая сила тоже уменьшается. Оба процесса можно представить графически (черные кривые

внизу). На оба процесса накладываются быстрые флуктуации силы, обусловленные хаотическим движением молекул. Флуктуирующая сила, действующая на песчинку, вызывает ее броуновские смещения от плавной траектории в жидкости. В стержне флуктуирующая сила принимает форму флуктуаций температуры в малых областях; сильнее нагретые области показаны ярко окрашенными, а более холодные окрашены слабее и отмечены различными оттенками серого цвета. На графиках флуктуации показаны изломанными цветными линиями, «осциллирующими» относительно плавных черных кривых (величина флуктуаций сильно увеличена).

различных распределений атомов и молекул, которые называют микросостояниями. В любой изолированной системе все микросостояния, отвечающие данному макросостоянию, равновероятны. Логично предположить, что равновесное состояние, о котором говорится в феноменологическом втором начале, — это макросостояние с самым большим числом микросостояний.

В неупорядоченном макросостоянии гораздо больше практически неразличимых микросостояний, чем в упорядоченном. Поэтому чтобы в рамках статистической термодинамики по-прежнему говорить о равновесии как о состоянии с максимальной энтропией, нужно другое определение энтропии — не как меры неупорядоченности физической системы, а как меры «обесценивания» энергии последней. Чем больше неупорядоченность данной системы, тем больше в ней микросостояний, сливающихся в одно макросостояние, и тем больше энтропия этого макросостояния.

Точное соотношение между энтропией макросостояния и числом микросостояний в нем было найдено Л. Больцманом в 1896 г. Энтропия пропорциональна логарифму числа микросостояний; коэффициент пропорциональности, названный постоянной Больцмана, есть универсальная газовая постоянная R , отнесенная к одному атому, т.е. $3,3 \cdot 10^{-24}$ кал/°С.

Общий вывод таков, что в статистической термодинамике второе начало уже нельзя рассматривать как безусловную истину. Поскольку все микросостояния системы равновероятны, существует малая, но конечная вероятность того, что в результате флуктуаций система окажется в высокоупорядоченном макросостоянии. Точнее. вероятность того, что случайные флуктуации приведут к некоторому уменьшению энтропии, равна основанию натурального логарифма e в степени, равной взятому со знаком минус этому изменению энтропии, деленному на постоянную Больцмана. В принципе возможно, хотя и крайне маловероятно, что все частицы воздуха в комнате самопроизвольно соберутся в одном углу, а в остальной части комнаты образуется вакуум.

Выводы феноменологической термодинамики справедливы потому, что по нашим обычным представлениям постоянная Больцмана — крайне малое число. Могли бы мы жить в мире, в котором постоянная Больцмана гораздо больше? Вряд ли. В таком мире увеличение кинетической энергии каждого атома при данном повышении температуры было бы намного больше, чем в нашем. Была бы больше и вероятность уменьшения

энтропии вследствие флуктуаций, а потому было бы обычным явлением случайное возникновение упорядоченных физических систем в макроскопическом масштабе.

Чтобы побывать в таком мире, нужно представить себя уменьшенным до размеров броуновской частицы. В таких масштабах давление, температура и объем окружающего вещества постоянно флуктуируют. Вблизи критической точки фазовых переходов, например газа в жидкость, случайные флуктуации становятся все больше и больше. Говоря о вероятностной интерпретации начал феноменологической термодинамики, М. Гепперт-Майер и Дж. Майер цитировали Гильберта и Салливена*: «Никогда? Какое никогда! Никогда — значит, вряд ли когда».

Неравновесная термодинамика

Признание того обстоятельства, что броуновское движение есть проявление статистических флуктуаций микросостояний в термодинамической системе, имело большее значение для исследования неравновесных систем, чем систем в равновесии. При равновесии порядок, в котором происходят события, не существен: флуктуации микросостояний вряд ли могут привести к различимому изменению макросостояния. В системах же, не находящихся в равновесии, важное значение приобретает временной ход событий.

В статистическом варианте феноменологического второго начала должно объясняться, как неравновесные системы переходят в состояние равновесия. Другими словами, второе начало должно подробно объяснять, как из упорядоченных состояний спонтанно возникают разупорядоченные. Такие процессы, как перемешивание яичного желтка с белком на сковородке, необратимы, и ими определяется направление течения времени. В феноменологической термодинамике на эмпирической основе был создан ряд законов, описывающих протекание различных необратимых процессов из неравновесного состояния (некоторых определенных видов).

Так, например, если один конец металлического стержня нагрет и разность температур на его концах будет не очень велика, скорость, с которой тепловая энергия течет от горячего

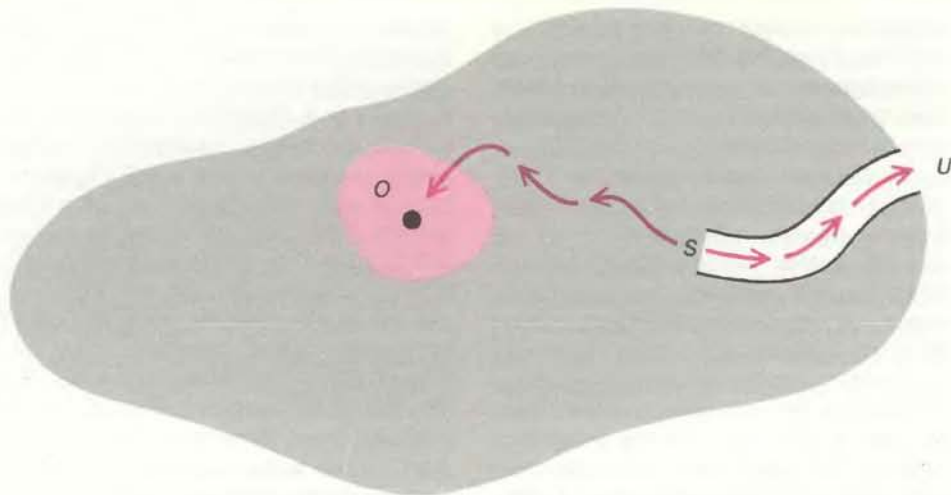
конца к холодному, будет прямо пропорциональна разности температур. Таким образом, когда стержень возвращается к тепловому равновесию, «сила» (разность температур) постепенно уменьшается, а с ней уменьшается и «поток» (скорость переноса тепла). Точно так же, согласно закону Фика, скорость течения диффундирующего газа из области высокой концентрации в область низкой прямо пропорциональна «силе», обусловленной разностью концентраций. Оба закона представляют собой линейные соотношения, поскольку, хотя и сила, и поток все время изменяются, поток всегда пропорционален силе.

Термодинамика неравновесных процессов в принципе не ограничивается линейными соотношениями между силами и потоками. Чем дальше система находится от равновесия, тем более существенны нелинейные эффекты. Нет никакого общего метода (кроме метода «проб и ошибок»), который позволял бы формулировать законы, описывающие такие эффекты. Тем не менее статистическое исследование неравновесных систем, подчиняющихся линейным феноменологическим законам, может внести ясность и в нелинейные эффекты. Математический аппарат термодинамики неравновесных процессов берет начало с уравнения для движения частицы в вязкой жидкости, которое было предложено в 1908 г. французским физиком П. Ланжевеном.

Представим, что небольшой твердый шарик движется в жидкости под действием внешней силы. В конце концов такой шарик достигнет некоторой предельной скорости, зависящей от вязкости жидкости. Вязкая жидкость действует на шарик с силой сопротивления, пропорциональной его скорости и направленной в противоположную сторону, так что она замедляет его движение. Энергия его движения рассеивается, преобразуясь в тепловую энергию, поэтому в жидкости происходят флуктуации температуры.

Представим теперь, что размеры шарика постепенно уменьшаются, и он становится микроскопической частицей. Шарик макроскопических размеров «чувствовал» только силу вязкого сопротивления, а бомбардировка молекулами почти не сказывалась на его движении. Но по мере того как шарик становится все меньше, все более усиливаются флуктуации; в конце концов на его движении перестает сказываться макроскопическая сила вязкого сопротивления и он движется как броуновская частица. Уравнение Ланжевена относится к частице промежуточного размера, и в нем учитываются оба указанных эффекта.

* У. Гильберт (1836—1911) — английский драматург, автор либретто для оперетт английского композитора А. Салливена (1842—1900). — *Прим. перев.*



СИММЕТРИЯ МЕЖДУ ПРОШЛЫМ И БУДУЩИМ иллюстрируется схематической траекторией физической системы, проходящей через ряд физических состояний. Каждая точка в пределах границы серой области представляет некое состояние системы, а точка O — ее состояние равновесия. Если систему перевести в неравновесное состояние U , соответствующее максимальной энтропии на ее границе, то она почти наверняка будет эволюционировать в согласии с макроскопическими законами термодинамики. Эти законы предсказывают, что она пройдет через некоторое неравновесное состояние S , в котором энтропия не меньше, чем в состоянии U , и в конце концов попадет в малую окрестность точки O (выделена цветом). В этой окрестности она будет почти бесконечно флуктуировать относительно точки O . Но как бы ни были малы флуктуации, они, «накопившись», в конце концов снова приведут систему в неравновесное состояние S . Затем система перейдет в точку U на границе. Если систему предоставить себе самой, то последний участок пути от S до U траектория системы почти всегда проходит внутри бесконечно тонкой цилиндрической трубки, охватывающей путь, по которому она ранее прошла от U к S .

Уравнение Ланжевена

Таким образом, в уравнении Ланжевена макромир представлен силой вязкого сопротивления, а микромир — флуктуирующей, или «броуновской», силой. Согласно этому уравнению, полная сила, действующая на частицу, равна сумме двух указанных сил. Их можно интерпретировать как составляющие полной силы, действующие в разном масштабе времени. В малом масштабе времени основную роль играет флуктуирующая сила, которая быстро меняется. Для более продолжительных интервалов времени начинают преобладать эффекты вязкого сопротивления. Полная сила равна массе частицы, умноженной на ускорение, вызываемое двумя составляющими и равное скорости, с которой изменяется скорость частицы во времени.

Норвежскому физiku Л. Онсагеру пришла блестящая мысль: достаточно просто изменить в уравнении Ланжевена обозначения, и оно будет статистически описывать необратимый процесс. Он предложил вместо скорости частицы рассматривать отклонение некой термодинамической величины от ее равновесного значения. Например, в случае стержня, нагретого с одного конца, скорости частицы нужно сопоставить отклонение стержня от состояния теплового равновесия. Да-

лее Онсагер предложил силу вязкого сопротивления, действующую на частицу, заменить «дрейфом» термодинамической системы к ее равновесному состоянию. Таким образом, термодинамическая «сила», возвращающая нагретый стержень в состояние равновесия, уподобляется силе вязкого трения, действующей на движущуюся частицу. В результате получается уравнение, которое можно использовать при исследовании влияния тепловых флуктуаций на необратимые процессы.

Математический прием Онсагера выявил глубокую аналогию между движением частицы и возвратом системы из неравновесного состояния к равновесию. Онсагер считал, что в интервалах времени, больших, чем время, за которое флуктуация гасится, средний ход процесса перехода к равновесию должен соответствовать феноменологическим законам термодинамики необратимых процессов. Плавно меняющийся поток тепла от горячего конца стержня к холодному аналогичен постепенному «дрейфу» довольно большой частицы в жидкости. В обоих случаях наблюдения ведутся в малом интервале времени, который, однако, достаточно велик для того, чтобы случайные флуктуации взаимно уничтожились. Только за короткие интервалы времени можно обнаружить флуктуации, накладываю-

щиеся на постепенный, усредненный «дрейф», который, как правило, наблюдается экспериментально.

Эволюция, обращенная во времени

Предположение Онсагера об усредненном движении системы к равновесию представляется вполне логичным, так как иначе было бы непонятно, почему более детальное статистическое описание дает линейные соотношения термодинамики необратимых процессов. И тем не менее оно накладывает некие ограничения, а именно ограничивает его теорию исследованием только тех систем, в которых распределение флуктуаций имеет вид колоколообразной кривой. Иначе говоря, малые флуктуации температуры стержня относительно средних значений, даваемых феноменологическим законом переноса тепла, должны быть распределены точно так, как распределены смещения большого числа «броуновских» частиц из данной точки за данное время.

А если отказаться от предположения о колоколообразной форме кривой распределения флуктуаций? Тогда можно исходить тоже из логичного, но менее ограничивающего предположения, что любая физическая система, находящаяся в неравновесном состоянии, должна «дрейфовать» к некоему состоянию равновесия, которое характеризуется отсутствием «дрейфа». При таком подходе состояние равновесия «не обязано» быть устойчивым в обычном, статическом понимании. Это всего лишь состояние, к которому система возвращается из всех других состояний. Если внешнее возмущение вывело систему из равновесия, она реагирует на это, уменьшая возмущение в направлении возврата к начальному состоянию равновесия.

При таком определении равновесия мы признаем, что, как бы ни были малы тепловые флуктуации, они могут изменить эволюцию термодинамической системы. Всегда должна оставаться конечная вероятность того, что система пойдет «против течения». Как бы ни было далеко от равновесия неравновесное состояние и как бы ни были малы случайные флуктуации, существует некоторая вероятность того, что данная система рано или поздно достигнет этого неравновесного состояния.

Подробный математический анализ приводит к еще более удивительному результату. Оказывается, что в своем приближении к такому крайне маловероятному неравновесному состоянию система проходит обратный путь, по которому она «дрейфо-

вала» бы (в отсутствие внешних воздействий) к равновесию из данного неравновесного состояния, если бы была каким-либо образом переведена в него. Такая антитермодинамическая эволюция, или эволюция, обращенная во времени, протекает не медленно и плавно, а скачкообразно. Если время практически не ограничено, то в нарастании и спаде тепловых флуктуаций обнаруживается симметрия «прошлого» и «будущего», удивительно противоречащая той асимметрии времени, которую обычно связывают в термодинамике со вторым началом.

Математические аналогии

Математический аппарат, разработанный для анализа флуктуаций, проявляющихся в броуновском движении, может найти приложение почти в любой области науки для оценки влияния случайной переменной. Случайные переменные часто появляются в описании многих явлений природы главным образом потому, что значения таких переменных неизвестны или трудноопределимы. Одним из самых первых приложений была фильтрация статического, или случайного, шума при приеме радиолокационных сигналов и радиовещательных программ. По аналогии теми же математическими средствами можно пользоваться во всех случаях, когда того или иного рода «шум» имеется в системе, эволюция которой в отсутствие шума была бы определенной. Задача здесь заключается в том, чтобы оценить влияние случайной переменной на выходные данные.

Например, при исследовании динамики звездных скоплений движение данной звезды часто может быть разложено на две составляющие. Одна составляющая — гравитационное влияние всего скопления, а другая — гравитационное влияние локального звездного окружения. Влияние всего скопления плавно изменяется со временем и с изменением положения данной звезды. Его можно аппроксимировать простым выражением для гравитационной потенциальной энергии, поскольку число звезд, дающих вклад в эту силу, очень велико.

Влияние же локального звездного окружения приводит к быстрым флуктуациям гравитационного потенциала в месте расположения данной звезды. Из-за таких флуктуаций мгновенная сила, действующая на рассматриваемую звезду, отклоняется от значения, соответствующего одному плавно меняющемуся гравитационному потенциалу. Анализ, про-

веденный в начале 40-х годов С. Чандрасекаром из Чикагского университета, дает возможность вычислять вероятность того, что гравитационная сила, действующая на данную звезду, лежит в заданном интервале.

В экологических системах случайным образом флуктуирующие переменные могут оказывать влияние на долгосрочную эволюцию. Например, соотношения численностей популяций предсказываются на основе данных выборочного подсчета конкурирующих популяций, проводившегося на протяжении многих лет. Такого рода данные зависят от конкретных методов подсчета, поэтому детальный ход вариаций часто бывает трудно оценить. Если такие вариации обрабатывать математически, рассматривая их как флуктуации случайных переменных, то можно получить более надежные предсказания. Точно так же непредвиденные флуктуации частот отдельных генов могут приводить к закреплению одного генотипа; такой процесс проще рассчитать, если рассматривать подобные флуктуации как случайные события.

Экономика и навигация

В последнее время вероятностный анализ, основанный на математике броуновского движения, нашел приложение в экономике. Экономисты пользуются такими методами при исследовании тенденций изменения курса акций, темпа инфляции, курса по курсовым сделкам и других финансовых переменных. Например, курс ценных бумаг может частично определяться опционами, т.е. «сделками с премиями», заключение которых дает право купить или продать товары или ценные бумаги в установленный срок. Курс ценных бумаг должен, очевидно, колебаться в зависимости от числа таких сделок и размеров премий. Такие отклонения накладываются на тот курс, который установился бы в отсутствие опционов в игре чисто рыночных сил. Требуется, конечно, с максимально возможной достоверностью предсказать будущий курс этих ценных бумаг.

Когда имеется какая-то оценка влияния случайных флуктуаций, желательно уменьшить их влияние. Математические методы, разработанные для этого в одной области науки и техники, легко переносятся в другую. Статистический контроль, подобный тому, который применялся во время второй мировой войны для улучшения приема радиолокационных сигналов, сейчас предусматривается во многих системах приема и обработки непрерывных потоков данных, таких, как радионавигационные системы.

Он используется также в системах контроля за качеством товаров массового производства.

В настоящее время физика броуновского движения, лежащая в основе соответствующей математической теории, изучена достаточно полно, однако разработку математических аналогов нельзя считать завершенной. История приложений такого рода дает основания полагать, что броуновское движение во все более абстрактной форме еще долгие годы будет находить применение при исследованиях в разных областях науки.

Издательство ФИНАНСЫ И СТАТИСТИКА предлагает:

*Г. Коллинз,
Блэй Дж.*

СТРУКТУРНЫЕ МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ: От стратегического планирования до тестирования

Перевод с английского

В работе описывается полный набор современных методов разработки информационных систем широкого назначения, сформирована целостная технология проектирования, охватывающая весь процесс от стратегического планирования до тестирования.

Для специалистов в области применения вычислительной техники, аспирантов и студентов вузов.

1986, 23 л. Цена 1 р. 70 к.

Книги издательства «Финансы и статистика» можно приобрести в книжных магазинах, распространяющих общественно-политическую литературу, и в магазинах — опорных пунктах. Там же можно ознакомиться с планом выпуска литературы издательства на 1986 г. Прием предварительных заказов на эти издания будет производиться в пределах плановых тиражей, указанных в аннотированном плане.



Успех размножения у благородного оленя

Изучение примерно 1000 этих групповых животных на протяжении 12 лет позволило установить, что успех размножения особи зависит от ее положения в семейной группе и индивидуальных экологических особенностей

Т. Г. КЛАТТОН-БРОК

В УЕДИНЕННОЙ долине на шотландском острове Рам стоит самец благородного оленя, окруженный своими самками. Ему идет десятый год, и этот обширный гарем, по всей вероятности, для него последний. В гарем входят самки разного возраста. Две старые самки щиплют траву с противоположных сторон от группы. Одной из них 15, а другой 13 лет; каждая возглавляет большую семью, состоящую из половозрелых дочерей. Они кормятся все вместе на занимаемой семейной группой территории площадью примерно 2 км², в которую входит участок болота, склон холма и дно долины. Между старыми самками расположились их восемь дочерей, у трех из них блестящая гладкая шерсть, округлые ляжки и около них нет телят. Возле пятерых других стоят оленята; угловатые формы этих матерей свидетельствуют о том, как дорого им обходится выкармливание детенышей молоком. Две трехлетки, которым в этом году впервые предстоит беременность, пасутся по краям небольшой впадины в дюнах. Восемь молодых особей — двухлетки, годовалые и телята, которым еще нет и года, — разбрелись между взрослыми животными. Метрах в двухстах неуверенно щиплют траву три годовалых самца; хозяин гарема недавно прогнал их из материнских групп, и они еще не вполне освоились с самостоятельным существованием.

На холме появляется шестилетний самец, вывалявшийся в торфяном болоте до черноты. Он целеустремленно направляется к гарему, но, не дойдя, внезапно останавливается и издает хриплый рев, больше похожий на рыканье льва, чем на трубные звуки американского оленя (вапити). Хозяин гарема ревет ему в ответ, и минут пятнадцать самцы режут друг на друга. Претендующий на гарем пришел медленнее и осторожно приближается, а хозяин выходит ему навстречу. Олени сходятся почти вплотную, но

вдруг, как бы с взаимного согласия, начинают двигаться бок о бок и проходят примерно десять метров.

Так они прохаживаются взад и вперед, пока хозяин гарема, уловив возможность получить некое преимущество, не взбегает на небольшой холмик, откуда, нагнув голову, он бросается на противника. Тот немедленно тоже нагибает голову, чтобы можно было пустить в ход рога, и начинается схватка. Самцы сшибаются головами, так что слышен треск ударяющихся друг о друга рогов, и выбрасывают вперед передние ноги, сильно отталкиваясь напряженными задними. Некоторое время олени кружатся на одном месте. Внезапно молодой самец делает прыжок вперед, стараясь оттолкнуть более крупного старого самца, но тот упирается задними ногами и мало-помалу заставляет противника поднять голову. Быстрым движением он поворачивает голову молодого самца, отбрасывает его в сторону и нацеливается на не защищенный теперь бок соперника. Претендент поворачивается и обращается в бегство. Победитель пробежит несколько метров, преследуя его, а затем останавливается и, прежде чем вернуться к своим самкам, ревет вслед отступающему противнику. Все это время самки продолжали методично щипать траву, не проявляя никакого интереса к происходящему. Хозяину удалось сохранить за собой гарем, и он будет владеть им по крайней мере до тех пор, пока ему не будет брошен следующий вызов. Однако в его возрасте боевые качества идут на убыль, и в будущем году исход схватки может оказаться иным.

ЭТОТ эпизод подчеркивает глубочайшее различие, существующее между самцами и самками практически у всех млекопитающих, у которых удачливые самцы присваивают себе право спариваться с несколькими самками, не подпуская к ним других самцов. Поскольку особей разного пола

рождается примерно поровну, способность некоторых самцов создавать себе гаремы из 10—20 самок неизбежно ведет к тому, что каждый год большая доля самцов вообще не имеет возможности участвовать в размножении. А поэтому конкуренция за гаремы очень сильна, и, чтобы завладеть ими, самцы регулярно вступают в драки.

Что касается самок, то здесь положение иное. Успех размножения самки не находится в прямой зависимости от числа брачных партнеров, а определяется числом потомков, которых она может произвести на свет и выкормить за свою жизнь. Поскольку беременность и кормление сопряжены с большими затратами энергии, успех размножения самки зависит главным образом от доступной ей пищи.

Различия между самцами и самками в характере конкуренции указывают на то, что особи разного пола должны различаться также и по признакам, влияющим на успех размножения. Для самцов, очевидно, важны способность драться, крупные размеры и сильно развитые рога, служащие оружием. Самкам же, напротив, вряд ли имело бы смысл вступать в схватку из-за пищи, источники которой рассеяны по большим пространствам. Их успех зависит, скорее, от того, насколько эффективно они перерабатывают в своих потомков извлекаемую из среды пищу. Из этого не следует, что способность прогонять с пастбищ других самок не имеет для них значения; однако победа в схватках вряд ли так же существенна для успеха размножения у самок, как у самцов.

Различия в факторах, определяющих успех размножения самцов и самок, у полигинных видов (у которых самец монополизирует право на спаривание с несколькими самками, не подпуская к ним других самцов) или у полиандрических видов (у которых самка монополизирует право на спаривание с несколькими самцами,



САМЕЦ БЛАГОРОДНОГО ОЛЕНЯ в окружении самок своего гарема на острове Рам. Один из факторов, определяющих успех размножения самца, — это величина его гарема. Молодой самец, которому не удалось победить хозяина

гарема, или хозяин гарема, не сумевший дать отпор претенденту, вряд ли вообще будет иметь возможность спариться в данном сезоне размножения (размножение у благородного оленя происходит осенью, и гон длится месяц).



ХОЗЯИН ГАРЕМА отвечает ревом на вызов со стороны более молодого самца. Если претендент приблизится, соперники некоторое время прохаживаются бок о бок, после чего

вступают в драку, от исхода которой зависит, кто из них будет владеть гаремом. Самки не проявляют к происходящему никакого интереса.

не подпуская к ним других самок) должны быть выражены более резко, чем у моногамных видов. У моногамных животных конкуренция среди самцов и среди самок, очевидно, носит более сходные формы.

Несходство факторов, влияющих на успех размножения у самцов и у самок, — основная причина большинства различий между полами. Отбор благоприятствует сохранению признаков, повышающих успех размножения отдельной особи, если не считать тех животных, для которых характерно групповое размножение. Если для одного из полов какой-либо признак с точки зрения успеха размножения важнее, чем для другого, то у особей этого пола он бывает развит сильнее. Так, например, у видов, у которых размеры тела оказывают более сильное влияние на успех размножения самцов, чем самок, а затраты, сопряженные с большими размерами, одинаковы для обоих полов, самцы крупнее самок. Это наблюдается у благородного оленя и у американского оленя, самцы которых превосходят самок по массе почти вдвое. Кроме того, на основании такой аргументации можно предсказать, что разли-

ца между полами в общем должна увеличиваться с усилением полигинии или полиандрии.

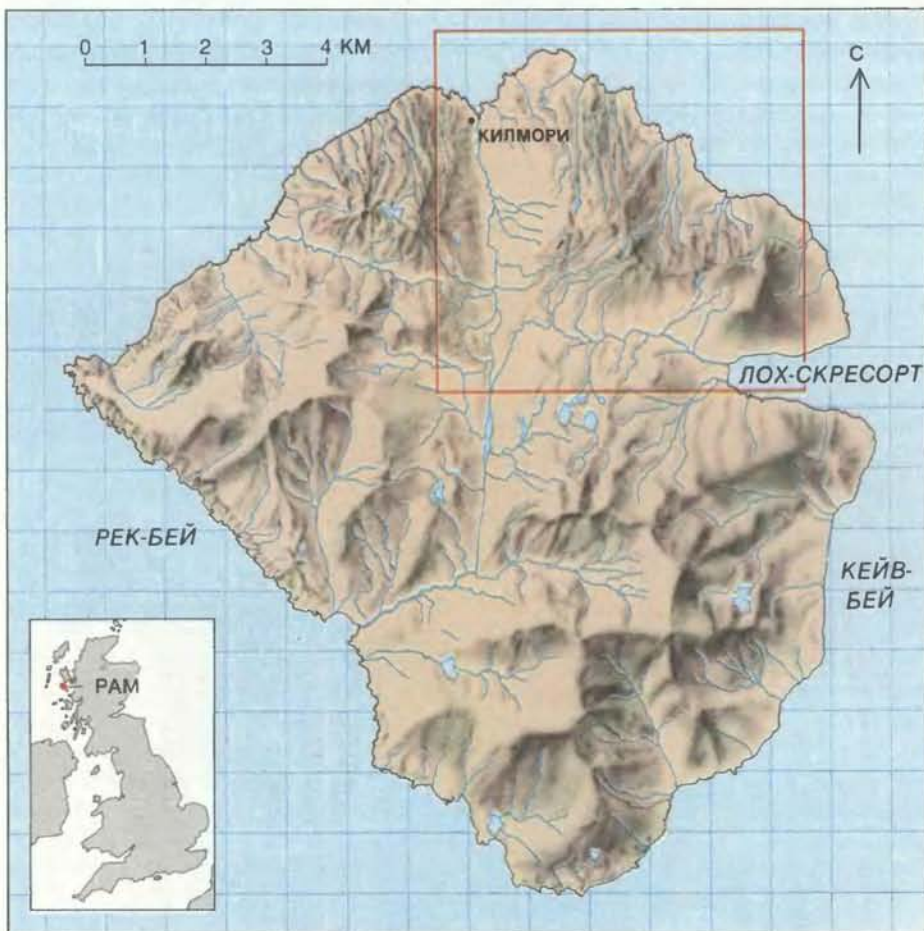
На основании изучения и анализа факторов, оказывающих влияние на успех размножения у самцов и у самок, можно, по-видимому, предсказывать и объяснять морфологические и поведенческие различия между полами. Однако выявить причины возникновения вариаций в успехе размножения у самцов и у самок нелегко. Прежде всего, имеет значение успех размножения каждой отдельной особи на протяжении всей ее жизни. Но не всегда его адекватной мерой может служить число выращенных потомков, поскольку при нескольких детенышах в помете вероятность успешного размножения для них может оказаться пониженной. Число потомков второго поколения (т.е. внуков) было бы более достоверным критерием успеха размножения отдельного индивидуума, но определение этого показателя у диких животных сопряжено с серьезными методическими трудностями. Лишь у немногих видов удается измерить успех отдельных особей в течение какого-либо сезона размножения, а уж о числе внуков каждой

особи говорить не приходится.

Исключение составляет благородный олень *Cervus elaphus*, которого обычно относят к тому же роду, что и американского оленя *Cervus canadensis*. Как самцов, так и самок нетрудно наблюдать в их природном местобитании в северо-западной части Шотландии, поскольку там почти нет деревьев. При наличии некоторого опыта, нетрудно различать отдельных особей по строению храпа (морды) и по характеру окраски. Короткий период спаривания обычно приходится на октябрь; в это время самцы охраняют свои гаремы, принадлежность которых четко определена. Телят, рождающихся в июне следующего года, обычно довольно легко поймать, пометить и взвесить. К тому же продолжительность жизни оленей невелика (самцы живут в среднем 10 лет, самки — 12), так что вполне можно проследить жизнь отдельных особей от рождения до смерти.

Вот по этим причинам я и мои коллеги по Кембриджскому университету, Ф. Гиннес и С. Эльбон, в течение 12 лет вели наблюдения за отдельными особями оленей на острове Рам (Внутренние Гебриды). В районе, где проводились исследования, одновременно обитало примерно 300 благородных оленей, а за весь период наблюдений через популяцию «прошло» больше 1000 особей. В последние годы те олени, которых мы в свое время, когда они были еще телятами, выловили и пометили, приблизились к завершению жизненного цикла, и теперь стали вырисовываться факторы, определяющие успех размножения у самцов и самок.

У самцов успех размножения варьирует сильнее, чем у самок. Число телят, рожденных за год при участии одного самца, колеблется от 0 до примерно 10 (не превышает 6, если учитывать только телят, которые прожили не менее года.) Вариации были бы очень велики, если бы на протяжении всей жизни самца его успех размножения оставался постоянным, однако это не так. У самцов успех размножения сильно зависит от возраста и обычно достигает максимума между 7-м и 9-м годами жизни. В каждый данный момент успех размножения самца можно оценить по величине его гарема, но изменчивость этого показателя на протяжении жизни самца в целом меньше, чем, казалось бы, следовало ожидать, принимая во внимание сильные колебания величины гарема в течение одного сезона. Даже от самых успешно размножающихся самцов из числа родившихся за всю их жизнь потомков выживает не более двух десятков.



ОСТРОВ РАМ, где автор и его коллеги на протяжении 12 лет изучали популяцию благородного оленя, расположен у северо-западного побережья Шотландии. Он представляет собой Национальный природный резерват Великобритании. Исследование проводилось в северо-восточной части острова.

У самок индивидуальная изменчивость в отношении успеха размножения гораздо выше, чем можно было бы предполагать, исходя из того, что самка приносит в лучшем случае по теленку в год. Причина здесь в том, что у некоторых самок на протяжении всего их периода размножения (от 6 до 12 лет) телята гибнут. Число выживших телят, выращенных самкой за всю ее жизнь, колеблется от 0 до 10; от этого числа, естественно, зависит и число ее внуков.

Успех размножения отдельной особи определяется тремя параметрами: продолжительностью ее жизни, числом потомков, производимых на свет за один год, и долей выживших потомков. Относительное значение этих параметров у самок и у самок заметно различается. Успех размножения самки, конечно, зависит от продолжительности ее жизни, однако главную роль играет доля выживших телят. Немало самок на протяжении большей части своей жизни приносят по теленку в год, но благополучно вырастить не могут и одного.

В отличие от этого у самцов вариации в успехе размножения определяются почти полностью числом рождающихся за год потомков в период от 6- до 11-летнего возраста. Различия в выживаемости между телятами, рожденными от разных отцов, невелики, а продолжительность жизни самца после 11 лет мало влияет на успех размножения за всю его жизнь в целом.

Факторы, оказывающие влияние на успех размножения у самцов и самок, также различны. Способность самки вырастить своих телят зависит главным образом от качества ее индивидуальной территории (с этим связана доступность источников пищи), числа животных, с которыми она ее разделяет (этим определяется интенсивность конкуренции за пищу), и от места, занимаемого ею в иерархической системе данной семейной группы (от этого зависит право на первенство в использовании лучших кормовых участков). Самка наследует индивидуальную территорию от матери и пользуется ею совместно со своими сестрами и другими родичами по материнской линии, так что ее успех размножения во многом зависит от характера и размеров семейной группы. Место самки в иерархии, основанной на доминировании, зависит от ее веса при рождении и во взрослом состоянии: телята-самки, имеющие наибольший вес, быстро растут и становятся крупными доминантными особями.

У самцов, в отличие от самок, успех размножения почти всецело зависит от боевых качеств, которые в свою очередь зависят от размеров тела и от

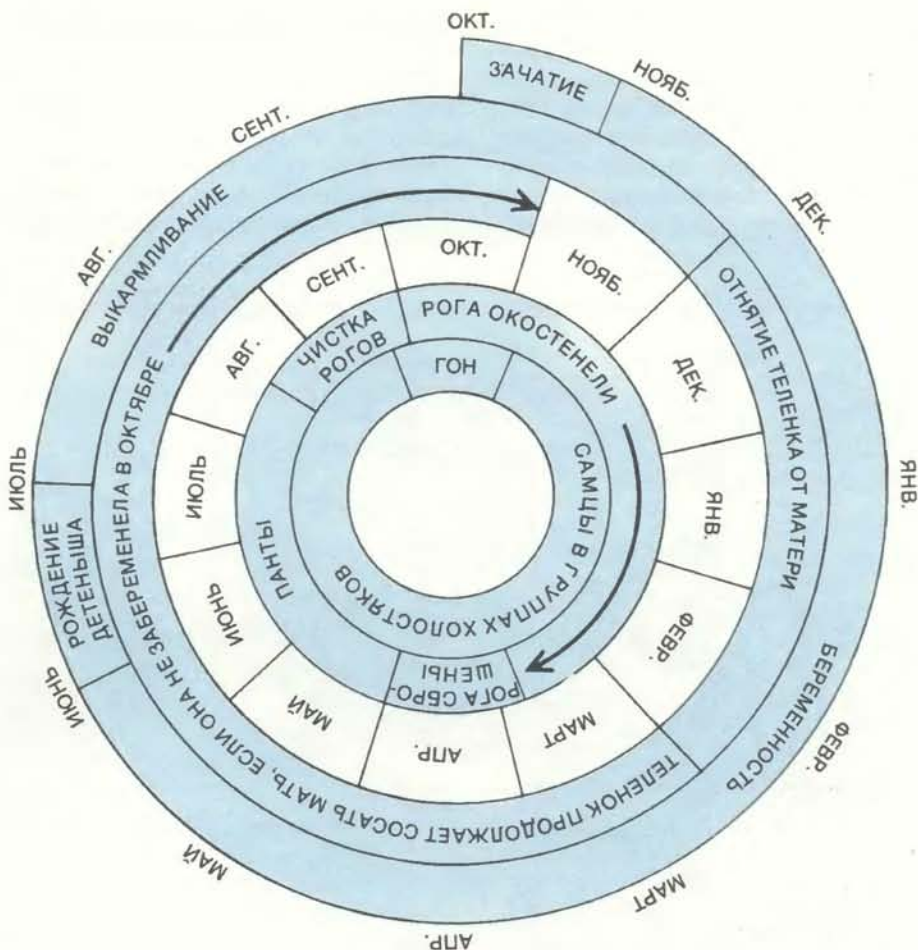


СХЕМА ЦИКЛА РАЗМНОЖЕНИЯ благородного оленя на острове Рам. Два внешних кольца относятся к самкам, а два внутренних — к самцам. Спаривание происходит осенью; самки беременеют преимущественно в октябре, а рожают в июне. Мать перестает кормить теленка через 6 или 7 месяцев, если она снова беременеет; если же нет, то теленок продолжает сосать ее в течение примерно 18 месяцев. Для самцов указано состояние рогов, которые играют важную роль в драках и брачных демонстрациях. Период спаривания (гон) четко ограничен — он происходит с конца сентября до начала ноября.

скорости роста в течение первого года жизни. У благородного оленя, как и у многих других животных, самцы которых существенно крупнее самок, недостаток пищи гораздо сильнее сказывается на росте самцов, чем на росте самок. Отчасти поэтому, а отчасти потому, что успех спаривания варьирует у самцов в большей степени, чем у самок, для успеха размножения самцов место, занимаемое их матерью в системе доминирования, и ее размеры важнее, чем для успеха размножения самок. В результате сыновья доминантных матерей размножаются более успешно, чем дочери, тогда как у подчиненных матерей дочери превосходят в этом отношении сыновей.

Противоположность факторов, влияющих на успех размножения у самцов и у самок благородного оленя, помогает объяснить эволюционное происхождение многих связанных с полом особенностей в морфологии, физиологии и поведении. Причины некоторых половых различий очевидны. Поскольку размеры тела и бое-

вые качества имеют для самцов благородного оленя важное значение, понятно, почему они почти вдвое тяжелее самок и почему у них развились такие сложные придатки, как рога, служащие оружием. Как и предсказывает это объяснение, половые различия в размерах тела наиболее сильно выражены у тех видов, у которых удачливые самцы завладевают несколькими самками, как у благородного и американского оленей. А у таких видов, как косуля и мунтжак, у самцов которых мало шансов на спаривание с несколькими самками, поскольку половозрелые самки распределены по обширной территории, половые различия в размерах тела выражены слабее всего.

То обстоятельство, что успех размножения у самцов и у самок зависит от совершенно разных факторов, позволяет понять также происхождение менее очевидных различий между полами. У многих видов млекопитающих (в том числе и у благородного оленя) молодые самцы растут быстрее, чем молодые самки, но при этом

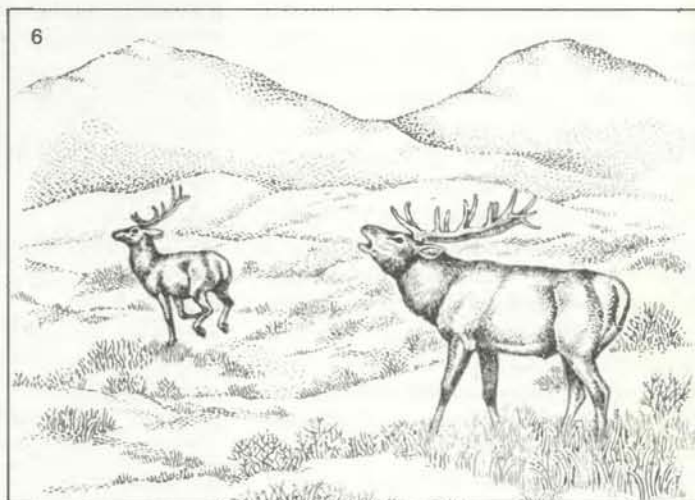
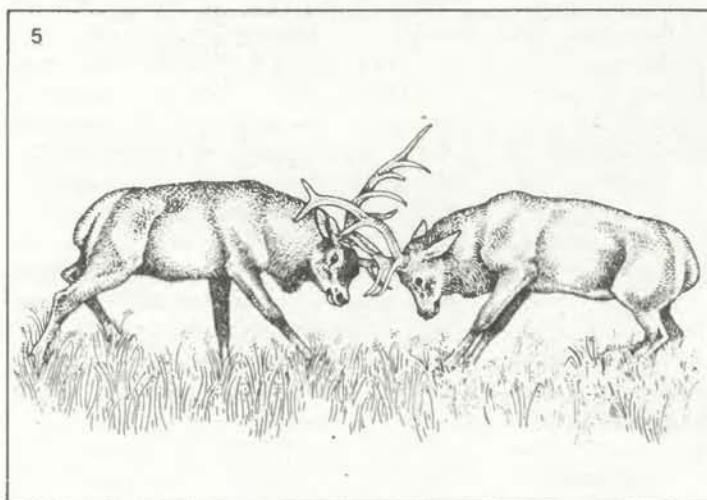
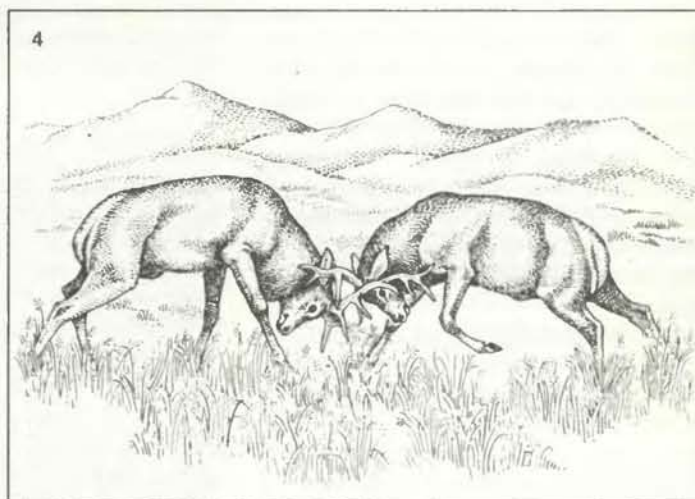
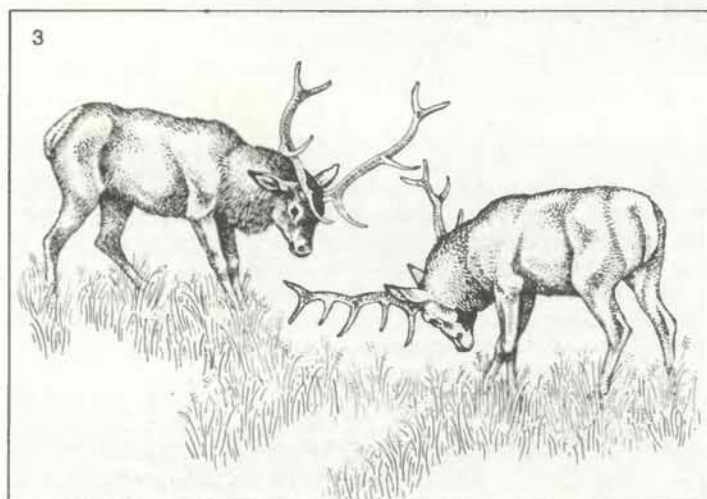
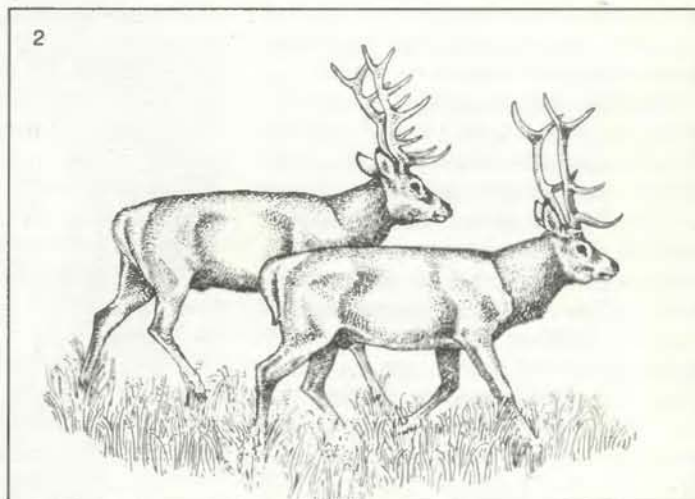
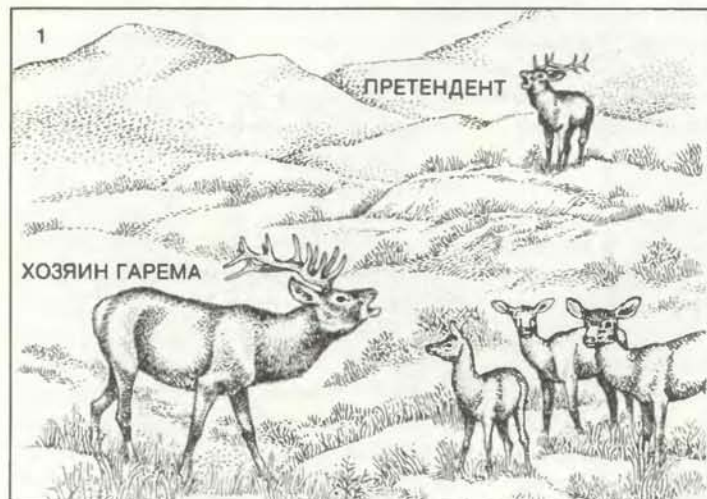
в их тканях откладывается меньше жира; тем самым они лишаются выгоду, обеспечиваемых жировыми отложениями, но зато приобретают все преимущества, которые дает быстрое развитие в молодом возрасте и крупные окончательные размеры.

Эти различия также варьируют от

вида к виду. Разница между полами в отношении жировых запасов, создаваемых в раннем возрасте, наиболее ярко выражена у полигинных видов (различия между полами по другим физическим признакам у этих видов также достигают наивысшей степени). У видов с менее выраженным поло-

вым диморфизмом молодые самцы и самки почти не различаются по количеству жировых отложений. У живущего в Китае водяного оленя — это единственный вид оленей, у которых самки крупнее самцов, — самцы в раннем возрасте жирнее самок.

Такие черты самцов, как более



МОЛОДОЙ САМЕЦ приближается к гарему, бросая вызов его хозяину (1). Минут пятнадцать олени режут друг на друга, после чего молодой самец подходит ближе, а хозяин движется ему навстречу. Не вступая в драку, они прохаживаются бок о бок (2). В течение нескольких минут они разгуливают взад и вперед, пока хозяин, уловив благоприятную

возможность, не взбирается на бугорок, откуда он бросает на соперника, наклонив голову вниз, чтобы пустить в ход рога (3). Самцы сцепляются рогами (4), и начинается схватка. В данном случае она закончилась победой хозяина гарема, который заставил противника отступить (5). Тот спасается бегством (6), а хозяин преследует его, но недолго.

крупные размеры, более быстрый рост и меньшие запасы жира, очевидно, сопряжены с определенными потерями, так как в противном случае различия между полами постоянно возрастали бы. У благородного оленя и у многих других диморфных млекопитающих продолжительность жизни самцов меньше, чем самок, и вероятность их гибели от голода в периоды недостатка пищи или неблагоприятной погоды выше. Один из самых наглядных примеров этого был зарегистрирован на острове Святого Матвея в Беринговом море: всего за одну зиму местная популяция северного оленя, в которой насчитывалось более 6000 взрослых животных, сократилась до 42 особей, причем среди выживших оленей был только один самец.

ПОЛОВЫЕ различия в выживании наблюдаются также среди молодняка. Среди телят возрастом до года и годовалых оленей вероятность гибели для самцов гораздо выше, чем для самок. В начале нашего исследования, когда плотность популяции была довольно низкая, половых различий в смертности среди молодняка не отмечалось, но с увеличением плотности положение изменилось. Теперь около 60% самцов гибнет в первую или вторую зиму, а среди самок смертность в том же возрасте составляет 30%.

Различия между полами в отношении влияния раннего периода роста на успех размножения позволяют думать, что у млекопитающих матери относятся к сыновьям и к дочерям по-разному. Поскольку, по-видимому, для успеха размножения самца важен период его раннего развития, а следовательно, и затраты на него матери (в частности, количество получаемого детенышем молока), есть основания предположить, что самка увеличивает число своих внуков, отдавая больше сил сыновьям, а не дочерям. Судя по некоторым данным, это действительно так. У благородного оленя новорожденные телята мужского пола весят примерно на 0,5 кг больше, чем телята женского пола. Сходные различия обнаружены у видов, у которых в помете бывает по несколько детенышей.

Поскольку рост в течение первых недель жизни влияет на успех размножения самцов больше, чем самок, можно ожидать, что матери дают своим сыновьям больше молока, чем дочерям. Как выяснилось, у благородного оленя на острове Рам телята мужского пола сосут мать дольше и чаще, чем телята женского пола. То же самое обнаружено у ряда других полигинных млекопитающих.

Сравнивая самок, вырастивших сы-

ГОДЫ	САМКИ, РОДИВШИЕСЯ В 1972 г.		
	ПЕРВАЯ ОСОБЬ (ПО КЛИЧКЕ ТИИ)	ВТОРАЯ ОСОБЬ (ПО КЛИЧКЕ МОМК)	ТРЕТЬЯ ОСОБЬ (ПО КЛИЧКЕ КОЛК)
1972	ТИИ-ТЕЛЕНОК	МОМК-ТЕЛЕНОК	КОЛК-ТЕЛЕНОК
1973	ТИИ-ОДНОЛЕТКА	МОМК-ОДНОЛЕТКА	КОЛК-ОДНОЛЕТКА
1974	ТИИ-ДВУХЛЕТКА	МОМК-ДВУХЛЕТКА	КОЛК-ДВУХЛЕТКА
1975	ПОТОМСТВА НЕТ	ПОТОМСТВА НЕТ	 1 ТЕЛЕНОК (ВЫЖИЛ)
1976	 1 ТЕЛЕНОК (ВЫЖИЛ)	 1 ТЕЛЕНОК (УМЕР ЛЕТОМ)	 1 ТЕЛЕНОК (УМЕР ЛЕТОМ)
1977	 1 ТЕЛЕНОК (ВЫЖИЛ)	 1 ТЕЛЕНОК (УМЕР ЛЕТОМ)	 1 ТЕЛЕНОК (ВЫЖИЛ)
1978	ТИИ УМЕРЛА	 1 ТЕЛЕНОК (УМЕР ЛЕТОМ)	 1 ТЕЛЕНОК (ВЫЖИЛ)
1979		 1 ТЕЛЕНОК (УМЕР НА ВТОРУЮ ЗИМУ)	 1 ТЕЛЕНОК (ВЫЖИЛ)
1980		 1 ТЕЛЕНОК (УМЕР В ПЕРВУЮ ЗИМУ)	 1 ТЕЛЕНОК (ВЫЖИЛ)
1981		ТЕЛЯТ НЕТ	 1 ТЕЛЕНОК (УМЕР ЛЕТОМ)
1982		 1 ТЕЛЕНОК (УМЕР НА ВТОРУЮ ЗИМУ)	 1 ТЕЛЕНОК (ВЫЖИЛ)
1983		 1 ТЕЛЕНОК (УМЕР В ПЕРВУЮ ЗИМУ)	 1 ТЕЛЕНОК (ВЫЖИЛ)
1984		ТЕЛЯТ НЕТ	ТЕЛЯТ НЕТ
ОБЩЕЕ ЧИСЛО ВЫЖИВШИХ			
2		0	
ПОТОМКОВ			
		7	
















УСПЕХ РАЗМНОЖЕНИЯ ТРЕХ САМОК, родившихся на острове Рам в 1972 г. Сравнивая двух самок, Момк и Колк, можно убедиться, как сильно может варьировать успех размножения, оцениваемый по числу телят, доживших до половой зрелости. На успех размножения самки влияет место, занимаемое ею в иерархической структуре группы, поскольку от этого зависит доступ к пище. Колк занимала относительно доминирующее положение, а Момк — подчиненное.

новой, с самками, вырастившими дочерей, мы установили, что выращивание сыновей сопряжено с большими затратами (они оценивались по последующему успеху размножения матери). Каждый сезон размножения примерно 25% самок не приносят телят. Несостоявшееся спаривание в значительной степени бывает обусловлено ослабленностью организма самки осенью. В исследовавшейся нами популяции 33% матерей, выращивающих сыновей, не удается спариться в следующем году, тогда как из числа матерей, выращивающих дочерей, не спариваются только 18%. Сроки зачатия также зависят от состояния самки осенью. На следующий год после то-

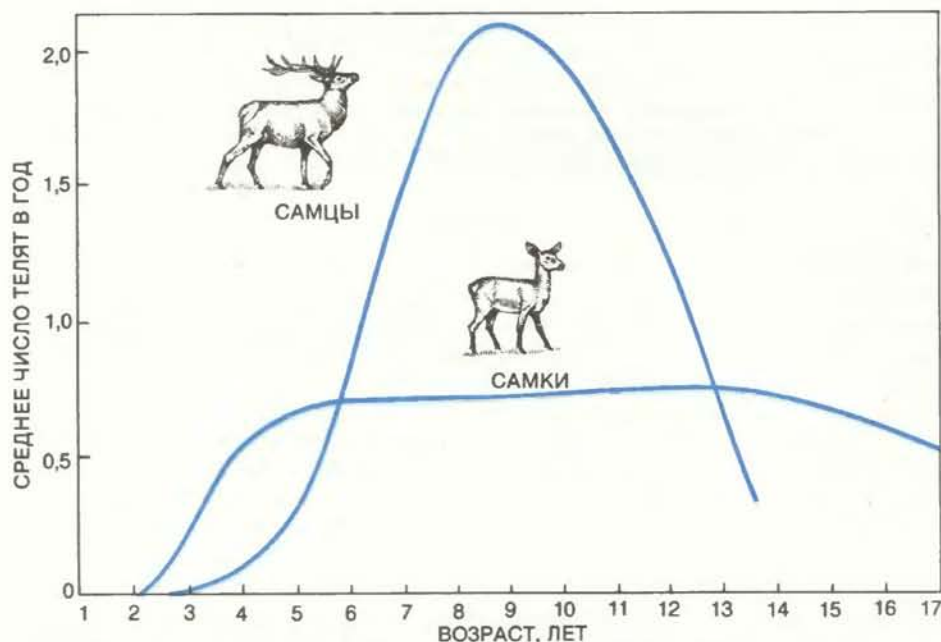
го, как самка выкормила детеныша мужского пола, зачатие происходит примерно на две недели позднее, чем после выкармливания теленка женского пола.

То соображение, что матери должны затрачивать больше ресурсов на выращивание сыновей, чтобы максимизировать число своих внуков, не следует относить ко всем особям данной популяции. Р. Трайверс из Калифорнийского университета в Санта-Крус первым высказал предположение о том, что ослабленные матери, которые по своему физическому состоянию вряд ли в состоянии вырастить сыновей, способных к успешному размножению, возможно, броса-

САМЦЫ, РОДИВШИЕСЯ В 1972 Г.

ГОДЫ	ПЕРВАЯ ОСОБЬ (ПО КЛИЧКЕ БРОК)		ВТОРАЯ ОСОБЬ (ПО КЛИЧКЕ АЙОК)	
	СРЕДНЯЯ ВЕЛИЧИНА ГАРЕМА	ЧИСЛО РОЖДЕННЫХ ОТ ЭТОГО САМЦА ТЕЛЯТ	СРЕДНЯЯ ВЕЛИЧИНА ГАРЕМА	ЧИСЛО РОЖДЕННЫХ ОТ ЭТОГО САМЦА ТЕЛЯТ
1972		ТЕЛЕНОК		ТЕЛЕНОК
1973		ОДНОЛЕТКА		ОДНОЛЕТКА
1974		ДВУХЛЕТКА		ДВУХЛЕТКА
1975		ТРЕХЛЕТКА		ТРЕХЛЕТКА
1976	ГАРЕМА НЕТ	НИ ОДНОГО	 ОДНА САМКА	НИ ОДНОГО
1977	ГАРЕМА НЕТ	НИ ОДНОГО	 ЧЕТЫРЕ САМКИ	 ЧЕТЫРЕ ТЕЛЕНКА
1978	 ОДНА САМКА	НИ ОДНОГО	 ТРИ САМКИ	 ДВА ТЕЛЕНКА
1979	ГАРЕМА НЕТ	НИ ОДНОГО	 ЧЕТЫРЕ САМКИ	 ДВА ТЕЛЕНКА
1980	 ТРИ САМКИ	 ОДИН ТЕЛЕНОК	 ПЯТЬ САМОК	 ТРИ ТЕЛЕНКА
1981	 ДВЕ САМКИ	НИ ОДНОГО	 ПЯТЬ САМОК	 ДВА ТЕЛЕНКА
1982	ГАРЕМА НЕТ	НИ ОДНОГО		УМЕР
1983		УМЕР		

УСПЕХ РАЗМНОЖЕНИЯ ДВУХ САМЦОВ, оцененный по величине гарема и по числу рождавшихся от них в год телят. Боевые качества самца играют решающую роль, когда он претендует на чужой гарем или защищает свой собственный. Максимального развития самцы достигают в возрасте от 7 до 10 лет.



УСПЕХ РАЗМНОЖЕНИЯ САМЦОВ благородного оленя изменяется с возрастом, поскольку от него зависит их способность драться и удерживать за собой гарем. Для самок возраст не играет роли; они приносят не больше одного теленка в год и способны к этому почти до конца своей жизни.

ют своих потомков мужского пола вскоре после их рождения, тем самым сберегая силы для следующих попыток к спариванию. Например, самки, занимающие в семейной группе подчиненное положение, могут лишаться молока своих сыновей, которые имеют мало шансов на успешное размножение.

Так ли это на самом деле? Если да, то вероятность гибели сыновей подчиненной самки должна быть выше, чем вероятность гибели ее дочерей, тогда как между сыновьями и дочерьми доминантных животных половых различий в выживаемости быть не должно. У благородного оленя наблюдается именно такая картина: в первые два года жизни смертность среди сыновей, рожденных подчиненными самками, составляет 51%, а среди дочерей — 30%. Между сыновьями и дочерьми доминантных самок такой разницы не обнаружено: сыновей погибает 38%, а дочерей — 36%.

ОДНАКО же, бросая уже родившегося детеныша, самка идет на слишком большие потери, поскольку на каждого теленка уходит существенная доля репродуктивного потенциала, отпущенного ей природой на всю ее жизнь. Матери могли бы повысить свой успех размножения, манипулируя соотношением полов телят до их рождения, в идеале — как можно ближе к моменту зачатия. Зависимость, выявленная между рангом самки в семейной группе и успехом размножения ее потомков мужского и женского пола, почти не оставляет сомнений в том, что доминантные матери увеличивают число своих внуков, производя на свет больше сыновей, чем дочерей, и что для подчиненных матерей должно быть справедливо обратное.

Имеет ли это место в действительности? Мы разделили самок в соответствии с их рангом на три категории и сравнили их потомство. Оказалось, что у подчиненных самок телята мужского пола составляют 47%, у самок среднего ранга — 54%, а у доминантных самок — 61%. Такие различия устойчиво наблюдались во всех восьми группах, по которым имелись данные о размножении на протяжении по крайней мере 75% их жизни. А если сравнивать отдельных матерей, то доля телят мужского пола варьирует в зависимости от ранга матери примерно от 30 до 70% (последнее — у самок, занимающих самое высокое положение в системе доминирования). Ранг, при котором у отдельных особей доля телят мужского пола превышает среднюю для популяции в целом, практически совпадает с тем, при котором сыновья превосходят по

успеху размножения дочерей. Аналогичные данные были получены при изучении макаков-резусов в Пуэрто-Рико.

Описанные здесь данные удивляют, потому что, как показали исследования самых разных домашних животных и птиц, методами селективного скрещивания не удается произвольно изменять соотношение полов в потомстве. Полученные результаты можно объяснить тем, что устойчивые различия в соотношении полов возникают в ответ на индивидуальные различия в размерах или состоянии материнского организма в популяциях, испытывающих недостаток корма. У домашних животных таких устойчивых тенденций не наблюдается, вероятно, потому, что они содержатся в условиях искусственно создаваемого высокого уровня питания. Возможно и другое объяснение: домашние животные могли утратить способность изменять соотношение полов в ответ на изменения среды в результате искусственного отбора в течение многих поколений.

Наши исследования пока еще не позволили установить, может ли мать регулировать вариации в соотношении полов, обусловленные половыми различиями в смертности после рождения или же изменчивостью соотношения полов среди новорожденных. Существуют две возможности. То, что молодые самцы страдают от недостатка пищи сильнее, чем молодые самки, могло бы объяснить, почему у матерей, занимающих подчиненное положение, сыновья гибнут чаще, чем дочери. Мы сравнивали сыновей и дочерей подчиненных самок по количеству высасываемого ими за один раз молока, но результаты получились неопределенные. Есть и другая возможность: подчиненные самки, по-видимому, рожают меньше сыновей, чем доминантные, так как для их потомков мужского пола вероятность гибели до рождения выше. При изучении нескольких различных видов млекопитающих было установлено, что среди абортусов соотношение полов сдвинуто в сторону самцов.

Пониженная выживаемость зародышей мужского пола объясняла бы, однако, наши результаты лишь в том случае, если бы соотношение полов в продуктах зачатия было сдвинуто в сторону самцов у всех самок. На самом деле у доминантных самок доля потомков мужского пола существенно превышает 50%. Кроме того, если наблюдаемая тенденция возникает вследствие того, что у самок, занимающих подчиненное положение, зародыши мужского пола гибнут в период внутриутробного развития, то они должны производить на свет меньше

телят, чем доминантные самки. Но различия в плодовитости между доминантными и подчиненными самками слишком малы, чтобы можно было так объяснить различия в соотношении полов.

СОБРАННЫЕ нами данные о биологии благородного оленя на острове Рам породили много вопросов о причинах различных тенденций в размножении млекопитающих, ответить на которые можно будет, только поставив контролируемые эксперименты в лабораторных условиях. Почему самцы хуже переносят недостаток пищи, чем самки? Действительно ли матери по-разному относятся к потомкам мужского и женского пола, или, быть может, разница в количестве высасываемого за один раз молока — результат половых различий в потребностях? Какие механизмы обуславливают преобладание среди новорожденных детенышей мужского пола, постоянно наблюдаемое у многих млекопитающих? Действительно ли у мелких самок, занимающих подчиненное положение, более вероятно зачатие потомков мужского пола, чем у доминантных самок?

Вряд ли мы можем дать окончательные ответы на эти вопросы. Тем не менее проведенная нами работа показывает, какое значение могут иметь полевые исследования репродуктивной стратегии животных в их естественной среде. Приведем лишь один пример: представляется вероятным, что попытки экспериментального воздействия на соотношение полов среди новорожденных были бы более успешными, если бы работа велась на животных с четко выраженным половым диморфизмом при ограниченном снабжении их пищей.

Для того чтобы проверить предложенные объяснения половых различий, следовало бы изучить факторы, определяющие успех размножения, на видах, которые не подчиняются установленным общим закономерностям. Так, например, для зебры и пятнистых гиен, как и для благородного оленя, характерна полигиния, однако у зебры самцы и самки мало отличаются друг от друга по размерам, а у пятнистой гиены самки крупнее самцов. Одинаково ли влияют размеры тела на успех размножения самцов и самок зебры? Важнее ли они для самок пятнистой гиены, чем для самцов?

Необходимо также исследовать виды с иными системами размножения. Можно ли считать, что у моногамных видов по сравнению с полигамными разница в факторах, определяющих успех размножения особей того и другого пола, меньше? Как эти факторы различаются у полиандрических ви-

дов? Перед экологами, изучающими такие проблемы, стоит задача выявить виды, у которых возможно измерить успех размножения обоих полов на протяжении естественной для особей данного вида продолжительности жизни и попытаться установить причины половых различий.

Издательство ФИНАНСЫ И СТАТИСТИКА предлагает:

**Б. Леонг-Хонг,
Б. Плагман**
**СИСТЕМЫ СЛОВАРЕЙ-
СПРАВОЧНИКОВ ДАННЫХ**

Перевод с английского

Книга знакомит читателей с концепцией, реализацией и внедрением словарей-справочников данных — центральной части современных информационных систем (ИС). Приведены языковые средства взаимодействия со словарем-справочником. Описана организация взаимодействия участников проекта ИС. Приведен комплексный пример разработки ИС с использованием СУБД сетевой структуры (разработанной по предложению КОДАСИЛ) и интегрированного словаря-справочника, включенного в состав этой СУБД.

Для специалистов, работающих с базами данных, проектировщиков ИС и администраторов баз данных.

1986, 21 л. Цена 1 р. 60 к.

Книги издательства «Финансы и статистика» можно приобрести в книжных магазинах, распространяющих общественно-политическую литературу, и в магазинах — опорных пунктах. Там же можно ознакомиться с планом выпуска литературы издательства на 1986 г. Прием предварительных заказов на эти издания будет производиться в пределах плановых тиражей, указанных в аннотированном плане.



Радиолокационные станции с фазированными антенными решетками

Обнаружение объектов и слежение за ними такие радиолокаторы осуществляют с помощью неподвижных антенн. Управление лучом основано на взаимодействии сигналов, излучаемых множеством небольших антенных элементов

ЭЛИ БРУКНЕР

ПОСТОЯННО вращающаяся антенна радиолокатора, направляющая высокочастотные сигналы к линии горизонта с целью обнаружения удаленных объектов, является неотъемлемым элементом панорамы современного аэродрома. Однако во многих наиболее известных областях применения радиолокации, таких, как авиация, противовоздушная оборона и разведка, механически управляемое зеркало антенны начинает заменяться устройством нового типа. Расположенный в одной плоскости набор небольших идентичных антенн, каждая из которых способна передавать и принимать сигналы, заменяет вогнутый рефлектор. Луч, создаваемый этим набором антенн, перемещается, обозревая воздушное пространство, а сама антенная система остается неподвижной. Направленные электромагнитного излучения, генерируемого радиолокатором, задаются специальным электронным устройством, причем в основе управления лучом лежит использование явления интерференции электромагнитных волн. Это техническое новшество, используемое в радиолокационных системах, получило название фазированных антенных решеток. Основные принципы построения радиолокационных станций при этом остаются прежними.

В основе работы всех радиолокационных станций лежит направленное излучение радиосигналов. Как правило, частота излучения лежит в микроволновом диапазоне, от $3 \cdot 10^8$ до 10^{10} Гц, хотя некоторые типы радиолокационных станций с очень большой дальностью действия работают в диапазоне высоких частот (ВЧ) и сверхвысоких частот (СВЧ), или соответственно в диапазонах от $3 \cdot 10^6$ до $3 \cdot 10^7$ Гц и от $3 \cdot 10^7$ до $3 \cdot 10^8$ Гц. В зависимости от формы антенна излу-

чает узкий остронаправленный луч, пригодный для точного слежения за целью, или же широкий веерообразный луч, наиболее подходящий для обзора широких областей воздушного пространства.

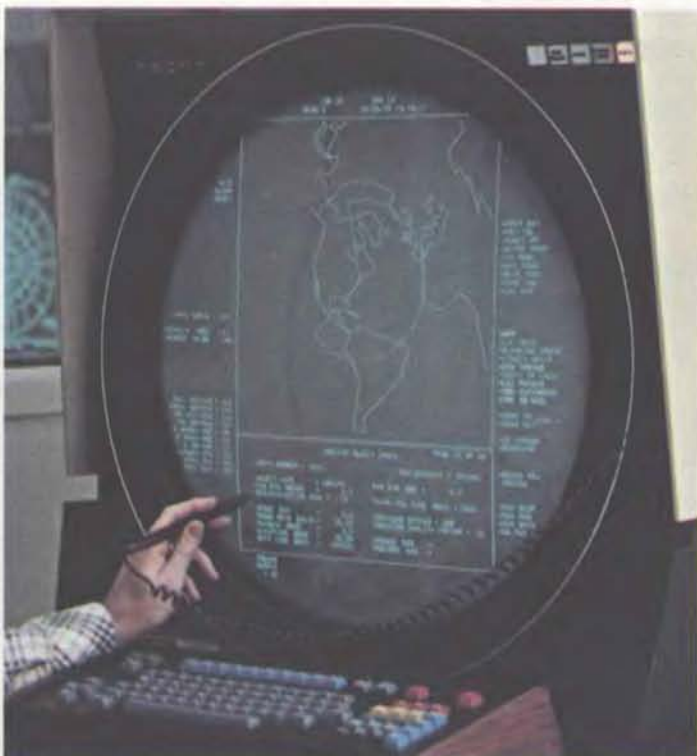
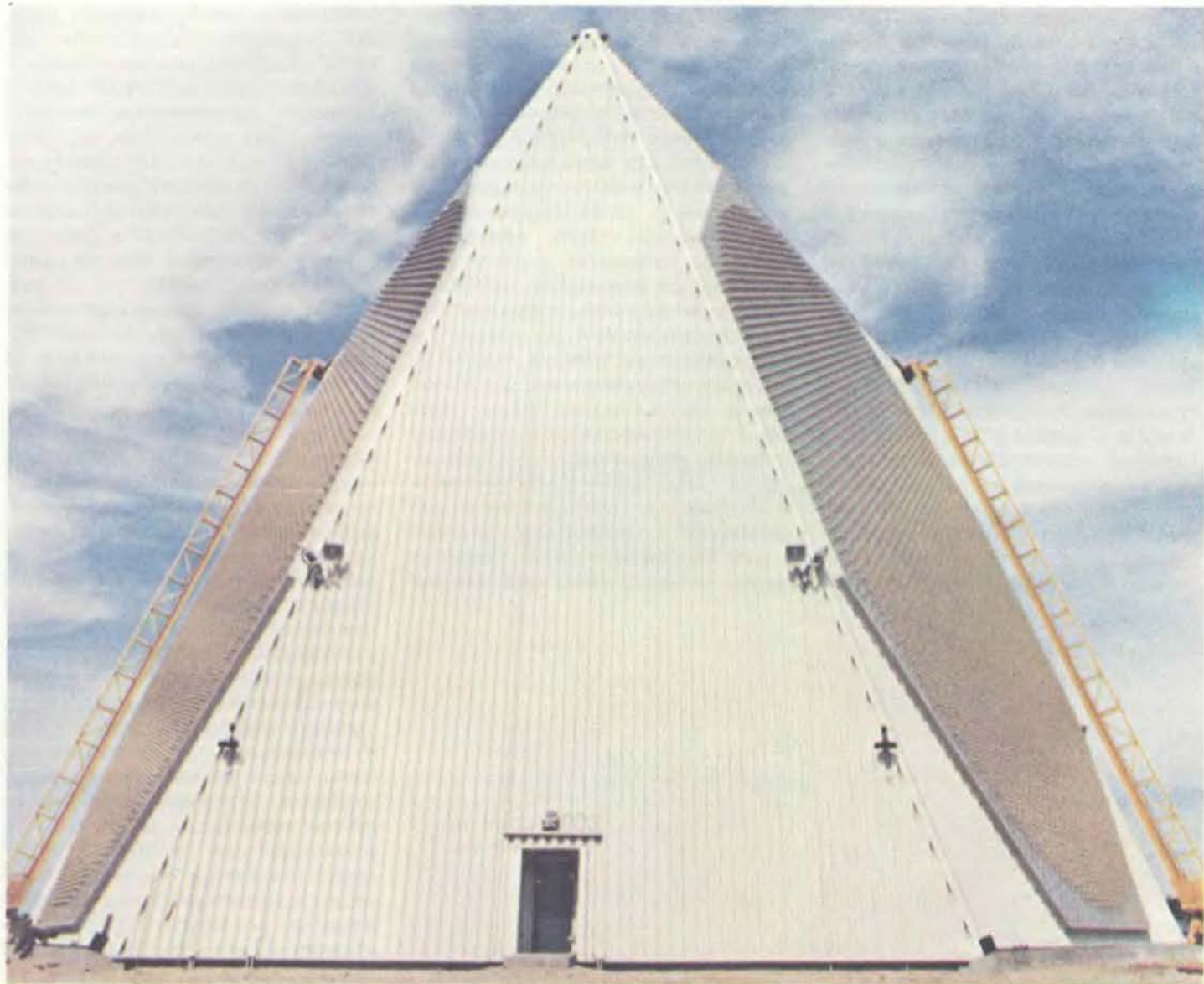
Когда посланный антенной сигнал достигает объекта, он отражается. Если мощность передаваемого импульса, чувствительность антенны и отражающая способность объекта достаточно велики, попадающий на антенну отраженный сигнал может быть зафиксирован радиолокационной станцией. В зависимости от типа радиолокатора и вида излучаемого импульса отраженный сигнал несет различную информацию о цели.

Направление, с которого приходит отраженный сигнал, определяет местоположение объекта, и если радиолокационная станция излучает импульсы энергии, а не непрерывный сигнал, то по времени запаздывания между посылкой импульса и приемом отраженного сигнала можно судить и о расстоянии до объекта. В некоторых радиолокационных станциях предусмотрено измерение доплеровского смещения частоты отраженного сигнала (т.е. разности частот прямого и отраженного сигналов), которое имеет место, когда источник излучения (в данном случае цель) и приемник (радиолокатор) движутся относительно друг друга. По величине доплеровского смещения вычисляется скорость объекта в направлении к антенне или от нее.

Для заданного расстояния до объекта интенсивность отраженного сигнала дает некоторое представление о размерах объекта. Слово «представление» используется здесь преднамеренно: два объекта одних и тех же размеров, если они имеют различную форму или же сделаны из различных материалов, будут посылать отра-

женные сигналы, существенно различающиеся по интенсивности. Чтобы получить более точную информацию о размерах объектов, некоторые радиолокационные станции передают такие короткие импульсы, что они физически короче целей, которые они могут встретить на пути своего распространения. Если радиолокационная станция излучает энергию только в течение нескольких миллиардных долей секунды, то к тому времени, когда передача импульса закончится, его фронт пройдет расстояние в пространстве порядка одного или нескольких метров. Такой импульс в пространстве имеет меньшую протяженность, чем, например, самолет. Радиосигналы отражаются как от дальних, так и от ближних поверхностей цели, и в случае чрезвычайно короткого импульса образуются два отраженных сигнала. Временной интервал между этими двумя отраженными сигналами соответствует длине цели.

ПОСКОЛЬКУ радиолокатор обычного типа обозревает широкие области воздушного пространства, то он может собирать информацию о большом количестве объектов. Однако между последовательными моментами, когда одна и та же цель оказывается в поле зрения радиолокатора, неизбежно существует некоторый (иногда значительный) временной интервал. Скорость обновления информации о цели, т.е. частота, с которой одна и та же цель фиксируется радиолокатором, для большинства станций с вращающейся антенной не превышает скорости поворота зеркала антенны вокруг своей оси. В радиолокационных станциях систем управления воздушным движением, например, зеленая линия радиальной развертки, которая движется по экрану, оставляя



РАДИОЛОКАЦИОННАЯ СТАНЦИЯ PAVE PAWS с двумя фазированными антенными решетками, обращенными в разные стороны (*вверху*). Ширина каждой решетки 31 м. Станция построена компанией Raytheon Company и установлена на военно-воздушной базе Otis Air Force Base на п-ве Кэйп-Код. Она предназначена для раннего обнаружения баллистических ракет и слежения за спутниками. Антенная система PAVE PAWS не имеет подвижных частей. Управление лучами осуществляется с помощью электронных устройств. При этом используется явление интерференции сигналов, излучаемых 1792 антенными элементами каждой решетки. Угол между решетками 120° . Поле обзора каждой решетки по азимуту тоже равно 120° , а вместе они обеспечивают поле обзора шириной 240° . В пределах этого угла радиолокационная станция может следить за большим количеством объектов почти одновременно. Это достигается за счет смещения луча с одной цели на другую за несколько миллионных долей секунды. На расстоянии 5550 км станция PAVE PAWS способна обнаруживать объекты с площадью поперечного сечения 10 м^2 . Информация о результатах обработки на ЭВМ принятых сигналов поступает на экран (*слева*). С помощью светового пера оператор корректирует информацию, имеющуюся в банке данных.

на нем отметки, характеризующие новое местоположение самолета и несущие другую информацию о нем, поворачивается с той же скоростью, с какой вращается само зеркало антенны. Обновление информации о наблюдаемом объекте в таких радиолокационных станциях производится обычно через каждые шесть секунд, и даже в самых совершенных станциях военного назначения обновление информации редко производится чаще двух раз за одну секунду.

Существуют обстоятельства, при которых новую информацию о положении и перемещении целей требуется получать более часто. Один радиолокатор с механически управляемой антенной может обеспечить непрерывное получение данных об одном или нескольких близко расположенных друг от друга объектах путем постоянного слежения за ними с помощью поворота антенной системы.

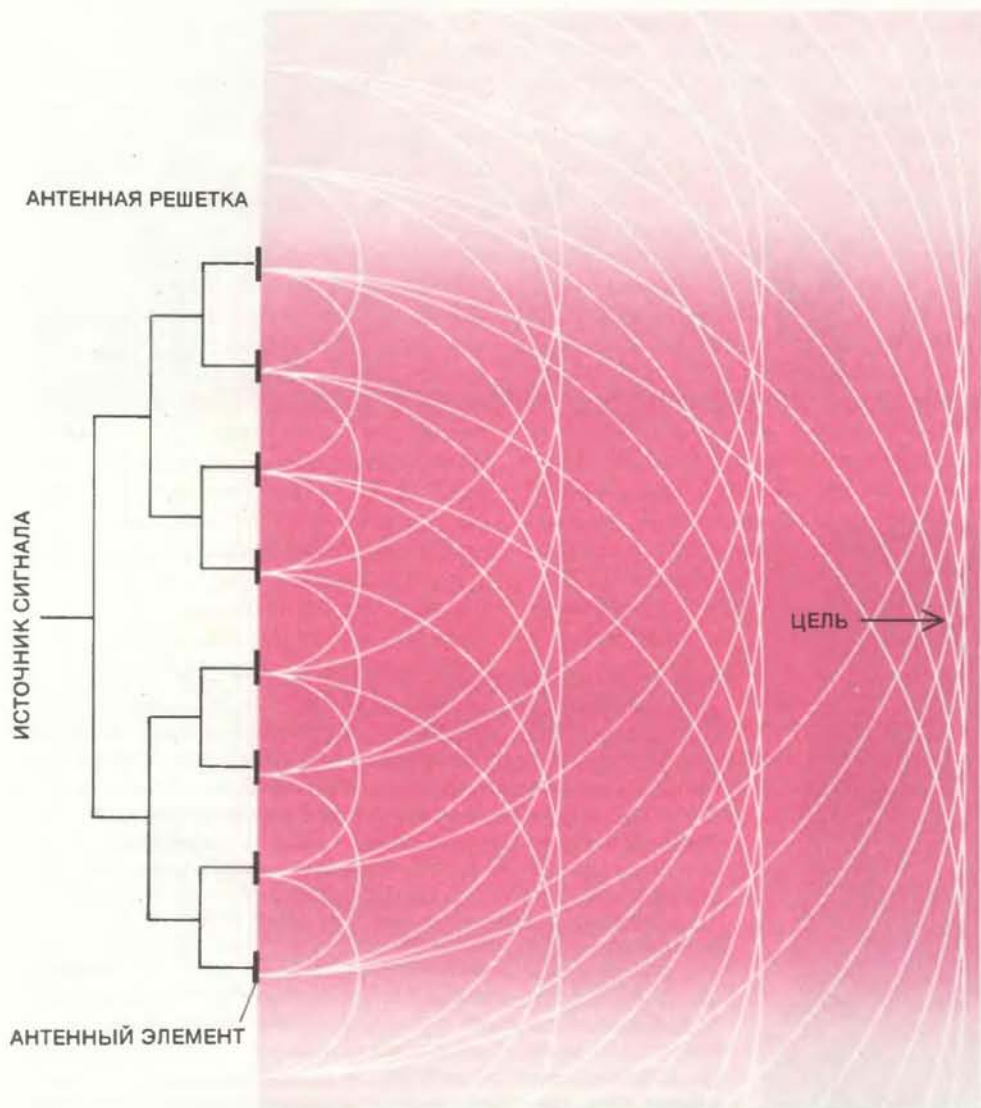
Однако для решения многих боевых задач и задач разведки, как, например, слежение с военного корабля за несколькими ракетами, движущимися к нему с различных направлений, или внимательное наблюдение за полетом нескольких компонентов разделившейся боеголовки при проведении испытаний межконтинентальных баллистических ракет, каждая из большого количества целей должна наблюдаться непрерывно. До недавнего времени в таких случаях прибегали к использованию нескольких радиолокационных станций, каждая из которых предназначалась для слежения за одной или несколькими целями. С появлением радиолокационных станций с фазированной антенной решеткой необходимость использовать в подобных случаях несколько радиолокаторов с механически управляемыми антеннами отпала. Теперь их может заменить всего одна станция,

оснащенная новой антенной системой. В качестве примера можно привести радиолокационную станцию с кодовым названием COBRA DANE, имеющую фазированную антенную решетку; она установлена на берегу Берингова моря и может следить одновременно за сотнями целей, рассредоточенных в пространстве, ограниченном 120° по азимуту и примерно 80° по углу места. В действительности радиолокационная станция наблюдает за этими целями одновременно путем автоматического перебрасывания своего луча с одной цели на другую за время, измеряемое микросекундами.

Электронное управление лучом, благодаря которому достигаются такие замечательные возможности, основано на использовании простого физического явления. Когда расположенные рядом источники излучают энергию одновременно на одной и той же частоте, то исходящие из этих источников волны складываются. Это явление называется интерференцией. Характер взаимодействия двух волн от двух разнесенных в пространстве источников зависит от сдвига фаз между этими волнами. Если гребни и впадины одной волны соответственно совпадают с гребнями и впадинами другой волны (сдвиг фаз равен 0), то результирующее колебание будет иметь суммарную амплитуду. Если волны находятся не в фазе и их гребни и впадины не совпадают, то результирующий сигнал будет ослабленным или (при сдвиге фаз 180°) равным 0.

Фазированная антенная решетка обычно собирается из расположенных в одной плоскости и на одинаковом расстоянии друг от друга излучающих элементов, к которым подводятся равные по амплитуде и совпадающие по фазе сигналы микроволнового диапазона. Задающий генератор генерирует сигнал, а транзисторы и специальные лампы, предназначенные для работы в микроволновом диапазоне, такие, как лампы бегущей волны, усиливают его. Если сигналы излучаются в фазе со всех элементов решетки, то их амплитуды складываются в определенных точках пространства вдоль линии, перпендикулярной к плоскости решетки. Следовательно, излучаемый сигнал будет сильным, а сигнал, отраженный от объектов, лежащих на пути его распространения вдоль оси, перпендикулярной плоскости антенной решетки и в пределах малого угла в стороны от нее, будет иметь достаточную для его обнаружения интенсивность.

При больших углах отклонения от перпендикулярной оси антенной решетки сигналы от различных излучающих элементов должны проходить

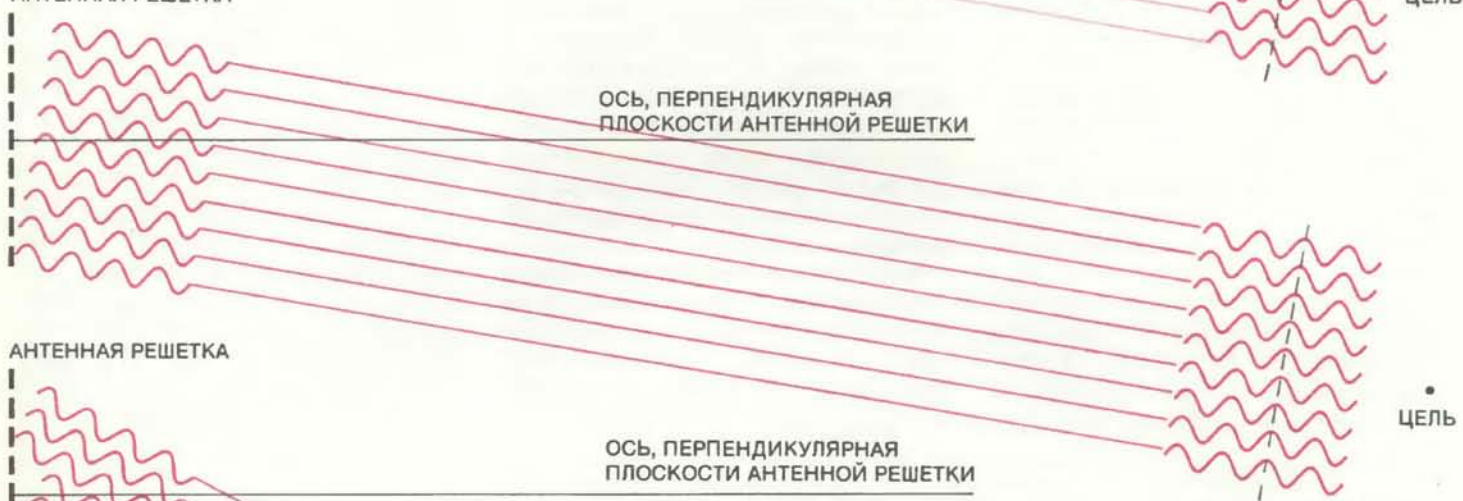


АНТЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ФАЗИРОВАННОЙ РЕШЕТКЕ излучают отдельные микроволновые сигналы. Когда все сигналы совпадают по фазе, гребни волн, передвигающиеся синхронно вперед, накладываются друг на друга вдоль оси, перпендикулярной к плоскости антенной решетки. За счет взаимного наложения сигналов (интерференции) создается сильный суммарный сигнал, распространяющийся вдоль той же оси.

АНТЕННАЯ РЕШЕТКА



АНТЕННАЯ РЕШЕТКА



АНТЕННАЯ РЕШЕТКА



ЭЛЕКТРОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЛУЧОМ основано на последовательном увеличении относительного сдвига фазы сигналов. Каждый антенный элемент излучает сигнал, распространяющийся во всех направлениях. Когда сигналы излучаются в одной фазе, то при отклонении от оси, перпендикулярной плоскости антенной решетки, гребни и впадины волн не совпадают (*верхний рисунок*). В направлениях, отличных от этой оси, отдельные сигналы имеют разную фазу: при интерференции создается слабый сигнал; интенсивность отраженного сигнала недостаточна для обнаружения цели. Чтобы в направлении на цель сигнал при интерференции усиливался, вводится задержка импульсов, излучаемых отдельными элементами на время, соответствующее частям длины волны излучения. В результате получается серия фазовых сдвигов, величина которых увеличивается вдоль плоскости решетки. Сдвинутые по фазе сигналы теперь совпадают в направлении под углом к перпендикулярной оси. Их интерференция дает сильный суммарный сигнал (*рисунок в середине*). Для большего отклонения луча необходимо увеличить относительный сдвиг фаз сигналов двух расположенных рядом

элементов. Для уменьшения количества задерживающих цепей сами задержки никогда не превышают времени, соответствующего целой длине волны. Вместо этого ступенчатое увеличение задержек от нуля до максимального значения, меньшего длины волны излучения, периодически повторяется вдоль плоскости решетки (*нижний рисунок*). Таким образом можно сформировать мощный луч, в котором гребни волн отдельных сигналов совпадают в направлении, образующем очень большой угол с перпендикулярной осью.

до цели неодинаковые расстояния. В результате соотношение их фаз меняется и они интерферируют, ослабляя или полностью уничтожая друг друга. Таким образом, за пределами узкого конуса, ось которого совпадает с перпендикулярной осью антенной решетки и в котором имеет место интерференция с усилением амплитуды результирующей волны, отраженные от объектов сигналы имеют малую интенсивность и обнаружить их не удастся. Физические принципы, лежащие в основе формирования интерференционных картин, позволяют определить ширину этого конуса. Она прямо пропорциональна рабочей длине волны излучения и обратно пропорциональна размеру антенной решетки. Если каждый элемент антенной решетки излучает сигналы в фазе с другими, то луч радиолокатора распространяется в направлении, строго перпендикулярном к плоскости решетки.

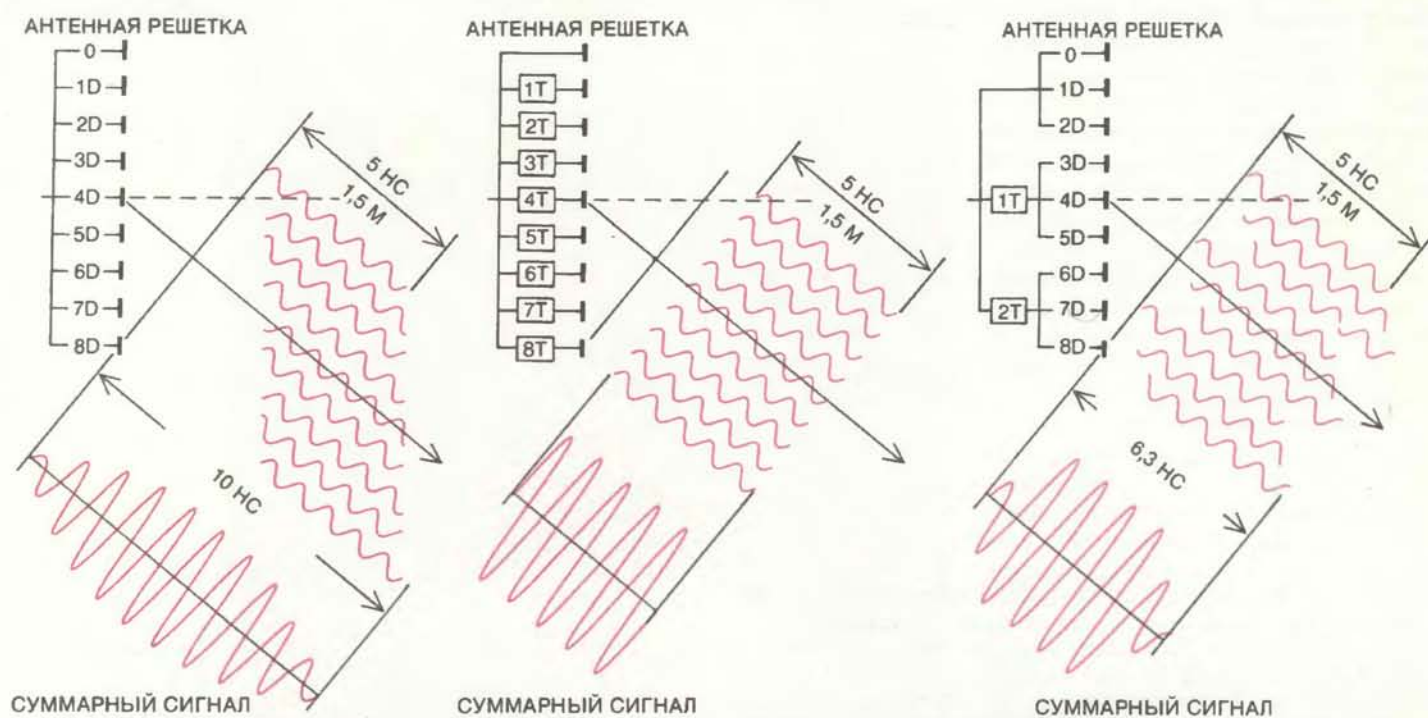
Теперь предположим, что сигналы каждого излучающего элемента задерживаются на время, которое равномерно увеличивается от элемента к элементу вдоль плоскости решетки.

При этом сигнал, излучаемый каждым элементом, будет отставать на часть длины волны от сигнала соседнего элемента. В результате все сигналы будут сдвинуты по фазе относительно друг друга. Теперь зона, в которой отдельные сигналы совпадают по фазе и, складываясь, дают сигнал суммарной амплитуды, с помощью которого можно обнаружить цели, расположена не вдоль перпендикулярной оси решетки, а смещена в направлении увеличения задержки сигнала. Угол отклонения луча зависит от сдвига фаз сигналов, излучаемых соседними элементами антенной решетки, размера последней и длины волны. И в этом случае луч принимает форму узкого конуса, окруженного областями ослабляющей интерференции. Таким образом луч радиолокатора оказывается отклоненным без изменения положения антенны.

Когда отраженный сигнал возвращается от цели, которая находится в этом новом направлении, определяемом нарастающим сдвигом фаз, цепь, обеспечивающая временную задержку передаваемого сигнала, вводит но-

вую серию задержек отдельных сигналов, входящих на каждый из излучающих элементов. Поскольку фронт возвращающейся волны достигает антенной решетки под углом к ее плоскости, элементы антенны, которые излучали сигнал последними (они расположены ближе к цели), принимают отраженный импульс первыми. Поэтому та же серия задержек, за счет которой создается заданная направленность излучения, обеспечивает поступление всех составляющих отраженного сигнала в приемное устройство в одной фазе, что дает возможность производить их обработку для получения информации о цели.

Управление задержкой по фазе дает возможность отклонять луч антенной решетки обычного типа на угол до 60° от перпендикулярной оси, что обеспечивает поле обзора 120° по азимуту, т.е., сохраняя антенну неподвижной, радиолокатор обзревает третью часть круговой линии горизонта, а если плоскость решетки имеет достаточный наклон, то и от горизонта к зениту и далеко за него. Поскольку управление лучом при этом не связано ни с какими механическими перест-



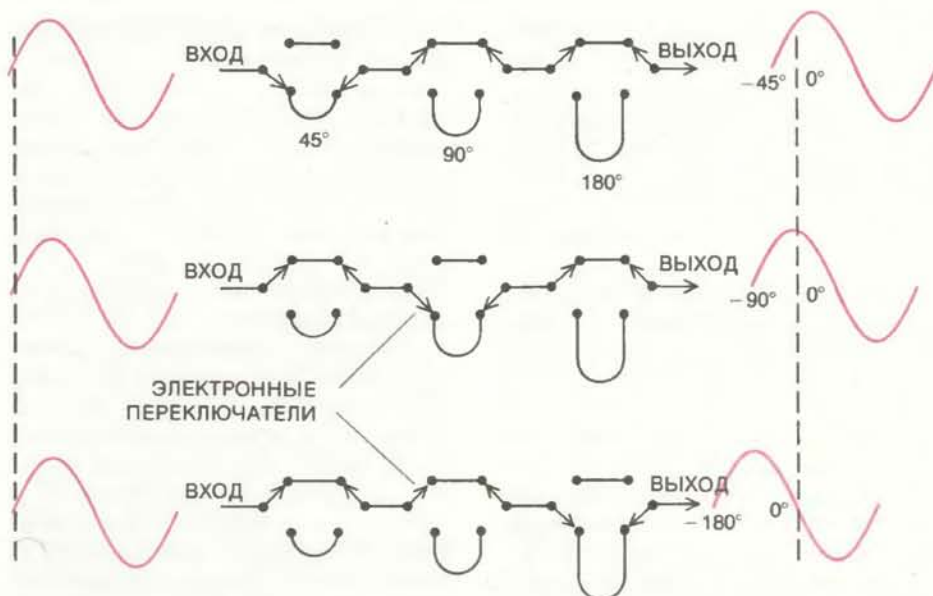
ВРЕМЕННЫЕ ЗАДЕРЖКИ не позволяют импульсу очень малой длительности, которая необходима для определения размеров объекта, растягиваться и искажаться при излучении под большим углом к оси, перпендикулярной к плоскости антенной решетки. Импульс длительностью 5 нс имеет в пространстве длину 1,5 м, когда он излучается строго перпендикулярно, но когда за счет сдвига фаз на величину D , кратную минимальному сдвигу, импульс значительно отклоняется от перпендикулярного направления, он может оказаться растянутым (рисунки слева). Постепенно нарастающие задержки, кратные некоторому числу T , и превышающие во много раз задержки, используемые при управлении фазой, обеспечивают сохранение

формы и размеров излучаемого импульса (рисунки в середине). Для уменьшения сложности цепей, обеспечивающих временные задержки в каждом из сотен или тысяч антенных элементов, многие решетки делятся на участки, направление излучения которых управляется величиной фазовых сдвигов. При больших углах отклонения луча от направления перпендикулярной оси участки антенной решетки излучают искаженные сигналы, но за счет временных задержек искажения сигналов отдельных участков не складываются и не усиливают друг друга вдоль плоскости антенной решетки. Размеры импульса сохраняются довольно точно и при этом требуется меньше цепей временных задержек сигналов (рисунки справа).

ройками, перемещение луча в пределах всей зоны обзора занимает всего несколько микросекунд. При использовании ЭВМ для расчета нужных сдвигов по фазе с целью отклонения луча на желаемый угол и для управления схемой задержки сигналов радиолокационная станция с фазированной антенной решеткой, такая, как COBRA DANE, может одновременно осуществлять слежение за несколькими сотнями целей.

ЭЛЕКТРОННОЕ устройство, которое обеспечивает управление лучом радиолокатора и создает требуемую задержку микроволнового сигнала при подаче на каждый элемент антенной решетки, называется фазосдвигающим устройством. Оно состоит из отрезков кабеля или волновода очень точных размеров. Увеличение длины кабеля, по которому сигнал от генератора или усилителя подводится к излучающему элементу, приводит к задержке времени прохождения сигнала. На практике невозможно сделать так, чтобы длина всех кабелей, по которым сигналы подаются к излучающим элементам фазированной антенной решетки, менялась плавно, обеспечивая непрерывное изменение задержек по фазе. Поэтому сдвиг фазы производится скачками. Каждый элемент антенной решетки соединен с несколькими кабелями различной длины. Для получения фазовых сдвигов, обеспечивающих заданное отклонение луча, в каждую цепь включается определенная комбинация кабелей.

В применяемой для разведывательных целей радиолокационной станции COBRA DANE, например, используются трехэлементные фазосдвигающие устройства. Каждое такое устройство имеет три полосковые линии различной длины, своего рода волноводы, которые обеспечивают передачу колебаний микроволнового диапазона вдоль узкой медной полоски, расположенной между двумя заземленными медными пластинами. Одна из полосковых линий увеличивает длину пути прохождения сигнала на величину, равную половине длины волны, около 15 см, так как рабочая частота радиолокационной станции COBRA DANE составляет примерно 1 ГГц. Это обеспечивает сдвиг фазы сигнала на 180° по отношению к незадержанному сигналу. Другая полосковая линия обеспечивает задержку сигнала на четверть длины волны, т.е. обеспечивает сдвиг фазы на 90° . Длина третьей полосковой линии такова, что в ней создается задержка, равная одной восьмой длины волны, что соответствует фазовому сдвигу



ФАЗОСДВИГАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО направляет микроволновые сигналы к каждому антенному элементу по кабелям разной длины. Кабели задерживают сигнал и тем самым сдвигают его фазу на выходе по отношению к той, которая была на входе. Поскольку радиоволны, как и все электромагнитные колебания, распространяются с постоянной скоростью, задержка сигнала, проходящего по определенному пути, пропорциональна длине этого пути. На рисунке показаны схемы включения линий задержек для трех случаев. Самая короткая из трех линий обеспечивает задержку на 45° , или на одну восьмую длины волны (верхняя схема). Если сигнал по этой линии не передается, а поступает на следующую, то фазовый сдвиг равен 90° , или четверти длины волны (схема в середине). Самая длинная из трех линий обеспечивает задержку на 180° , или на половину длины волны (нижняя схема). Комбинации из этих трех линий задержек обеспечивают увеличение фазового сдвига до 315° . Для каждого отклонения луча от перпендикулярного направления центральная ЭВМ производит расчет требуемой фазовой задержки в цепи каждого излучающего элемента и включение соответствующей комбинации линий задержки.

45° . В различных комбинациях эти три полосковые линии могут изменять фазу сигнала на любое число градусов, кратное 45° , от 0 до 315° .

Ступенчатое изменение величины фазовой задержки должно, вероятно, приводить к появлению мертвых зон. Каким же образом, используя восемь различных величин запаздывания по фазе с интервалом 45° , можно обеспечить непрерывное перемещение луча радиолокатора? Ответ на этот вопрос заключается в свойствах картин интерференции. Всякий раз, когда разность фаз между сигналами, излучаемыми с противоположных сторон антенной решетки, достигает 360° , или одной длины волны, область интерференции, где формируется луч с суммарной амплитудой, будет сдвигаться в пространстве на расстояние, приблизительно равное собственной ее ширине. Поэтому, чтобы сместить луч, перпендикулярный плоскости антенной решетки (такое направление он имеет, когда все сигналы излучаются без образования между этими двумя положениями мертвой зоны, суммарный фазовый сдвиг вдоль плоскости антенной решетки должен составлять

примерно 360° .

Увеличиваются ли при этом фазовые сдвиги вдоль плоскости решетки непрерывно или ступенчато (через 45°) — не имеет значения. Ступенчатое изменение фазовых сдвигов приводит лишь к небольшому снижению мощности излучения и некоторой потере чувствительности антенной системы. Чтобы обеспечить более плавное перемещение луча антенной решетки с трехэлементными фазосдвигающими устройствами, можно задать меньшую суммарную величину сдвига фазы, например, 180° , т.е. четыре раза по 45° .

Если луч нужно отклонить от перпендикулярного направления на величину, большую, чем его ширина, суммарное изменение фазы вдоль плоскости антенной решетки должно превысить 360° . Из-за периодического характера электромагнитных колебаний фазовый сдвиг на кратное число длин волн эквивалентен 360° . Для суммарного изменения фазы более чем на 360° линейное увеличение задержки фазы от нуля до 360° должно повторяться несколько раз на всей плоскости антенной решетки. Первая серия задержек обеспечивает суммар-

ный сдвиг фазы на одну длину волны, вторая серия увеличивает его до двух длин волн и т.д. Графически изменение величины фазовой задержки вдоль плоскости антенной решетки представляется в виде зубьев пилы: чем круче их склоны и чем больше их количество, тем резче отклоняется луч.

Из простых геометрических правил следует, что с увеличением отклонения луча от перпендикулярного направления эффективная площадь антенны уменьшается. В результате чувствительность фазированной антенной решетки к отраженным от цели сигналам быстро падает при углах отклонения луча от перпендикулярной оси более чем на 60° . Поэтому одна фазированная антенная решетка не может обеспечить такую же возможность обзора во всех направлениях,

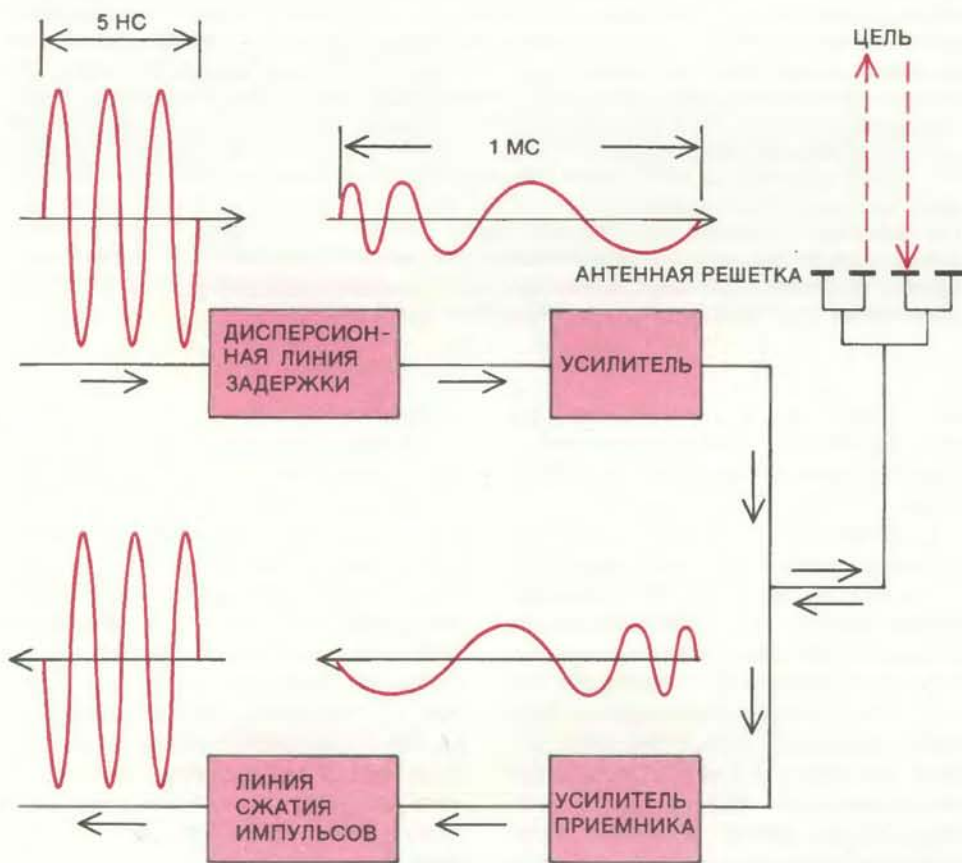
как механически поворачиваемые антенны. Одним из решений этой проблемы является использование нескольких антенных решеток, обращенных своими плоскостями в разные стороны. Другим способом расширения зоны обзора фазированной антенной решетки является расположение ее в горизонтальной плоскости под куполообразной линзой, которая отражает излучение, и за счет этого угол отклонения луча радиолокационной станции увеличивается. Когда антенная решетка формирует луч под углом 60° к зениту, использование линзы может обеспечить еще большее его отклонение, вплоть до 90° к зениту, т.е. в направлении на горизонт. Таким образом линза позволяет осматривать с помощью антенной решетки всю полусферу воздушного пространства. Линза может быть вы-

полнена из специальной керамики или пластмассы, которая отражает излучение микроволнового диапазона. Она может также выполнять роль фазосдвигающих устройств второй ступени, чтобы дополнительно задерживать фазу сигнала, излучаемого антенной решеткой.

КОГДА управление фазой используется для посылки короткого импульса под большим углом к перпендикулярной оси антенной решетки, излучаемый импульс неизбежно будет искажаться — растягиваться во времени и пространстве. Предположим, что антенна излучает импульс длительностью 5 нс. Если излучение радиолокационной станции направлено строго перпендикулярно к плоскости антенной решетки, то импульс имеет в пространстве прямоугольное продольное сечение; его ширина равна ширине антенной решетки, а длина — расстоянию, которое электромагнитная волна проходит за 5 нс, т.е. 1,5 м. Если, с другой стороны, за счет сдвига фаз луч значительно отклоняется от перпендикулярной оси, то продольное сечение импульса будет иметь форму параллелограмма. По отношению к цели длина импульса окажется больше 1,5 м, поскольку сигналы, излучаемые отдельными элементами антенной решетки, достигают цели не одновременно, а последовательно. Отраженный импульс, который возвращается к антенной решетке, также будет растянутым.

Для обнаружения целей и слежения за ними обычно используются импульсы намного большей длительности, например 1000 нс, и искажение в пределах нескольких наносекунд имеет малое значение. Растягивание импульса в свою очередь мало влияет на способность радиолокационной станции определять по характеру отраженного сигнала местоположение и скорость цели. Для раздельного наблюдения целей, движущихся в тесном строю, однако, требуется излучать короткие импульсы. Они же необходимы для определения размеров цели по сигналам, отраженным от ее передней и задней поверхностей. Если передаваемый короткий импульс растягивается, то отраженные сигналы уже не приходят раздельно, а сливаются, что затрудняет получение требуемой информации.

Метод, подобный тому, который используется для управления лучом с помощью сдвига фаз сигналов, помогает и в этом случае; он позволяет сохранять форму импульса. Для обеспечения требуемого сдвига фаз необходимо производить задержки сигналов



КОДИРОВАНИЕ И СЖАТИЕ ИМПУЛЬСОВ дает возможность с помощью излучения длинных импульсов получать такую же точную информацию о размерах объекта и расстоянии до него, как и в случае излучения коротких импульсов. Применение коротких импульсов для обеспечения требуемой дальности действия обычно требует неприемлемо высокой мощности излучения. При кодировании импульсов очень короткий сигнал, включающий в себя спектр частот, проходит через дисперсионную линию задержки, в которой составляющие этого сигнала задерживаются на время, пропорциональное их частоте. При этом импульс растягивается. Например, импульс длительностью 5 нс может быть удлинён в 200 тыс. раз и его длительность будет равна 1 мс. Затем импульс усиливается и излучается, а отраженный от цели сигнал принимается и тоже усиливается. Линия сжатия импульсов задерживает составляющие на время, которое обратно пропорционально частоте, с тем, чтобы привести сигнал к его первоначальной длительности, равной 5 нс. Сжатый отраженный сигнал обеспечивает получение всей информации, которую можно было бы получить, если бы непосредственно излучался импульс длительностью 5 нс.

только на время, соответствующее частям длины волны. Задержки же, которые необходимы, чтобы избежать растягивания импульса, эквивалентны целому числу длин волн. При этом излучение сигналов отдельными элементами антенной решетки производится последовательно, причем опережение в излучении каждого сигнала по отношению к следующему пропорционально расстоянию, которое сигнал должен пройти до цели. В результате достигается тот же эффект, как если бы антенная решетка поворачивалась, удерживая цель в направлении перпендикулярной оси. Этот метод известен как управление лучом с помощью временных задержек. Подобно методу, в котором используется увеличение фазовых задержек, он дает возможность посылать в заданном направлении сигнал когерентного и поэтому мощного излучения.

Такие большие задержки, эквивалентные расстоянию в несколько метров, которое проходит сигнал, требуют включения отрезков кабеля соответствующей длины в цепь прохождения сигнала от генератора или усилителя до излучающего элемента. Большая фазированная антенная решетка может включать в себя много тысяч излучающих элементов, и если бы каждый имел свою цепь временной задержки, то радиолокационная установка была бы чрезвычайно сложной и дорогой. Поэтому конструкторы радиолокационных станций стремятся изыскать компромиссное решение, при котором одновременно достигались бы и нужная форма импульса, даже при больших углах отклонения направления излучения от перпендикулярной оси антенной решетки, и конструктивная простота. В результате в современных радиолокаторах с фазированными антенными решетками управление лучом осуществляется как с помощью сдвига фаз, так и с помощью временных задержек.

В радиолокационной станции COBRA DANE, например, каждый из 15 360 излучающих элементов связан с отдельным трехэлементным фазосдвигающим устройством, поэтому сдвиг фазы каждого сигнала производится отдельно. В режиме обнаружения целей радиолокационная станция излучает импульсы длительностью 1000 нс, и луч управляется только посредством введения фазовых задержек. Поскольку назначение радиолокационной станции состоит в слежении за баллистическими ракетами, она должна обеспечивать получение информации об их размерах после обнаружения. С этой целью антенная решетка разделена на 96 участков,

каждый из которых включает 160 излучающих элементов. После того как цель обнаружена, станция начинает излучать импульсы очень малой длительности, и сигналы, подводимые к каждому участку антенной решетки, предварительно проходят по цепи временной задержки. Эти цепи аналогичны фазосдвигающим устройствам, но значительно больше по размеру. Они состоят из набора коаксиальных кабелей различной длины, и любая их комбинация может быть включена в цепь для создания временных задержек, соответствующих прохождению сигнала на расстояние от одной до 64 длин волн, или около 19,2 м, так как рабочая частота радиолокационной станции COBRA DANE равна примерно 1 ГГц.

Поскольку поперечный размер отдельных участков антенной решетки составляет около 2,7 м, что мало по сравнению с ее диаметром, равным 29 м, то искажения, которые возникают в каждом участке решетки при больших углах отклонения луча от перпендикулярной оси, лежат в допустимых пределах. Каждый участок антенной решетки излучает сигнал, занимающий в пространстве объем, продольное сечение которого имеет форму параллелограмма. За счет временных задержек эти сигналы суммируются так, что искажения отдельных сигналов не складываются. В результате форма импульса сохраняется достаточно хорошо, а устройство, обеспечивающих временные задержки сигналов, при этом используется только 96, а не 15 360. Что касается расхода материалов, то обеспечение управления лучом радиолокационной станции COBRA DANE путем введения временных задержек потребовало дополнительного использования кабелей общей длиной чуть больше 1500 м. Если бы не применялось разделение антенной решетки на отдельные участки, то дополнительно потребовалось бы 165 км кабеля.

ЗАМЕНА подвижной антенны набором неподвижных излучающих элементов помимо возможности электронного управления лучом может дать и другие преимущества. Одним из этих преимуществ является обеспечение высокой надежности в работе. Работа неподвижной антенной решетки не зависит от состояния таких изнашиваемых механических компонентов, как подшипники и двигатели. Кроме того, в большинстве радиолокационных станций с механическим управлением антенной используется одна или несколько очень больших электронных ламп для усиления сигналов микроволнового диапазона.

В качестве примера можно привести радиолокационную станцию Marconi Martello, изготовленную в Великобритании и предназначенную для использования в системе противоздушной обороны. Основным схемным элементом в этой станции является электронная лампа с выходной мощностью около 3 МВт. В случае ее отказа вся система выходит из строя. Правда, в таких радиолокационных станциях, предназначенных для работы в системах разведки и противоздушной обороны, всегда предусматривается возможность быстрого переключения на вспомогательные источники энергии микроволнового излучения.

В противоположность этому в радиолокационной станции COBRA DANE излучаемая энергия генерируется 96 лампами, каждая мощностью 160 кВт. Выходной сигнал с каждой лампы поступает на делитель, а затем на 160 излучающих элементов, составляющих один участок антенной решетки. Отказ одной лампы в данном случае приводит к выходу из строя только одной из 96 частей антенной решетки, и радиолокационная станция в целом остается работоспособной, хотя качество ее работы несколько ухудшается. Более того, лампы меньшего размера в случае отказа заменять легче, чем одну большую лампу, используемую в радиолокационной станции Martello.

Радиолокаторы с фазированными антенными решетками со схемой на полупроводниковых элементах имеют еще более высокий уровень надежности и легкости в эксплуатации. Транзисторные схемы генераторов и усилителей используются, например, в радиолокационных станциях с кодовым названием PAVE PAWS, предназначенных для обнаружения баллистических ракет, запускаемых с кораблей и подводных лодок (такие станции уже установлены на п-ве Кэйп-Код и в штате Калифорния, и их размещение планируется в штатах Джорджия и Техас). В отдельных модулях смонтировано по четыре параллельно включенных транзистора мощностью по 100 Вт. Каждый модуль обеспечивает возбуждение одного излучающего элемента. Таким образом, сигналы, подводимые к каждой из двух поверхностей двояковой антенны, усиливаются одновременно 1792 модулями в цепи антенных элементов, а не 96 лампами, так что отказ в работе одного элемента еще меньше влияет на характеристики радиолокационной станции в целом. К тому же среднее время между двумя отказами для одного полупроводникового модуля значительно больше,

чем для лампы, используемой в радиолокационной станции COBRA DANE. В первом случае этот показатель равен 100 000 ч, во втором — 20 000 ч. При отказе модулей, имеющих длину 30 см и работающих от источника напряжения 28 В, заменять их намного легче, чем лампы в радиолокационной станции COBRA DANE, имеющие длину 1,5 м и работающие под напряжением 40 000 В.

В радиолокационной станции PAVE PAWS, как и во многих других, построенных на полупроводниковых элементах, усиление сигналов производится после того, как они будут распределены по антенным элементам и сдвинуты по фазе. Поэтому потери мощности, которые имеют место при прохождении усиленного сигнала через делитель и цепи фазосдвигающего устройства, исключаются. Однако наряду с этим выигрышем в эффективности и всеми другими преимуществами полупроводниковая технология имеет и недостаток. Она в общем обеспечивает меньшие значения пиковых мощностей по сравнению с теми, какие можно получить с помощью электронных ламп.

ОГРАНИЧЕНИЯ, связанные с возможностью получения в радиолокационных на полупроводниковых элементах сигналов большой мощности, повысили важность так называемого метода кодирования и сжатия импульсов, с помощью которого можно имитировать короткие импульсы большой мощности при излучении менее мощных и больших по длительности сигналов. Этот прием не утрачивает своей важности и в случае использования мощных радиолокационных станций на электронных лампах как с механически управляемыми антеннами, так и с фазированными антенными решетками, когда требуется получить определенную информацию об удаленных объектах.

Дальность, на которой радиолокационная станция с заданной чувствительностью приемного тракта может обнаруживать объекты определенного размера и с определенной отражательной способностью, зависит от общей энергии импульса. Чем короче импульс, тем выше должна быть пиковая мощность излучения при заданной дальности действия. Радиолокационная станция COBRA DANE может обнаруживать металлические объекты величиной с грейпфрут на расстоянии около 2000 км. Для этого при длительности импульса 5 нс пиковая мощность излучения должна быть не меньше $3 \cdot 10^{12}$ Вт, что более чем достаточно для разрушения всех цепей радиолокационной станции.

И все же определить размеры объекта или же отдельно наблюдать ряд объектов, летящих на близком расстоянии друг от друга, можно только с помощью импульсов малой длительности. То, что дальность действия радиолокационной станции определяется не пиковой мощностью, а общей энергией импульса, помогает найти решение. Оно заключается в следующем. Когда радиолокатор работает в режиме передачи, излучаемый импульс растягивается и соответственно снижается пиковая мощность. Этот прием называется кодированием импульса. В режиме приема производится сжатие отраженного сигнала с целью извлечения из него всей информации, которая могла бы быть получена при передаче действительно короткого импульса. В радиолокационной станции COBRA DANE, например, импульс длительностью 5 нс перед тем, как он усиливается и излучается, растягивается в 200 тысяч раз и его длительность становится равной 1 мс. Требуемая пиковая мощность снижается в такое же число раз — с $3 \cdot 10^{12}$ Вт до 15 МВт, фактической мощности излучения COBRA DANE.

При обычной технике кодирования импульс длительностью 5 нс, включающий в себя спектр частот, проходит через дисперсионную линию задержки, которая вызывает различное запаздывание отдельных составляющих этого спектра: чем выше частота составляющей, тем больше задержка; составляющая сигнала с самой низкой частотой излучается без задержки, в то время как составляющая с самой высокой частотой получает максимальную задержку, равную 1 мс. После этого импульс, имеющий уже длительность 1 мс, усиливается и излучается; принимаемый отраженный сигнал имеет ту же длительность.

Принятый сигнал пропускается через цепь сжатия, которая вводит ряд дополнительных задержек. На этот раз длительность задержек связана с частотой обратным образом. Составляющая спектра импульса с самой низкой частотой получает задержку, равную 1 мс, а составляющая с самой высокой частотой не получает никакой задержки. Таким образом, в процессе выполнения операции кодирования и сжатия импульса каждая из составляющих спектра сигнала получает одну и ту же суммарную задержку. В результате отраженный сигнал получается неискаженным, имеющим длительность 5 нс.

Если излученный импульс длительностью 1 мс, который в пространстве имеет длину, равную 300 км, при рас-

пространении встречает объект, который значительно короче его, то импульс возвращается обратно в виде двух, перекрывающих друг друга отраженных сигналов. Обычным способом такие отраженные сигналы разделить нельзя и по их относительно-му положению определить размеры объекта невозможно. Однако когда кодированные, перекрывающие друг друга отраженные сигналы сжимаются, на выходе получаются два различных сигнала длительностью 5 нс.

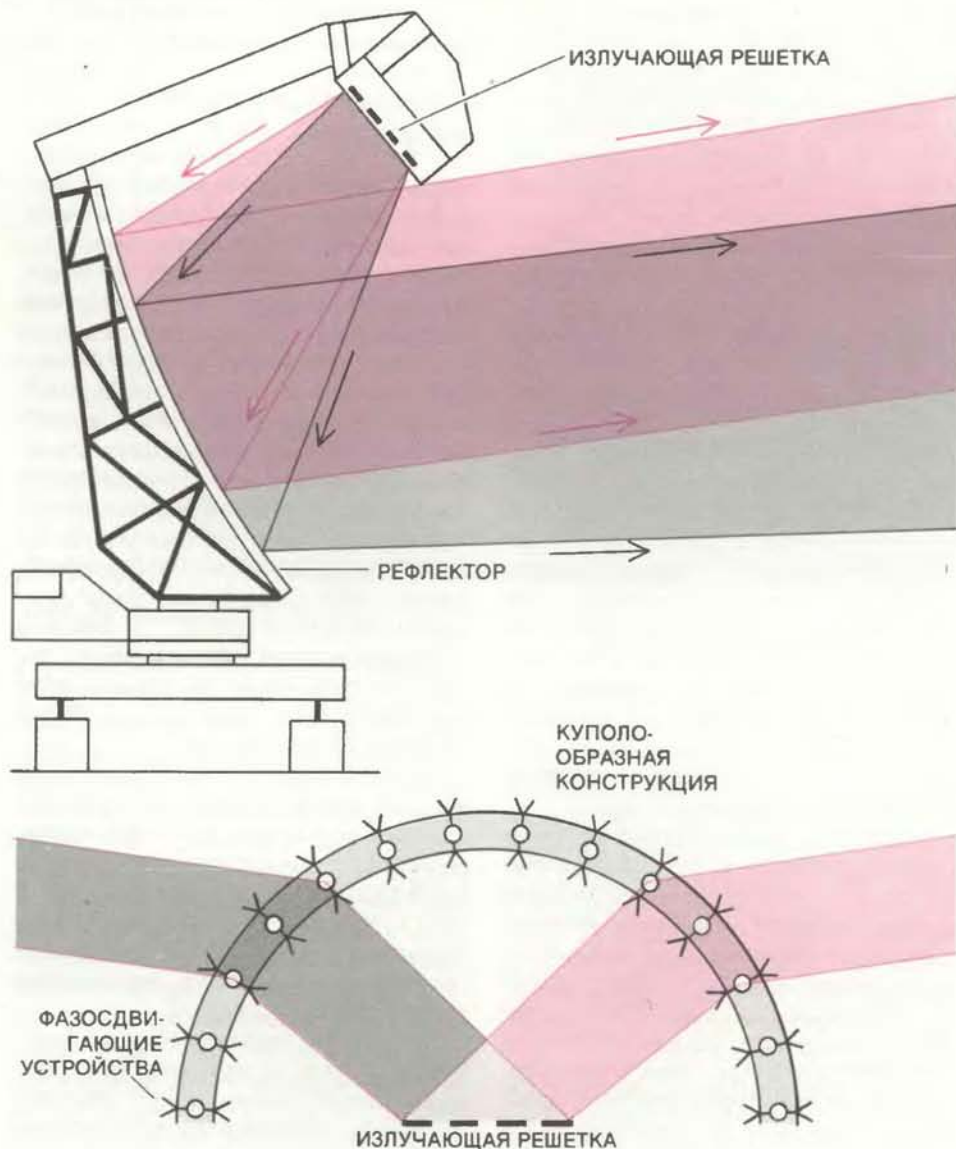
Кодирование и сжатие импульсов выполняют ту же роль и в радиолокационных станциях, построенных на полупроводниковых элементах. Даже когда нет необходимости определять размер объекта, от которого отражается сигнал, точное определение расстояния до объекта требует применения довольно коротких импульсов. Если не использовать сжатия, то с помощью импульсов длительностью 1 мс можно определить расстояние до объекта с точностью только до 150 км. Кроме того, при излучении длинных импульсов сказывается воздействие местных помех, обусловленных отражением от выпадающих осадков и от земли. В то же время полупроводниковая техника не может обеспечить получение таких мощностей, которые необходимы при работе короткими импульсами, чтобы дальность действия радиолокатора была такой же, как и при излучении импульсов большой длительности. Поэтому, чтобы при низкой мощности излучения получить большую дальность действия и высокую разрешающую способность, в радиолокационных на полупроводниковых элементах необходимо применять кодирование и сжатие импульсов.

Первые радиолокационные станции с фазированными антенными решетками, которые начали использоваться в 60-70-е годы, были предназначены для военных и разведывательных целей. Существуют обстоятельства, при которых гражданские отрасли экономики диктуют потребности, стимулирующие развитие военной техники. В частности, гражданская авиация нуждается в получении данных о быстро перемещающихся объектах в зоне аэродрома, где прибывающие самолеты выравнивают свой курс для захода на посадку. Радиолокационные станции, контролирующие подход самолетов к полосе, направляют их на посадку, одновременно следя за дальностью самолетов и их положением относительно взлетно-посадочной полосы. Возрастающая интенсивность воздушного движения создает все большую потребность в оснащении гражданской

авиации радиолокаторами с фазированными антенными решетками.

С уменьшением количества излучающих элементов стоимость фазированной антенной решетки снижается. В большинстве областей применения радиолокационной техники антенные системы должны иметь большое количество излучающих элементов. Маленькая антенная решетка имеет менее сфокусированный и, следовательно, более широкий луч. Это снижает ее разрешающую способность по угловым координатам, а малая площадь не может обеспечить высокую чувствительность к отраженным сигналам. Когда не требуется обозревать большую область воздушного пространства, оба этих недостатка антенной решетки малого размера могут быть преодолены путем объединения ее с большим рефлектором.

Поле обзора радиолокационной станции управления заходом на посадку самолетов не должно быть большим. Обычно такая радиолокационная станция должна просматривать пространство в пределах около 10° по азимуту и от 7 до 14° по углу места. Поэтому для этих целей можно использовать гибридную систему, состоящую из фазированной антенной решетки и традиционного рефлектора. В одной из конструкций радиолокатора используется антенная решетка с 443 излучающими элементами, которая работает совместно с отражателем, имеющим размеры $3,96 \times 4,57$ м. Решетка располагается вблизи фокуса рефлектора, который отражает луч при любом угле излучения антенной решетки. В данном случае рефлектор действует как линза, фокусируя луч и снижая его боковое рассеяние. Отраженные лучи становятся уже и вписываются в более узкий угол в пространстве. В результате улучшается способность решетки разрешать две цели в пределах малого угла и определять точный азимут одиночной цели. Рефлектор также увеличивает чувствительность к отраженному сигналу. В будущем в радиолокации найдут применение новые достижения в области схемотехники. Использование в радиолокационной технике элементной базы, подобной цифровым интегральным микросхемам, применяемым в вычислительной технике, значительно снизит количество и размер компонентов, необходимых для генерирования, приема и обработки сигналов. Новые элементы на арсенид-галлиевых кристаллах, известные как монолитные микроволновые интегральные микросхемы, объединяют в себе фазосдвигающие устройства, переключатели и транзисторные усилители. Прием-



В ГИБРИДНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЯХ дополнительно к фазированным антенным решеткам устанавливают линзы, которые уменьшают расхождение луча. В конструкции с ограниченным углом сканирования, которая все чаще используется в радиолокаторах управления заходом самолетов на посадку (верхний рисунок), небольшая фазированная решетка, которая создает сравнительно широкий луч, направляет энергию на гиперболический рефлектор. На рисунке показаны два луча, чтобы было видно фокусирующее действие рефлектора. За счет сужения поля обзора увеличивается разрешение. Такое построение радиолокационной станции (если не требуется обеспечения широкого угла сканирования) позволяет использовать небольшую и относительно недорогую антенную решетку. Куполообразная линза, которая покрывает горизонтально расположенную антенную решетку в экспериментальной военной радиолокационной станции (нижний рисунок), оказывает противоположное действие, увеличивая отклонение луча. Линза сделана из специального керамического или пластикового материала, который отражает микроволны, или же представляет собой набор фазосдвигающих устройств, смонтированных в куполообразную конструкцию. Она вносит дополнительные фазовые задержки в сигнал, поступающий от решетки, заставляя отклоняться луч на еще больший угол. Оснащенная такой установкой радиолокационная станция может обозревать пространство от горизонта до зенита в любом направлении.

передающий модуль, содержащий все цепи, необходимые для создания одного излучающего элемента фазированной антенной решетки, уже сейчас может быть полностью собран только на 11 таких микросхемах. А пока для построения приемо-передающих модулей на полупроводниковых элементах требуются сотни деталей.

РАЗВИТИЕ электроники со временем позволит включать в такой модуль микропроцессор, который будет обеспечивать управление сдвигом фаз, производя расчет нужной задержки, а центральная ЭВМ рассчитывает угол места и азимут луча. В современных радиолокационных станциях с фазированной антенной решет-

кой эта функция выполняется центральной ЭВМ, которая последовательно производит расчет изменения фазы для тысяч излучающих элементов. Если расчет величины фазового сдвига для каждого излучающего элемента и генерирование управляющих его работой команд будут производиться непосредственно в цепи самого элемента, то это исключит необходимость использования тысяч кабелей, которыми сейчас эти элементы связаны с центральной ЭВМ. С развитием схмотехники сам процесс сдвига фазы в конце концов станет цифровым и будет выполняться как математическая операция над сигналом в цифровой форме. Когда это будет достигнуто, станет возможным и изменение ширины луча в соответствии с решаемой задачей: расширение его при обзоре протяженных областей воздушного пространства и фокусирование для точного слежения за целью. К тому же цифровая обработка отраженных сигналов будет способствовать исключению влияния умышленно создаваемых помех.

Упрощение конструкции и повышение компактности наряду со снижением веса и увеличением надежности вскоре позволят создавать фазированные антенные решетки аппаратов, запускаемых в космос. Выведенные на орбиту радиолокационные станции с такими антенными системами способствовали бы более точной топографической съемке земной поверхности, слежению за движением кораблей и айсбергов в океане, а также выполнению боевых задач и задач разведки. Радиолокационные станции следующего поколения, разрабатываемые по заказу Национального управления по авиации и исследованию космического пространства для топографической съемки земной поверхности с космических кораблей многократного использования, будут оснащены фазированными антенными решетками. В настоящее время военно-морские и военно-воздушные ведомства США рассматривают возможность запуска спутника с установленной на его борту радиолокационной станцией с фазированной антенной решеткой. Во многих спутниковых радиолокационных станциях до сих пор не предусматривалось управление диаграммой направленности. Они обзоредали только узкую полосу земной поверхности вдоль направления орбиты. Оперативное управление диаграммой направленности фазированной антенной решетки с помощью электронных средств позволит последовательно просматривать обширные зоны поверхности нашей планеты.

Шило и в рюкзаке не утаишь

ДВА года назад Р. Мёкль из Сан-Хосе (шт. Калифорния) заявил, что заплатит 1000 долл. тому, кто сможет расшифровать код «рюкзак», заданный в общем виде, — систему кодирования, в разработке которой принимал участие сам Мёкль. Говорят, что он был огорчен, когда узнал, какую большую известность приобрел Э. Шамир из Вейцмановского института в Израиле, расшифровав только одну из версий этого кода (см. заметку в рубрике "Science and the Citizen" в журнале "Scientific American", август, 1982). Теперь же Мёклю придется заплатить сполна: Э. Брикелл из Национальной лаборатории в Сандии разгадал код и тем самым доказал, что в общем виде система Мёкля не является неуязвимой.

Код «рюкзак», который никогда не использовался в коммерческих целях, основан на хорошо известной задаче комбинаторной математики, называемой задачей об упаковке рюкзака. В 1977 г. Мёкль и М. Хеллман из Стэнфордского университета расширили границы ее применения, используя в области криптографии.

Постановка задачи проста, но ее решение далеко не просто. Предположим, что в рюкзак нужно уложить предметы, выбираемые из большого набора, заполнив при этом весь рюкзак. Значение веса каждого предмета известно. Требуется определить, какое множество предметов, если оно вообще существует, заполнит весь объем рюкзака. Емкость рюкзака обычно задается 62-значным двоичным числом, а вес каждого предмета — 60-значным двоичным числом. Сумма примерно 100 таких 60-значных чисел, выбранных из данного множества, дает это 62-значное число.

Если бы весá такой величины отбирались произвольно, то код было бы невозможно расшифровать даже тому приемному устройству, которому адресуется закодированное сообщение. Вместо этого весá выбираются из набора в соответствии с определенными требованиями, что значительно упрощает проблему: защита закодированных сообщений в этом случае зависит от маскировки значений весов таким образом, чтобы подслушивающее устройство воспринимало их как случайный набор значений.

Каждый вес умножается на большое случайное число, полученное произведение делится на другое большое случайное число, а остаток от деле-

ния — это значение веса, которое помещается в исходный набор. Эту процедуру можно повторить, чтобы замаскировать замаскированное.

В 1983 г. Л. Эдман из Университета Южной Калифорнии и Дж. Лагариас из фирмы AT&T Bell Laboratories разработали методы дешифровки сообщений с двойной маскировкой. Лагариас, его коллега Э. Одльжко и Брикелл впоследствии модернизировали этот метод применительно ко всему классу задач «упаковки рюкзака».

Подземный эксперимент продолжается

В ИЮЛЕ 1982 г. в резервуар, заполненный 8 тыс. т воды и находящийся на глубине 600 м в соляной шахте близ Кливленда (шт. Огайо), поместили 2048 фотоумножителей для того, чтобы поступившие от них сигналы обработать по специальной программе на ЭВМ. Эксперимент проводит группа ученых из Калифорнийского университета в Ирвине, Мичиганского университета и Брукгейвенской национальной лаборатории (группа IMB). Речь идет об очень важном событии — распаде протона (см.: Steven Weinberg "The Decay of the Proton", "Scientific American", June, 1981). Если факт такого распада когда-нибудь удастся зафиксировать, то теория, связывающая три из четырех фундаментальных сил природы, получит статус теории великого объединения, и это будет означать, что вся материя в конце концов разрушится. Но пока данных, свидетельствующих о возможности такого распада нет, и, поэтому теория великого объединения требует пересмотра.

Как следует из наиболее простого варианта этой теории, называемой минимальной моделью $SU(5)$, протон должен распадаться на позитрон и нейтральный пи-мезон по крайней мере в среднем один раз каждые $5 \cdot 10^{31}$ лет. Эксперимент, который проводится в соляной шахте, естественно, не рассчитан на такой срок; ученые исходят из того, что в резервуаре находится 10^{33} протонов и ежегодно должно происходить около 20 актов протонного распада. По имеющимся на сегодня данным среднее время жизни протона намного превосходит значение, рассчитанное на основе минимальной модели $SU(5)$; оно составляет не менее $1,2 \cdot 10^{32}$ лет.

Отрицательный результат полностью не исключает другие возможные схемы объединения сил природы. Не-

сколько вариантов теории великого объединения, основанных на математической теории групп, более сложных, чем группа $SU(5)$, также согласуются с экспериментальными данными, и прежде всего потому, что на основании этих вариантов нельзя сделать количественных предположений о времени жизни протона. Хотя группа IMB уже проверила 30 возможных каналов протонного распада, имеется вероятность того, что существуют другие каналы распада, еще непроверенные, или что собранные данные в конце концов будут интерпретированы как случаи распада протона. Недавно группа IMB получила одобрение на усовершенствованный вариант эксперимента, затраты на который составят 1—2 млн. долл., но он будет в 3—4 раза эффективнее.

Глобальный термостат

МНОГИЕ климатологи предсказывают, что в результате сжигания природного топлива и насыщения атмосферы углекислым газом на Земле произойдет — вследствие «парникового эффекта» — потепление климата. Этот эффект связан с оптическими свойствами углекислого газа, который прозрачен для излучения в видимом диапазоне, составляющего большую часть падающей на Землю солнечной радиации, но поглощает инфракрасное излучение, идущее от поверхности планеты. Величина этого поглощения зависит от концентрации углекислого газа. Климатические модели предсказывают, что если нынешнее содержание углекислого газа удвоится, то поглощение инфракрасных лучей в нижних слоях атмосферы приведет к повышению глобальной средней температуры на несколько градусов Цельсия.

В статье, опубликованной в журнале "Journal of Geophysical Research", Р. Сомервилл и Л. Ремер из Скриппсовского океанографического института рисуют более умеренную картину. Они считают, что глобальное потепление будет не столь сильным вследствие одновременного изменения свойств облаков.

Как и большинство теоретиков, исследующих парниковый эффект, они исходят из предположения, что при потеплении климата относительная влажность останется прежней. Теплый воздух может содержать больше водяного пара, чем холодный; если относительная влажность в атмосфере не изменится, то общее количество водяного пара в ней должно будет возрасти. В результате содержание воды в облаках повысится, и облака станут более плотными.

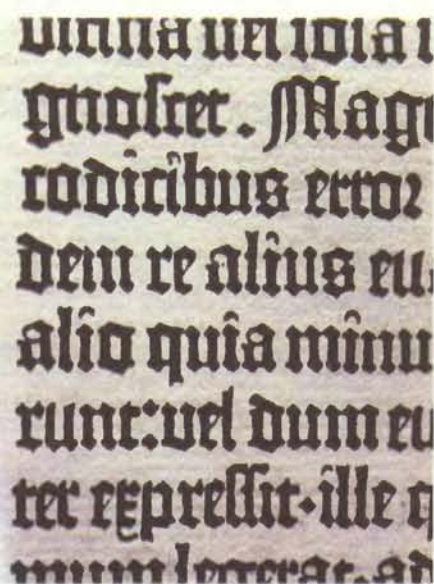
Более плотные облака будут отражать большую долю поступающей солнечной радиации; уменьшение потока энергии, достигающей земной поверхности, будет препятствовать развитию парникового эффекта. Увеличение плотности облаков, сопровождающее рост температуры, действует в итоге как «климатический термостат». Используя модель, в которой учитывается отрицательная обратная связь, которая обеспечивается облачным покровом, Сомервилл и Ремер вычислили, что удвоение количества углекислого газа повысит поверхностную температуру только на половину величины, предсказанной в более ранних моделях.

Разгадка секрета Гутенберга

ПРИМЕРНО в 40-х или в 50-х годах XV в. Иоганн Генсфлайш цур Ладен, который больше известен под именем Иоганна Гутенберга, изобрел способ печати с наборного металлического шрифта. В этой новой технологии он применил типографскую краску на масляной основе, которая в отличие от ранее использовавшихся красок на основе водных смесей хорошо сцепилась с металлом. В течение долгого времени исследователи считали, что состав краски Гутенберга представлял собой смесь масла льняного семени и ламповой сажи, которой, как известно, повсеместно пользовались в книгопечатании вплоть до XVI в.

Совсем недавно Р. Шваб и Т. Кейхил из Калифорнийского университета в Дейвисе доказали, что Гутенберг пользовался более сложной смесью, в состав которой в значительном количестве входили медь и свинец. Это открытие было сделано на основе анализа большого числа страниц одного из шедевров Гутенберга — 42-строчной Библии. Анализ заключался в облучении текста пучком протонов. Ускоренные до высоких энергий в циклотроне протоны возбуждали молекулы веществ, из которых состоит краска, вызывая их флуоресценцию в рентгеновском диапазоне; при этом каждый химический элемент излучает характерный спектр, по интенсивности которого можно определить его содержание.

Использование металлов вместо сажи в качестве красящего вещества, очевидно, было заимствовано из живописи. Этим, вероятно, объясняется тот факт, что по прошествии пяти столетий выполненная Гутенбергом печать до сих пор имеет глянец и насыщенный черный цвет, в то время как многие другие печатные материа-



Фрагмент страницы Библии, напечатанной Гутенбергом

лы даже более позднего времени сильно потускнели. Оксиды меди и свинца отличаются высокой стойкостью, а углерод, содержащийся в ламповой саже, со временем превращается в моноксид углерода и испаряется.

Применение красящего вещества с высоким содержанием металла отличало Гутенберга от других печатников его времени. Таким образом, установление химического состава красок позволит положить конец долгим спорам по вопросам атрибуции ранних печатных работ. Исследователи из Калифорнийского университета в Дейвисе установили, что краска, использовавшаяся при печати исключительно редкого издания 36-строчной Библии, отличается высоким содержанием меди и свинца. Такой же краской отпечатан и более ранний фрагмент "Sibyllenbuch". В то же время в краске текста "Catholicon", приписываемой некоторыми исследователями самому Гутенбергу, присутствия металла не обнаружено.

Нет следов металла и на некоторых страницах 42-строчной Библии. Многие из 48 дошедших до наших дней экземпляров этой Библии отличаются по качеству печати от первоначального варианта, так как печатались повторно с новых форм, когда резко возрос спрос на издание. Шваб и Кейхил обнаружили, что краска на некоторых страницах содержит значительно меньше меди и свинца. Этот факт может служить свидетельством о закате успеха Гутенберга. В конце 1455 г., возможно, перед тем, как был отпечатан тираж Библии, он стал испытывать финансовые трудности. Вынужденный отказать от предпринимательства, Гутенберг, по видимому, не открыл своего секрета современникам.

Функциональное протезирование уха

Разработан вживляемый слуховой протез. С его помощью звуки создают электрические сигналы, которые преобразуются и подаются непосредственно на слуховой нерв. Это приспособление позволяет слышать людям, страдающим от глухоты, вызванной повреждением рецепторных клеток внутреннего уха

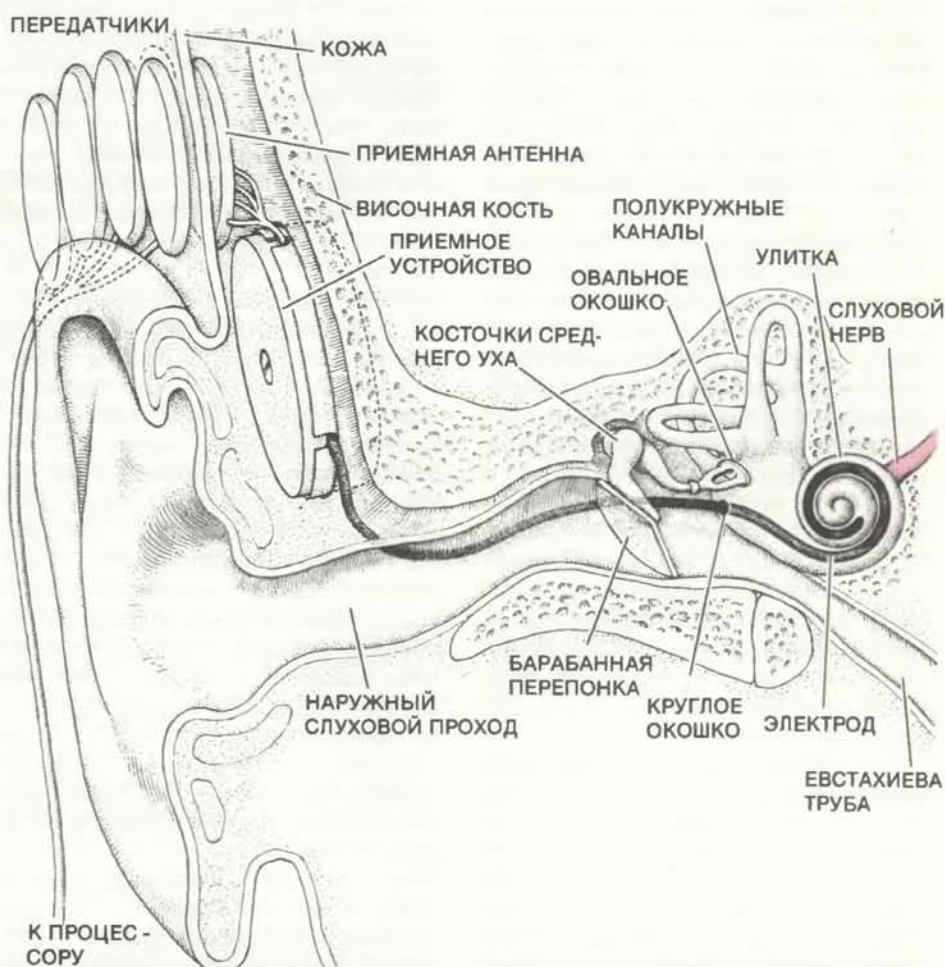
ДЖЕРАЛД Э. ЛЁБ

СОВРЕМЕННЫЕ достижения электроники и нейрофизиологии привели к рождению новой экспериментальной дисциплины — электронной нейрорегуляции, которая занимается вопросами обмена информацией между электронными устройствами и нервной системой с целью исследования или восполнения той или иной биологической функции. Одна из главных задач таких исследований — создание протезов для замещения поврежденных элементов нервной системы человека. Прогресс в этой области достигнут в значительной степени благодаря долгому плодотворному сотрудничеству ученых, врачей и инженеров в рамках Программы нейропротезирования, осуществляемой Национальным институтом неврологических расстройств и инсульта. Над проблемой функционального протезирования органа слуха у человека я работал совместно с группой сотрудников Калифорнийского университета в Сан-Франциско по плану Программы.

Особый протез — имплантант улитки, которому посвящена моя статья, предназначен для вживления во внутреннее ухо людям, страдающим рецепторно-невральной глухотой. Этот вид глухоты вызван нарушением функции слуховых рецепторов, называемых волосковыми клетками, которые расположены в улитке — спиральной структуре внутреннего уха. У здорового человека звуковые колебания, пройдя наружный слуховой проход, встречают на своем пути барабанную перепонку, посредством которой они приводят в движение последовательно соединенные друг с другом косточки среднего уха. Самая внутренняя косточка, называемая стремечком, контактирует с овальным окошком — натянутым мембраной отверстием в основании

улитки; колебание овального окошка передаются жидкости, которой заполнена улитка, и воспринимаются волосковыми клетками так называемого кортиева органа. Эти клетки расположены четырьмя длинными

рядами на базилярной мембране — гибкой перегородке, разделяющей два из трех параллельных спиральных каналов улитки. Волоски этих клеток при колебаниях базилярной мембраны отклоняются, вследст-



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СЛУХОВОЙ ПРОТЕЗ, разработанный сотрудниками Калифорнийского университета в Сан-Франциско. Слева изображено правое ухо человека в разрезе, справа — в большем масштабе спиральная структура во внутреннем ухе, называемая улиткой. (Ряды рецепторных волосковых клеток, нарисованные в улитке, у больных рецепторно-невральной глухотой обычно отмирают.) Показано вживленное в улитку электродное устройство; через его во-

вие чего в клетках генерируются электрические сигналы, которые по слуховому нерву передаются в мозг.

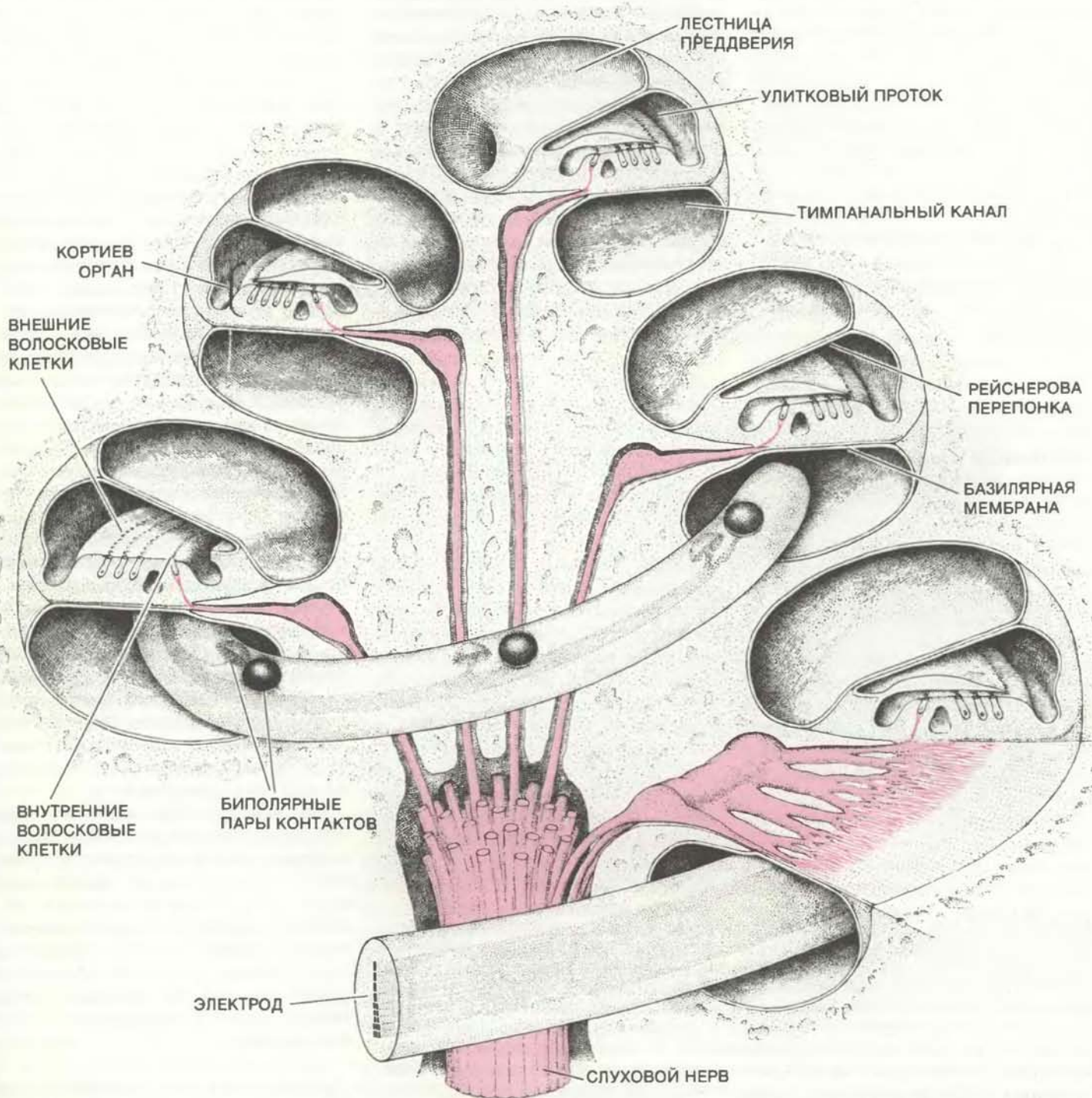
При нарушении функции волосковых клеток человек теряет слух. С целью устранять такого рода глухоту разработано несколько типов протезов, которые вживляются в улитку и функционально замещают поврежденное звено в сложном механизме восприятия звука. Протез любого типа состоит из следующих основных узлов: микроэлектронного процессора с микрофоном для восприятия зву-

ка и преобразования его в электрические сигналы, системы передачи сигналов и вживляемого устройства с длинным гибким электродом, который хирург вводит во внутреннюю полость улитки, для подачи электрических сигналов непосредственно на волокна слухового нерва в одном или нескольких местах.

Управление по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств (FDA) недавно одобрило сравнительно простую одноканальную модель такого слухово-

го протеза. Она разработана У. Хаузом из Института уха в Лос-Анджелесе и изготовлена фирмой 3М (см. заметку «Как помочь глухим», «В мире науки», 1985, № 1, с. 14).

Более сложные одно- и многоканальные устройства, которые находятся сейчас в стадии разработки, должны обеспечить более адекватное восприятие звуков. Наряду с ожидаемым практическим эффектом интенсивное изучение реакций больных рецепторно-невральной глухотой, а также лабораторных животных на



семь биполярных пар контактов на ближайшие волокна слухового нерва подаются сигналы восьми различных частот. Эта модель, которая сейчас проходит клинические испытания, обеспечит больным рецепторно-невральной глухотой более близкое к естественному звуковое восприятие, чем существующие одноканальные устройства. При-

нцип действия основных узлов четырехканального «привода» для данной модели показан на с. 70. Хотя этот привод имеет только 4 канала, электрод (его трудно заменить новым из-за образования рубцовой ткани) предназначен для 8 каналов; в основании привода находится разъем, который позволяет заменить его на более совершенный.

электрическую стимуляцию такими устройствами имеет и теоретическое значение: оно даст новую информацию о нормальных процессах кодирования и декодирования акустических сигналов в нервной системе.

НЕСУЩИЙ информацию звуковой сигнал, улавливаемый микрофоном или ухом, можно полностью описать единственной функцией от времени, которая характеризует перемещение одной точки в пространстве, например центра мембраны микрофона или овального окошка улитки. Несмотря на такую простоту, звуковой сигнал обычно содержит сложную информацию об источнике звука; нервная система способна проанализировать этот сигнал и извлечь информацию о его происхождении. Когда воспринимается человеческий голос, такой анализ позволяет нам идентифицировать говорящего и понять произносимые слова. Наличие второго информационного канала, пространственно отдаленного от первого (другое ухо), делает возможным различать несколько источников звука и определять их относительное расположение.

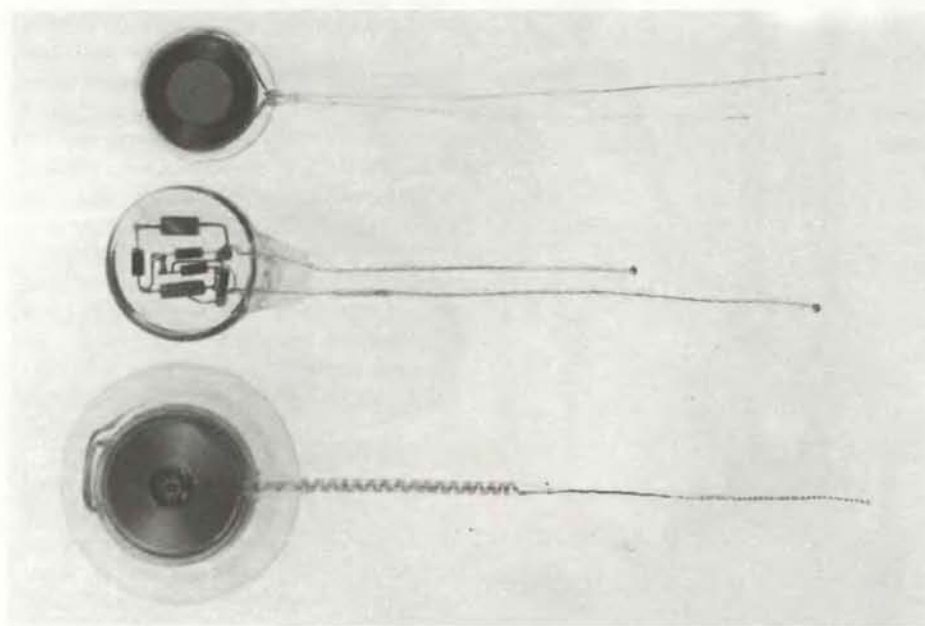
В процессе такого анализа одномерная функция времени должна быть разложена на составляющие с различными частотами. В настоящее время спектральное разложение сложных колебательных функций осуществляется с помощью хорошо известного математического метода — анализа Фурье. В области электроники этим методом пользуются довольно широко, и спектральный анализ выполняется автоматически с визуальным представлением на экране всех составляющих сложной функции. В конце XIX в. исследователи пришли к выводу, что в мозгу анализ звуковых сигналов осуществляется сходным образом, по крайней мере на начальных стадиях слухового восприятия. Было также установлено, что каналы, по которым в нервной системе распространяется информация, а именно нервные клетки (нейроны) и их отростки, по природе своей обладают невысокой скоростью реакции: каждый нейрон может передать не более 300 импульсов в секунду. Тем не менее аналитическая система из множества таких информационных каналов должна обеспечивать точный и почти мгновенный анализ сигнала в

диапазоне частот от 20 до 20 000 Гц. Кроме того, несмотря на наличие значительного уровня шумов в каждом канале, система в целом должна работать без существенного ухудшения при изменении интенсивности звука в миллион раз, что соответствует диапазону громкости звука от порога слышимости до появления болевых ощущений в ушах (120 дБ).

Каким образом ухо справляется с такими требованиями? Известный физик XIX в. Г. Гельмгольц предложил резонансную теорию слуха; согласно этой теории, звук физически раскладывается на спектральные компоненты путем возбуждения резонансных колебаний отдельных участков базилярной мембраны улитки и локальной передачи их чувствительным элементам кортиева органа. В 1950-е годы, изучая движение базилярной мембраны, Г. Бекеша экспериментально показал, что, когда основанию улитки передаются колебания, вызванные звуком определенной частоты, колебания наибольшей амплитуды возбуждаются только в том малом участке базилярной мембраны, который механически настроен на частоту данного звука. Сложный звуковой сигнал, состоящий из многих синусоидальных колебаний различной частоты, порождает определенное пространственное распределение вынужденных колебаний мембраны, причем колебания более высоких частот локализируются у основания спирали улитки, а низкочастотные колебания — у ее вершины. При посредстве волосковых клеток кортиева органа механическое движение базилярной мембраны преобразуется в электрическую активность подходящих к ней волокон слухового нерва. В результате вдоль пучка волокон слухового нерва распространяются низкочастотные импульсы, причем каждое волокно несет информацию только об амплитуде колебаний в определенном месте мембраны.

На этих представлениях о восприятии звука основана разработка большинства многоканальных протезов органа слуха, хотя, как станет ясно ниже, одним только описанным механизмом не удастся объяснить многие важные аспекты такого сложного психофизического явления, как восприятие звука, в том числе некоторые важные аспекты нормального восприятия речи.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ вживляемых в улитку слуховых протезов связана с тем, что у больных с рецепторно-нервной глухотой многие волокна слухового нерва обычно не утрачивают способности нормально функционировать. Как и большинство элект-



ВЖИВЛЯЕМЫЕ ЧАСТИ трех слуховых протезов. Вверху — одноканальное устройство, разработанное У. Хаузом из Института уха в Лос-Анджелесе и изготовленное фирмой 3М. Оно состоит из приемной антенны в виде простой проволочной петли, которая присоединена непосредственно к паре сферических электродов, один из которых вводится в тимпанальный канал вблизи от основания улитки. Второй электрод помещают в среднее ухо. В центре — другое одноканальное устройство, которое разработали И. Гохмэр-Дезойер и Э. Гохмэр (Технический институт, Вена) и недавно передали на испытания фирме 3М. Приемное устройство помещено в прозрачный пластмассовый корпус; в данном случае конструкция обоих сферических электродов рассчитана на введение не в улитку, а в среднее ухо. Внизу — многоканальная система, которую разработали Г. Кларк и его коллеги (Мельбурнский университет) и изготовила фирма Nucleus Limited. На каждый из 22 контактов вдоль электрода подается в определенной последовательности соответствующим образом декодированный электрический сигнал; герметичный корпус сделан из титана.

рически возбудимых клеток, на раздражение поступающими извне электрическими сигналами с правильно подобранными интенсивностью, длительностью и фазой «слуховые» нейроны отвечают генерацией активно распространяющихся нервных импульсов. Такие «вызванные потенциалы» не отличаются от импульсов, генерируемых этими нейронами при их возбуждении интактными волосковыми клетками, воспринявшими акустический сигнал; соответственно когда они поступают в мозг, то их причина интерпретируется как звук.

Субъективное чувство громкости воспринимаемого звука приближенно можно считать пропорциональным количеству возбужденных нервных волокон и частоте их импульсации. При электрической стимуляции обе эти величины зависят от амплитуды подаваемых сигналов. Высота воспринимаемого звука определяется тем, от какого места базилярной мембраны отходят возбужденные волокна слухового нерва. В принципе нормальный ответ нервной системы на акустическую стимуляцию любого спектрального состава можно воссоздать искусственно с помощью нескольких независимых каналов, каждый из которых подает регулируемые электрические сигналы на небольшую группу волокон слухового нерва. Мозг обрабатывает поступающую информацию обычным способом, и глухой «услышит» соответствующие «звуки».

Основная трудность, которую нужно преодолеть при конструировании основанных на этом принципе протезов, заключается в том, что все волокна слухового нерва находятся в общей среде: они окружены электропроводящими тканями и жидкостями. В таких условиях электрический ток от электрода будет распространяться симметрично во все стороны и его плотность будет убывать пропорционально квадрату расстояния от источника. Чтобы локально воздействовать на одну небольшую группу волокон, электрод должен быть к ним значительно ближе, чем к остальным.

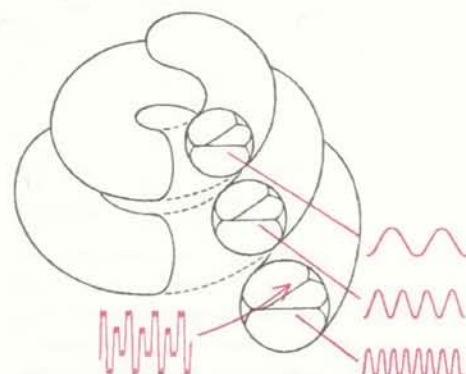
Задача оказалась нелегкой. Волокна слухового нерва отстоят дальше всего друг от друга там, где они подходят к кортиеву органу, лежащему на базилярной мембране. В тимпанальный канал удается ввести электрод с несколькими контактами и продвинуть его вдоль базилярной мембраны примерно на 25 мм от второго отверстия в основании улитки, называемого круглым окошком. Вдоль этого пути находятся волокна слухового нерва, которые в норме воспринимают информацию о звуках частотой выше 500 Гц. Наименьшее расстояние до

нервных волокон при оптимальном расположении электрода в тимпанальном канале (вдоль средней стенки) равно приблизительно 1 мм. Электрические импульсы, подводимые через электрод к данной группе волокон и воспринимаемые ими как превышающие пороговый для них сигнал в 4 раза (что соответствует звуку средней громкости), окажут воздействие также и на соседние волокна, находящиеся на расстоянии в пределах 2 мм в обе стороны.

Если учесть, что волокна слухового нерва, естественно, несколько отличаются друг от друга по диаметру и по порогу возбудимости, то распространение стимуляции на соседние участки окажется еще больше. Поэтому на доступной для введения электрода длине можно разместить только небольшое число точек независимой стимуляции для получения оптимальной громкости звуков. При восприятии речи наиболее важны частоты от 500 до 3000 Гц, что соответствует расстоянию вдоль базилярной мембраны менее 14 мм; на таком участке уложится не более 2—3 мест независимой стимуляции, если задаться разумным уровнем громкости ожидаемого восприятия. В то же время эксперименты по искусственному воспроизведению речи с помощью небольшого числа однотонных генераторов звука с амплитудной модуляцией показали, что для получения распознаваемой речи требуется по крайней мере 6 таких генераторов.

ЭФФЕКТИВНО разделить нервные волокна и получить адекватное число дискретных каналов можно, применив биполярную стимуляцию. При этом источник и сток тока располагают близко друг от друга. (При монополярной стимуляции роль стока, необходимого для получения замкнутой цепи, обычно играет расположенная далеко от источника контактная пластина большой площади, которая для всех источников тока служит как «заземление».) Линии равной плотности тока электрического поля, создаваемого биполярным электродом, подобны линиям равной плотности магнитного потока у стержневого магнита: они имеют форму эллипсов с длинной осью, параллельной прямой, соединяющей полюсы (см. рисунок на с. 73).

Для возбуждения нейронов ток должен быть направлен вдоль нервных отростков, поэтому биполярные электроды ориентируют под прямым углом к оси тимпанального канала (по радиусу спирали), чтобы избирательно возбуждать те нервные волокна, которые находятся непосредственно над электродами. Вдоба-



РЕЗОНАНСНАЯ ТЕОРИЯ СЛУХА объясняет, как поступающий в улитку звуковой сигнал сложной формы раскладывается на спектральные составляющие. В ухе звуковые сигналы возбуждают резонансные колебания базилярной мембраны — тонкой гибкой перегородки между двумя спиральными каналами улитки (всего каналов три). Собственные частоты, а значит, и амплитуды возможных резонансных колебаний этой мембраны распределены по ее спирали: более высокие частоты локализованы у основания улитки, низкие — у ее вершины.

вок вокруг биполярного электрода плотность тока, распространяющегося по тканям, убывает с увеличением расстояния значительно быстрее, чем в случае монополярного электрода, что существенно ограничивает нежелательное распространение стимулирующего тока, даже при достаточно высоких интенсивностях. Эксперименты на животных, а также исследования на больных с вживленными в улитку слуховыми протезами показали, что радиально расположенные биполярные электроды обеспечивают более узкую локализацию возбуждения при более широком диапазоне громкости по сравнению с монополярными электродами или биполярными электродами с продольной ориентацией.

Количество независимых каналов, которые можно разместить в улитке, и их динамические диапазоны фактически лимитируются состоянием уцелевших волокон слухового нерва. Иногда периферические участки волокон вблизи кортиева органа деградируют, и это снижает эффективность электродного устройства в тимпанальном канале. Однако у некоторых больных удается разместить радиально расположенные биполярные электроды с интервалом 2 мм; это дает 8 независимых каналов; они охватывают область речевого диапазона частот, которая вдоль базилярной мембраны занимает участок от 10 до 24 мм, считая от круглого окошка.

Возникает, однако, ряд технических трудностей в отношении размещения этих восьми каналов биполярной стимуляции слухового нерва человека.

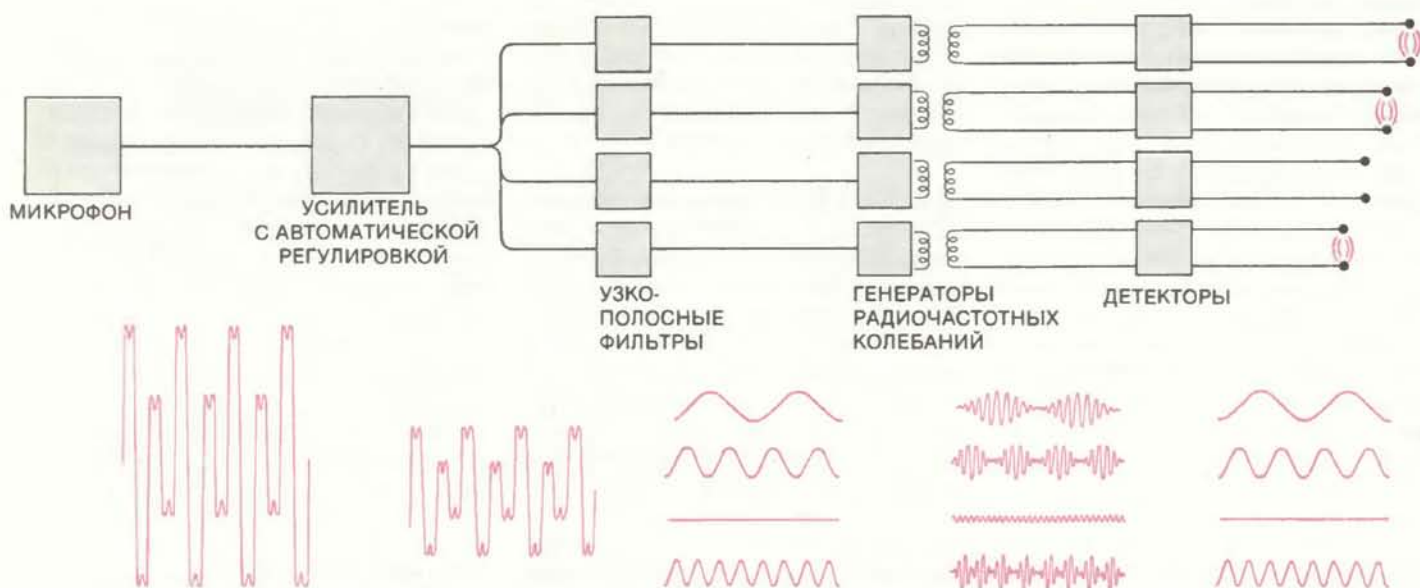
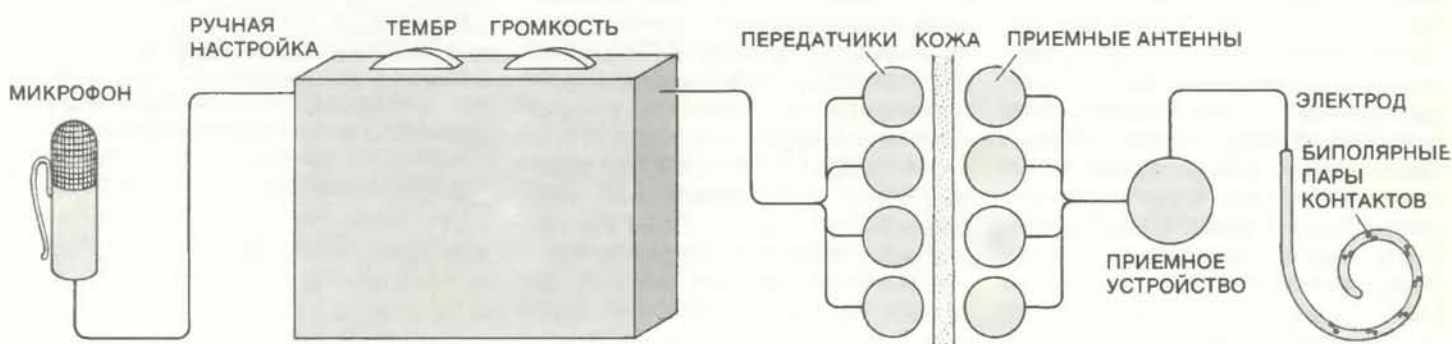
Первые 24 мм базиллярной мембраны закручены в полтора витка улиточной спирали (во всей улитке два с половиной витка). Круглое окошко, ведущее в тимпанальный канал, расположено в задней части полости среднего уха, что вынуждает хирурга производить необходимые манипуляции через узкий и длинный наружный слуховой проход. Это значит, что электрод при введении в улитку не должен быть изогнут. Его нельзя, однако, просто втолкнуть в спираль улитки, как это делает водопроводчик, проталкивая свой гибкий прут в изогнутую трубу при очистке засорившегося стока. Тимпанальный канал имеет полцилиндрический просвет, и гибкий

объект придется прижимать к боковой стенке, чтобы он не коснулся хрупкой базиллярной мембраны. Улитковый проток, находящийся за ней, заполнен жидкостью с высоким содержанием ионов калия, и, если из-за прободения базиллярной мембраны она затечет в тимпанальный канал, волокна слухового нерва «испортятся».

РЕШИТЬ эту проблему можно, применив очень тонкий пластичный электрод; введение его требует терпения, но обходится почти без травм. Самое трудное — проконтролировать конечное положение такого электрода: нередко он прилегает к наруж-

ной стенке и оказывается далеко от нервных волокон, которые должны возбуждаться. В случае устройства из нескольких радиальных биполярных электродов избирательность возбуждения и диапазон громкости зависят от точности установки каждой пары контактов на средней стенке.

Этого можно достичь с помощью сравнительно толстого электрода, «запоминающего» спиральную форму канала, проходя по которому электрод закручивается и прижимается к средней стенке. Такую способность к самоориентации удалось придать устройству из 8 биполярных электродов, которое было разработано группой специалистов Калифорнийского уни-



СХЕМА, поясняющая принцип действия четырехканального устройства. Звук воспринимается микрофоном (который прикрепляется к одежде) и направляется в портативный прибор, снабженный ручками регулирования тона и громкости. В этом приборе находится также усилитель на микросхемах с автоматической регулировкой уровня усиления; он обеспечивает величину сигнала, требуемую для электрической стимуляции внутреннего уха. Затем с помощью серии узкополосных фильтров сложные электрические сигналы раскладываются на составляющие, проходящие по четырем частотным каналам. Эти составляющие соответствуют четырем главным формантам, создаваемым голосовыми связками при произнесении гласных. Полученные четыре низкочастотных сигнала (в нашем примере один из них равен нулю) модулируют радиочастотные

сигналы, вырабатываемые четырьмя независимыми генераторами, которые смонтированы в антенный блок. Передающие антенны удерживаются за наружным ухом большого над вживленными приемными антеннами. Каждое приемное устройство действует как независимый детектор несущей частоты, восстанавливающий исходные узкополосные низкочастотные сигналы для прямой передачи каждого из них на пару стимулирующих контактов электрода, введенного в тимпанальный канал улитки. В данной схеме число каналов не может быть большим. Недавно в Станфордском университете разработали улучшенную восьмиканальную модель, в которой выходной сигнал каждого из каналов преобразуется в цифровую форму для дальнейшей передачи на единственной несущей частоте, а затем декодируется вживленным приемным устройством.

верситета в Сан-Франциско. В их конструкции подложка из силиконового каучука с особыми механическими свойствами имеет спиральную форму. На подложке расположены 16 контактов, сделанных из платино-иридиевой не содержащей свинца проволоки (см. рисунок на с. 66—67).

Передача стимулирующего тока от электронного прибора на биологическую ткань также представляет собой непростую задачу. В металлических проводниках электрический ток — это направленное движение электронов, в то время как в содержащих воду жидкостях организма он имеет ионную природу. На поверхности раздела между жидкостью и металлом, даже наиболее совместимым с живой тканью, неизбежно возникают электрохимические реакции, чреватые нежелательными последствиями как для электрода, так и для ткани. Электrolитическая коррозия многих считающихся инертными металлов значительно ускоряется под действием ионов хлора — главных анионов межклеточных жидкостей. Этот процесс изменяет электрические свойства поверхности раздела и приводит к высвобождению высокотоксичных ионов тяжелых металлов в среду в непосредственной близости от отростков нейронов, которые относятся к наиболее чувствительным клеткам организма. Один только электролиз воды может вызвать образование пузырьков водорода и кислорода, в результате чего ткань не только повреждается механически, но в ней увеличиваются локальные концентрации гидроксильных ионов и ионов водорода, так что степень щелочности и кислотности может достичь токсического уровня.

Лишь в последние годы эти реакции и их последствия были изучены количественно — главным образом С. Браммером и его коллегами (EIC Laboratories, Inc., Норвуд, шт. Массачусетс). В их исследованиях достоверно установлены довольно жесткие условия, при соблюдении которых пропускание электрического тока в живых тканях по проводникам из таких металлов, как платина и иридий, безопасно, потому что вызываемые ионные токи в тканевых жидкостях осуществляются посредством обратимых, не приводящих к образованию токсичных веществ электрохимических реакций.

ЧТО ЖЕ слышит глухой после того, как электроды благополучно установлены, при надлежащей электрической стимуляции? Результаты, полученные к настоящему времени, в общем обнадеживают, но в них много неожиданного.

У подавляющего большинства исследованных больных протезирование органа слуха было одноканальным. Это означает, что на вживленный электрод, через который возбуждают небольшое число волокон вблизи основания улитки, подаются умеренно отфильтрованные электрические сигналы непосредственно от микрофона. Как и следует ожидать, это вызывает ощущение сложного, модулированного по амплитуде шума. О высоте звука создается лишь самое общее представление и только при частоте стимуляции ниже нескольких сотен герц. Тем не менее отчетливо ощущаются ритм и громкость. Абсолютно глухим людям, которым не помогают обычные слуховые аппараты, даже такая слуховая информация все же бесполезна в повседневной жизни. Самые низкие частоты звукового диапазона тоже несут информацию о наличии и характере шумов в окружающей среде, например о звучании телефона или шуме автомашины. По ним можно также судить о громкости и ритме речи, что, несомненно, важно для глухого, допустим, когда он говорит сам или пытается понимать по губам речь других людей. Большинство больных — глухих от рождения или оглохших взрослыми — с энтузиазмом пользовались простыми одноканальными протезами.

В настоящее время прилагаются усилия для улучшения качества слухового восприятия через одноканальные устройства путем более совершенной предварительной обработки подаваемых сигналов и повышения надежности системы, передающей сигналы от регулируемого самим больным устройством на вживленный электрод.

Была также обнаружена возможность внеулиточной стимуляции — через структуры среднего уха, причем практически с тем же эффектом.* Это позволяет осуществлять одноканальное слуховое протезирование без сложной хирургической процедуры, а значит, можно будет широко внедрить его в клиническую практику (особенно в отношении детей) по крайней мере на ближайший период, пока выяснится, какое из разрабатываемых многоканальных устройств наилучшее. Одноканальные стимуляторы, конечно, не обеспечивают достаточной информации для нервной системы, чтобы дать глухим возможность общаться без помощи зрения.

* Впервые звуковые ощущения, обусловленные внеулиточной стимуляцией, были описаны ленинградским исследователем Г. Гершуни в 1934 г. — *Прим. ред.*

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ различных многоканальных протезов данных пока что недостаточно. Это в принципе очень сложные устройства, и удалось исследовать только несколько человек, которые ими пользуются; вдобавок, глухота у них развилась по разным причинам, и степень сохранности волокон слухового нерва также была неодинакова.

При локальном возбуждении в улитке только одной небольшой группы волокон слухового нерва с помощью многоканального устройства (с биполярной стимуляцией или монополярной при низкой интенсивности) у глухого возникает ощущение звука определенной высоты. Если последовательно стимулировать несколько таких отдельных участков, больной «слышит» сложный звук, состоящий из нескольких тонов разной высоты. Важно подчеркнуть, что термин «высота звука» обозначает субъективную оценку акустического сигнала, имеющего обычно сложную форму; он может почти или совсем не содержать ту частоту, которая субъективно выбрана как характеризующая высоту слышимого звука. По словам пользующихся многоканальными протезами, то, что они слышат, похоже на кваканье уток или на грохот железных мусорных ящиков. Такие звуки можно различить по высоте, но они вовсе не похожи на те чистые тона, которые воспринимаются в случае гармонического звукового сигнала.

Неясно, суммируются ли в мозгу эти сложные звуковые ощущения так же, как в синтезаторах речи суммируются чистые синусоидальные колебания. У нормально слышащих людей нервная система обладает совершенно удивительной способностью извлекать информацию из звуковых сигналов, перекрываемых шумами, и опознавать звуки даже при весьма отдаленном сходстве их спектральных характеристик. Мы можем понимать речь, произнесенную любым голосом — басом или сопрано, шепотом или криком, невзирая на акцент, интонацию, гнусавость и т.п. При графическом представлении звуковых сигналов, соответствующих одному и тому же слову, но произнесенному разными людьми, их форма оказывается настолько сложной и изменчивой, что даже опытный специалист нередко не в состоянии идентифицировать слово по таким данным.

В настоящее время изучаются два способа практического применения пространственно-частотной характеристики звуковой информации. Один из них связан с частотно-канальным, или вокодерным воспро-

изведением звуков речи. При этом звуковой сигнал разлагается с помощью узкополосных фильтров на ряд частотных полос, каждая из которых примерно соответствует субъективно воспринимаемой высоте звука, ощущение которого вызывается при стимуляции через отдельный биполярный электрод из числа вживленных в улитку. При наличии восьми биполярных электродов соответствующие группы волокон слухового нерва получают 8 независимых и не связанных во времени стимулов; каждый стимул должен дать информацию о мгновенном значении относительной величины звуковой энергии для данной частотной полосы. В принципе конкретная форма звукового сигнала, используемого для стимуляции в каждом из каналов, не должна иметь значения. Обычно, однако, по ряду причин для стимуляции применяют именно те звуковые сигналы, которые прошли через соответствующий узкополосный фильтр. Производят еще специальную предварительную обработку сигналов, чтобы компенсировать неполноту восприятия из-за ограниченности динамического диапазона нейронов и того, что их чувствительность к электрическому току зависит от частоты.

Распознаваемость речи, по-видимому, в значительной степени определяется числом независимых параллельных каналов стимуляции слухового нерва. Однако для этого нужно, чтобы во всем диапазоне громкостей и временных характеристик, соответствующих нормальному слуховому восприятию, каждый из каналов сохранял независимость действия, т.е. обеспечивал узколокальную стимуляцию небольшого числа волокон слухового нерва без перекрытия с соседними каналами.

Можно указать по крайней мере на пять исследовательских групп, которые ведут наблюдения над больными, пользующимися многоканальными (от 3 до 12 каналов) слуховыми протезами. Различия методические — в хирургической процедуре, в конфигурации электродов, в форме стимулирующих сигналов, а также индивидуальные особенности больных не позволяют сравнивать полученные результаты. Было проделано несколько экспериментов, в которых у одного и того же больного исследовали восприятие речи в различных условиях: изменяли число каналов и частотных полос. Введение дополнительных каналов — при наличии ранее вживленных электродов, допускающих дополнительную локальную стимуляцию, — приводит к незамедлительному и ярко выраженному улучшению рас-

познавания слов. Сообщалось, что всего только при четырехканальной стимуляции степень идентификации слов, предъявляемых в случайной последовательности, достигала 80%, приближаясь к уровню функциональной реабилитации, при наличии избыточности выражения и контекстуальной догадки, свойственных обычной беседе.

Альтернативный подход к кодированию пространственно-частотной характеристики основан на использовании многоканального электрода в сочетании с одноканальным стимулятором. При этом общий многоканальный эффект достигается благодаря тому, что в разные моменты времени электрические сигналы от единственного канала стимуляции подаются на разные контакты электрода. И сам электрод, и передающая система имеют более простое устройство, чем в многоканальных приборах, однако обработка речевых сигналов в данном случае значительно более сложная. Даже с помощью устройства из нескольких близко расположенных монополярных электродов при их поочередной стимуляции удается вызвать ощущение упорядоченной последовательности звуков разной высоты. Это обусловлено, по-видимому, тем, что центральная нервная система легко определяет «среднюю точку» в сравнительно широком распределении возбужденных нейронов.

АМПЛИТУДНАЯ и частотная модуляция определенных частей речевого спектра (таких, например, как форманты, обусловленные формой ротовой полости) позволяют получить информацию, весьма полезную для распознавания многих акустических элементов речи. С помощью анализатора речи на базе микрокомпьютера можно обнаружить спектральную составляющую, известную под названием второй форманты, и проследить за ее изменением. Затем по хранимой в ячейках памяти карте ощущений данного больного, возникающих при стимуляции каждым отдельно взятым электродом, можно определить оптимальную локализацию и интенсивность стимуляции. Частоту стимулирующих импульсов, подаваемых в данный момент на локально возбуждаемый участок, можно использовать для кодирования основной частоты колебания голосовых связок, которая соответствует низкочастотному диапазону и вызывает, по словам больных, ощущение звука, сходного с вибрацией. Устройство такого типа с 22 одиночными электродами было разработано под руководством Г. Кларка в Мельбурнском

университете. Двадцати больным была сделана необходимая операция, и они начали пользоваться аппаратурой. Опять-таки значительные индивидуальные различия исключают возможность прямого сравнения результатов с тем, что дают одноканальные приборы или многоканальные электроды с одновременной стимуляцией по всем каналам. Однако по крайней мере некоторые больные достигли существенных успехов в распознавании слов.

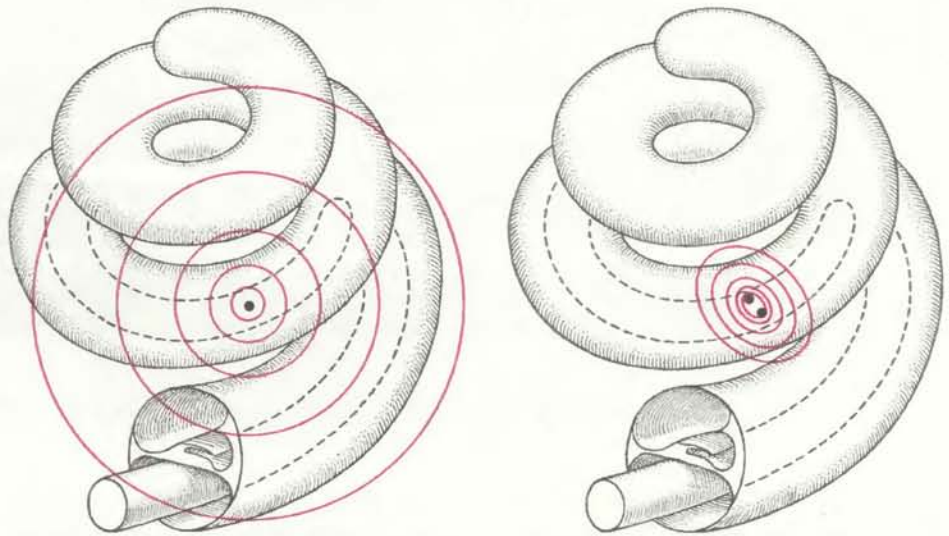
Для дальнейшего совершенствования метода необходимо введение дополнительных информационных каналов, соответствующих первой и третьей формантам гласных, а также высокочастотным согласным. По-видимому, два или даже три стимулирующих сигнала могут передаваться одновременно без существенных искажений в канале при условии их достаточно хорошего разделения. Предстоит еще выяснить, насколько этот общий подход к примирению взаимоисключающих требований — увеличение числа каналов, с одной стороны, и повышение их независимости — с другой — может обеспечить получение необходимой информации в такой форме, которая будет восприниматься центральной нервной системой как естественная.

ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ, как правило, поражает сложность ощущений, которые возникают даже при самой узколокальной стимуляции улитки. На основании резонансной теории слуха в ее простейшей форме можно предполагать, что локальная стимуляция должна вызывать ощущение довольно чистого тона, соответствующего резонансной частоте данного участка базилярной мембраны. Изменение стимулирующих электрических сигналов по форме и по частоте их следования должно привести просто к ощущению изменения громкости и притом только в той степени, в какой эти изменения могут повлиять на среднюю скорость генерации нервных импульсов возбуждающимися окончаниями нейронов. Как же возникают ощущения таких сложных по спектру звуков, как жужжание и ляг? Можно ли на основе систематических наблюдений за характером ощущений пациентов подобрать более адекватную форму поступающей от протеза информации?

Давно известно, что по слуховому нерву в мозг передается подробная информация о фазах колебаний базилярной мембраны в каждый момент времени. При звуках с частотой ниже 5000 Гц моменты возникновения каждого нервного импульса в волокне

слухового нерва «привязаны» к фазе механических колебаний того участка мембраны, в котором произошло возбуждение соответствующей волосковой клетки. Хотя всякое нервное волокно должно 2—3 мс отдыхать после каждого импульса, с помощью спектрального анализа активности одиночного нервного волокна можно выявить частоту стимуляции, которая активировала волокно, независимо от того, соответствует ли эта частота характеристической резонансной частоте механических колебаний в данном месте базиллярной мембраны. Некоторые из центральных нейронов, воспринимающие импульсы от слухового нерва, имеют специализированные синаптические структуры, которые способны передавать и хранить такую точную (т.е. с высоким разрешением) информацию о времени стимуляции, несмотря на то, что для нейрона как целого есть предел скорости импульсации — приблизительно 300 импульсов в секунду. Более того, при психофизических исследованиях выяснилось, что испытуемые могут извлекать довольно точную спектральную информацию даже в условиях, когда при увеличенной громкости звука из-за слишком большой интенсивности стимуляции возбуждение уже достигало насыщения на значительной области улитки. Недавно М. Сэкс и Э. Янг (Медицинская школа Университета Джона Гопкинса) высказали предположение о том, что временная информация важна для различения гласных. Судя по их данным, мозг способен извлекать информацию, связанную с фазой колебаний, и из-за невозможности в настоящее время правильно воспроизвести такие фазовые характеристики при искусственной стимуляции возникает ощущение сложного шума.

Как же закодированы фазовые характеристики? Если наложить друг на друга большое число синхронизированных нервных сигналов от возбужденных нейронов с невысокой импульсной активностью в каждом, то можно реконструировать частоту сигнала, генерируемого источником звука. При таком подходе возникает, однако, вопрос: как центральный нейрон, получая такой высокочастотный поток импульсов, определяет частоту звука? Можно предположить, что существует воспринимающий нейрон, который селективно настроен на определенную частоту входных сигналов, так как работает по принципу временной автокорреляции: некоторые из поступающих сигналов задерживаются на время, равное одному периоду колебаний, частоту которых предстоит определить, после чего за-



РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ в стороны от группы волокон слухового нерва ограничивает число каналов в слуховом протезе. Проблема эта стоит особенно остро в случае монополярных электродов (*слева*). При подаче электрического сигнала на такой электрод вокруг него, в жидкости, заполняющей полость улитки, сферически-симметрично распространяются ионные токи. В результате возбуждаются не только ближайшая к контакту группа нервных волокон, но и волокна, расположенные дальше от него по спирали улитки. В норме каждый участок улитки с подходящими к нему волокнами слухового нерва предназначен для восприятия лишь определенной узкой полосы частот. Вследствие распространения возбуждения сигналы от разных электродов перекрываются и становятся неразборчивыми. Этот эффект можно уменьшить, применив биполярные электроды, размещаемые вдоль радиусов спиральных колец улитки, — они вызывают более локальное возбуждение.

паздывающие и незапаздывающие сигналы перемножаются. В некоторых моделях слухового восприятия постулируется наличие ряда таких детекторов периодичности в нескольких первых синаптических «реле» ствола мозга.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ биофизика предсказывает, а эксперименты на животных подтверждают, что при электрической стимуляции синусоидальным током или импульсами переменного тока с частотой по крайней мере вплоть до 3000 Гц активность волокна слухового нерва зависит от фазы. Однако те, кто пользуется протезами, единодушно утверждают, что высота воспринимаемого ими звука почти не изменяется при увеличении частоты электрической стимуляции выше 300 Гц и что при этом лишь немного меняется качество звучания. Даже когда частота электрических стимулов совпадает с резонансной частотой возбуждаемого участка в улитке, улучшения восприятия слабых звуков не обнаруживается.

Эти наблюдения заставляют пересмотреть представления о механизме, посредством которого сеть взаимосвязанных нейронов способна извлечь информацию о временных характеристиках с таким высоким разрешением во времени, которое не может быть обеспечено обычными скоростями

процессов, происходящих при синаптической передаче и проведении возбуждения. Одна из возможных моделей предложена М. Уайтом, М. Мерценихом и мною: предполагается, что конкретная конфигурация колебаний базиллярной мембраны, вызванных бегущей звуковой волной данной частоты, определяется методом пространственной взаимокорреляции, который аналогичен процессу, используемому при определении положения источника звука в пространстве по запаздыванию сигнала, воспринимаемого одним ухом по сравнению с другим. Возможно, что сходство между этими двумя процессами не только внешнее, но в их основе лежат одни и те же свойства нервных цепей. Разрешение во времени как при определении местонахождения источника звука, так и при различении связанных с фазой частот имеет один и тот же порядок величины — 10 мкс.

Лишь разобравшись в механизме этих процессов, мы сможем успешно имитировать их при протезировании органа слуха. Возможно, что потребуются такая тонкая «подгонка» электрической стимуляции и в пространстве, и во времени, которая пока недостижима. В то же время не исключено, что какая-то простая, но еще не испробованная конфигурация электрода или особое «расписание» стимуляции решат проблему.

Дамасская сталь

Металл знаменитых дамасских клинков имел более высокое содержание углерода, чем большинство современных сталей.

После искуснойковки дамасская сталь приобретала исключительную прочность, вязкость и характерный узорчатый рисунок

ОЛЕГ Д. ШЕРБИ, ДЖЕФФРИ УОДСВОРТ

В РОМАНЕ Вальтера Скотта «Талисман», посвященном походу крестоносцев в Палестину, есть эпизод встречи Ричарда Львиное Сердце с султаном Саладином. Соперники расхваливали друг перед другом достоинства своего оружия. Чтобы доказать прочность своего двуручного прямого меча, Ричард одним ударом разрубил рукоять стальной булавы. В ответ Саладин взял шелковую подушку, поставил ее на ребро и замахнулся кривой саблей. «Лезвие сабли скользнуло так молниеносно и легко, что подушка, казалось, сама разделилась на две половины, а не была разрезана». Пораженные европейцы сочли это за фокус, но Саладин, чтобы окончательно убедить их, подбросил мягкий вуалевый платок и рассек его в воздухе. Как пишет В. Скотт, необычайно острый клинок в искусной руке султана имел «изогнутое узкое лезвие», которое «не блестело, как франкские мечи, а отливало тускло-голубым светом и было испещрено бесчисленными извилистыми линиями»*.

Хотя в этом эпизоде и есть элемент писательской вольности (например, клинок Саладина не мог быть кривым, как ятаган, — такие клинки появились лишь спустя несколько веков после описываемой встречи Саладина с Ричардом в 1192 г.), автор довольно точно описал тот тип клинков, которые были в ходу в исламском мире во времена Саладина. Эти клинки обладали исключительной прочностью на сжатие, т.е. были достаточно твердыми, чтобы сохранять остроту лезвия, и в то же время металл был очень вязким, так что в схватках клинок не ломался. И своими механическими качествами, и красивым волнистым узором на поверхности эти клинки были обязаны материалу, из которо-

го их ковали — дамасской стали. Ко времени крестовых походов о дамасских клинках и доспехах ходили легенды. В последующие века они оставались предметом восхищения европейских кузнецов, настойчиво, но тщетно пытавшихся выковать сталь с характерным поверхностным узором — «дамаском».

Разгадать секрет дамасской стали стремились некоторые видные европейские ученые, в их числе Майкл Фарадей, сам сын кузнеца. В 1819 г. (до изобретения им электродвигателя и электрогенератора) Фарадей исследовал образцы дамасской стали и пришел к выводу, что ее исключительные свойства объясняются присутствием небольших количеств кремния и алюминия. Хотя этот вывод оказался ошибочным, статья Фарадея вдохновила Жана Робера Бреана, пробирного инспектора Парижского монетного двора, провести серию экспериментов, в которых он вводил в сталь различные элементы. Именно Бреан впервые, в 1821 г., высказал догадку, существенную для понимания металлургической природы дамасской стали: ее необычная прочность, вязкость и вид должны быть обусловлены высоким содержанием углерода. Он установил, что структура дамасской стали имеет светлые участки «науглероженной стали» на темном фоне, который он называл просто «сталью».

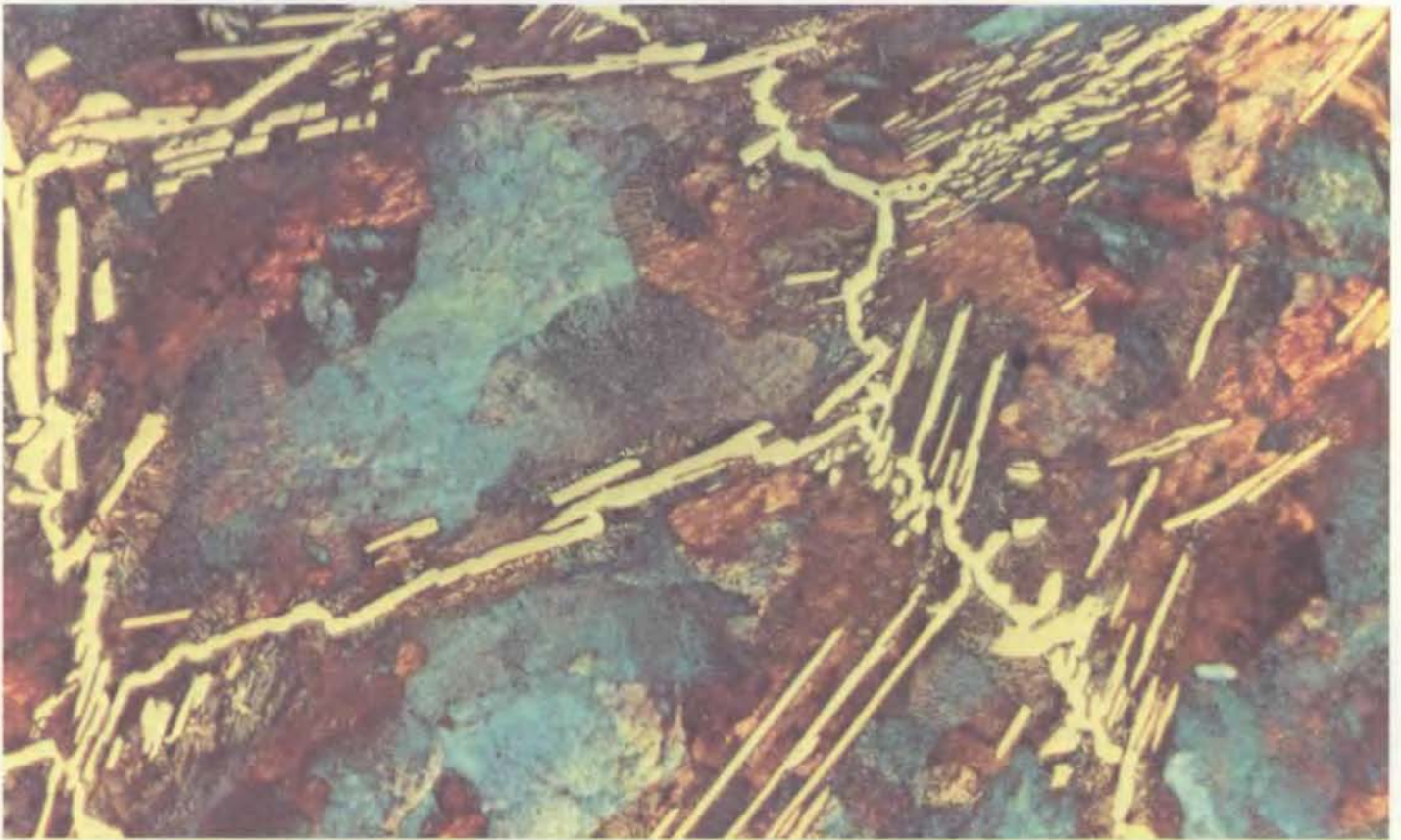
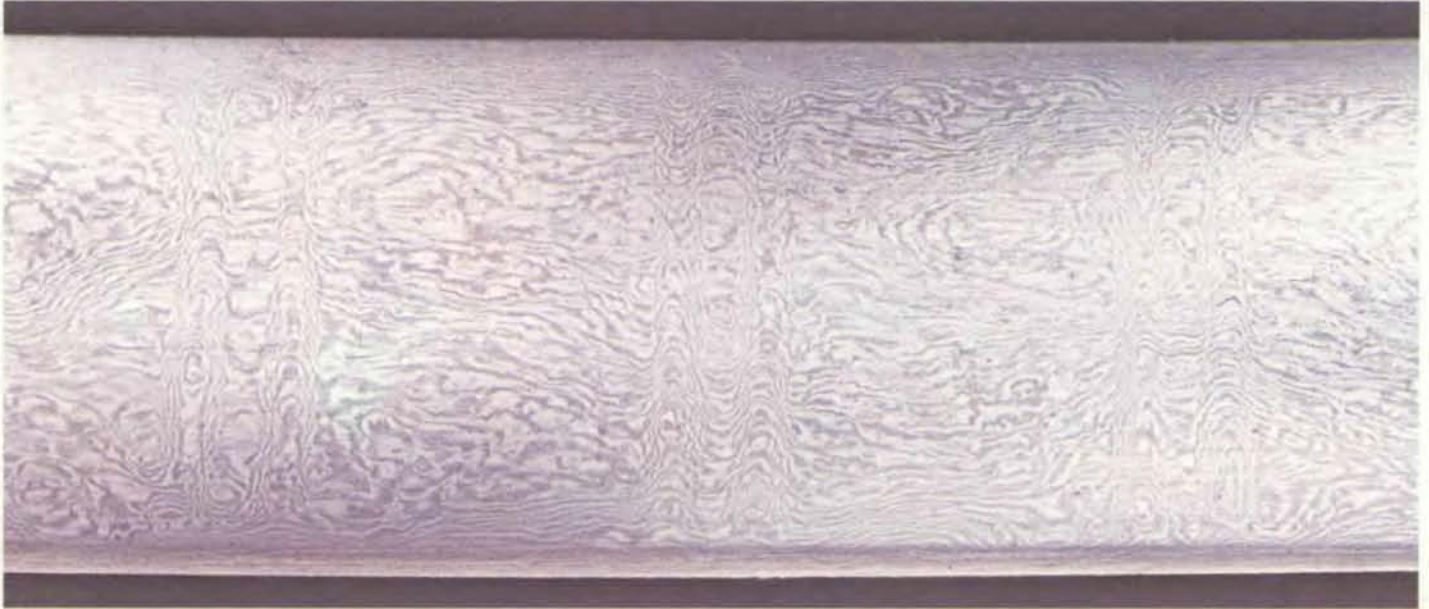
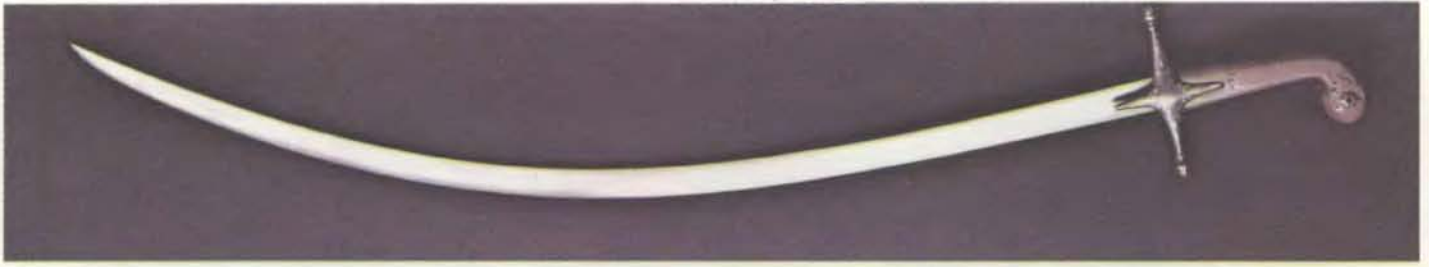
Бреану удалось изготовить клинки с узором как у дамасской стали, но он до конца своих дней так и не дал подробного объяснения своему способу. Более того, он не смог понять важности всех последовательных операций в использованном им процессе. Только на исходе XIX в., когда ряд исследователей изучили фазовые превращения, происходящие в стали, и установили их зависимость от температуры и содержания углерода, были созданы предпосылки для полного научного объяснения структуры дамасской стали. Но даже и теперь, когда фазовая диаграмма железо—углерод хорошо изучена, процесс изготов-

ления дамасской стали считается по американскому праву открытием и может быть запатентован.

Авторы статьи заинтересовались проблемой получения дамасской стали, изучая современные сверхвысокоуглеродистые стали. Такие стали, с содержанием углерода от 1 до 2,1%, редко находят промышленное применение, так как считаются слишком хрупкими. Однако в дамасских клинках содержание углерода составляет 1,5—2%. Тем не менее высокая вязкость дамасской стали является неоспоримым фактом. Можно предположить, что первоначальная хрупкость, вызванная высоким содержанием углерода в стали, устранялась соответствующей обработкой. В своих экспериментах в лаборатории Стэнфордского университета авторы получили сталь, которая, как и дамасские клинки, обладает высокой прочностью и вязкостью при комнатной температуре. Авторам удалось также воспроизвести легендарный «дамаск». Операции, использованные в этих лабораторных экспериментах, в сущности аналогичны тем, которые были изобретены в кузницах древнего Среднего Востока.

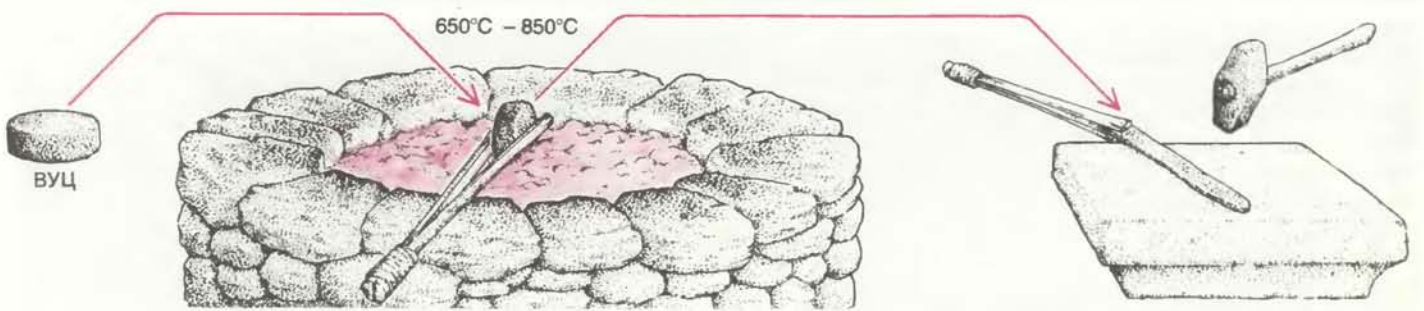
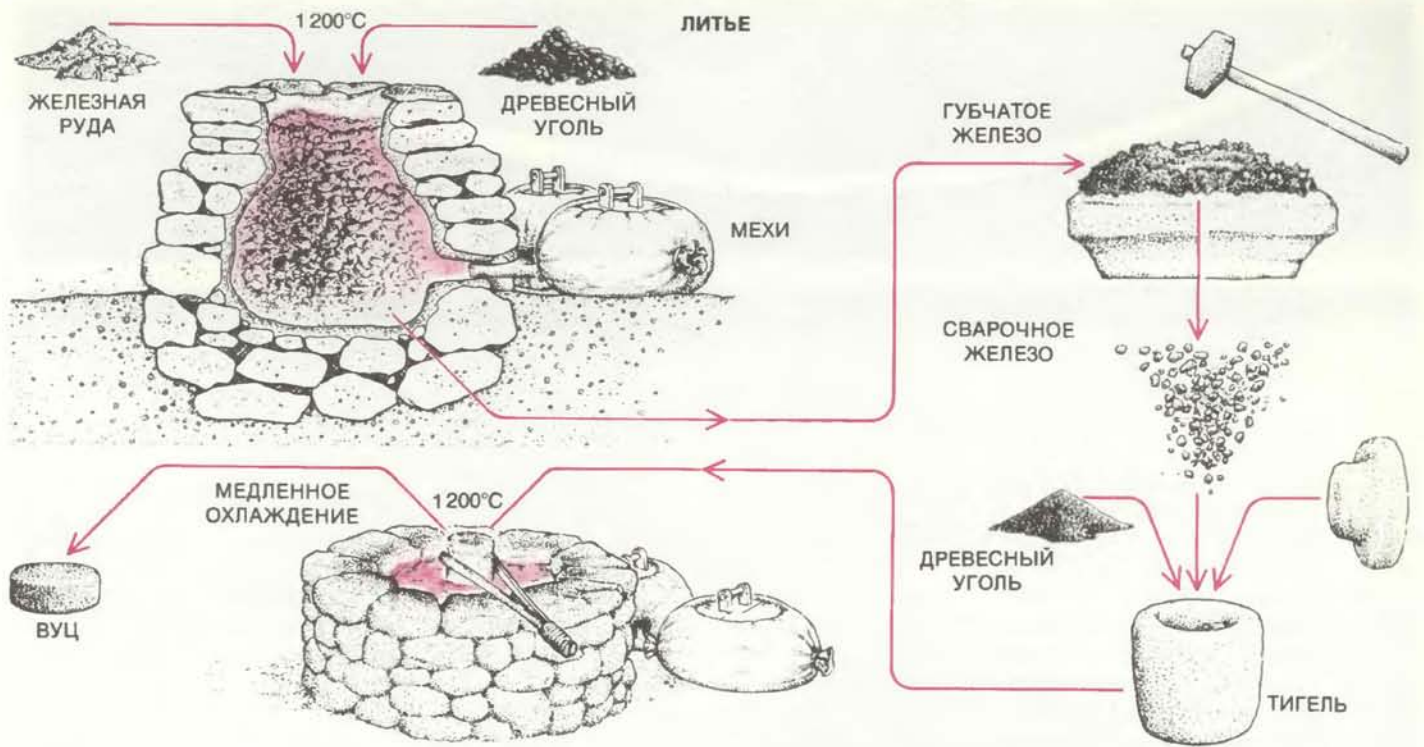
САМОЕ раннее описание дамасских клинков относится к 540 г. н.э., но, возможно, они применялись значительно раньше, еще во времена Александра Македонского (около 323 г. до н.э.). Свое название дамасские клинки получили не по месту происхождения, а по тому району, где европейцы впервые увидели их во времена крестовых походов. Сталь для клинков изготавливалась в Индии и была там известна под названием «вуц». Индия вела широкую торговлю стальными слитками, которые имели размер хоккейной шайбы. Считалось, что лучшие клинки из индийского вуца куют в Персии; из него же делали щиты и доспехи. Географическое распространение дамасской стали в основном совпадало с распространением мусульманской религии, хотя и в Древней Руси эта сталь

* Скотт В. Талисман, Собр. соч. в 20-ти томах. Т. 19. — М.: Художественная литература, 1965, с. 348. — Прим. перев.



ДАМАССКИЙ УЗОР на персидской сабле (вверху и в центре) обусловлен неравномерным содержанием углерода в сверхвысокоуглеродистой стали: светлые участки «дамаска» состоят из карбида железа (цементита), а темный фон образован железом, содержащим значительно меньше углерода. Узор проявляется только после полировки готового клинка и его протравливания кислотой. На микрофотографии образца современной сверхвысокоуглеродистой стали (внизу, $\times 200$) хорошо видна сетка цементита;

фоновая структура также состоит из чередующихся слоев цементита и железа. Дамасские стали становились более вязкими послековки, которая разрушала цементитную сетку и придавала поверхностному узору окончательный вид. Влияниековки можно видеть на персидской сабле: удары молота оставили вертикальные метки, образовавшие необычный дамасский узор — «лестницу Магомета». Сабля относится к XVII в. или, возможно, к более позднему времени; хранится в Метрополитен-музее в Нью-Йорке.



ТЕРМООБРАБОТКА



ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ вуца — слитка высокоуглеродистой стали в индийских литейных мастерских. Железная руда и древесный уголь смешивались и нагревались примерно до 1200 °С в каменном горне. При этом железо восстанавливалось (освобождалось от кислорода) вследствие реакций с углеродом древесного угля и образовывало губчатую массу. Примеси «выжимались» из губчатого железа ковкой; в результате получался кусок сварочного железа с низким содержанием углерода. Эти куски железа науглероживали, нагревая их вместе с древесным углем в закрытом глиняном тигле, предотвращавшем вто-

ричное окисление железа. При появлении хлюпающего звука в тигле, свидетельствующего об образовании некоторого количества расплава, тигель подвергали медленному охлаждению, оставляя его в остывающей печи. Индия вела широкую торговлю вуцем в виде слитков диаметром около 8 см. Кузнецы Среднего Востока ковали из этих слитков дамасские клинки после их нагрева до 650—850 °С; в этом интервале температур сверхвысокоуглеродистые стали становятся пластичными. Готовые клинки закалывали путем нагрева и быстрого охлаждения в воде, рассоле или другой жидкости.

также была известна (под названием «булат»).

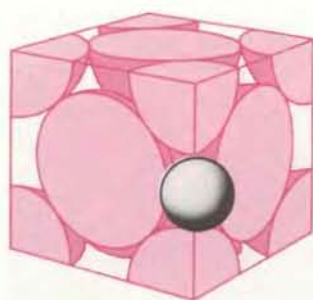
Как и в других сталеплавильных процессах, приготовление вуца предусматривало удаление кислорода из окиси железа (железной руды); при добавлении углерода железо упрочняется и превращается в сталь. Источником углерода был древесный уголь, древесина или листва. Обычно железная руда и древесный уголь смешивались и нагревались в каменном горне примерно до 1200 °С. Кислород удалялся из руды вследствие реакций с углеродом древесного угля. В зависимости от количества угля в смеси полученный продукт мог быть либо сварочным железом (с очень низким содержанием углерода), либо чугуном (содержащим свыше 4% углерода). Индийские сталевары изготавливали вуц, добавляя углерод к сварочному железу или удаляя углерод из чугуна.

Процесс получения вуца из сварочного железа легче поддается научному истолкованию, чем тот, в котором вуц получали из чугуна. Небольшие куски металла смешивали с древесным углем и помещали в закрытый глиняный тигель диаметром около 8 см и высотой 15 см. Тигель нагревали примерно до 1200 °С. При этой температуре сварочное железо еще остается твердым, но его кристаллы уже имеют гранецентрированную кубическую структуру, так что атомы углерода могут внедряться в решетку между атомами железа (см. верхний рис. на этой странице). Углерод медленно диффундирует в железо, образуя сплав, ныне известный как аустенит.

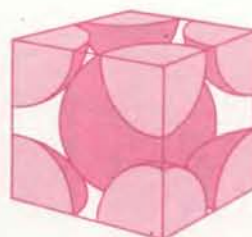
Добавка углерода снижала температуру плавления металла. Вследствие этого, как только содержание углерода на поверхности кусков сварочного железа достигало примерно 2%, они покрывались тонким слоем жидкого белого чугуна. Появление расплава определялось по хлопяющему звуку при встряхивании тигля; это означало, что значительное количество углерода уже растворилось в железе.

С этого момента тигель очень медленно охлаждали, иногда в течение нескольких дней. Медленное охлаждение обеспечивало равномерное распределение углерода в стали, с концентрацией 1,5—2%. Когда температура металла становится ниже 1000 °С, часть углерода выпадает из раствора и образует сетку карбида железа (Fe_3C), или цементита, вокруг зерен аустенита. Так как при медленном охлаждении аустенитные зерна вырастают до крупных размеров, цементитная сетка получается грубой.

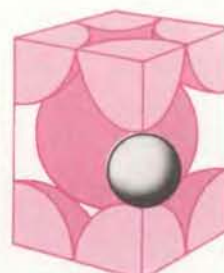
Именно эта сетка образовывала видимые узоры на дамасских клинках. Однако цементит имеет определен-



АУСТЕНИТ

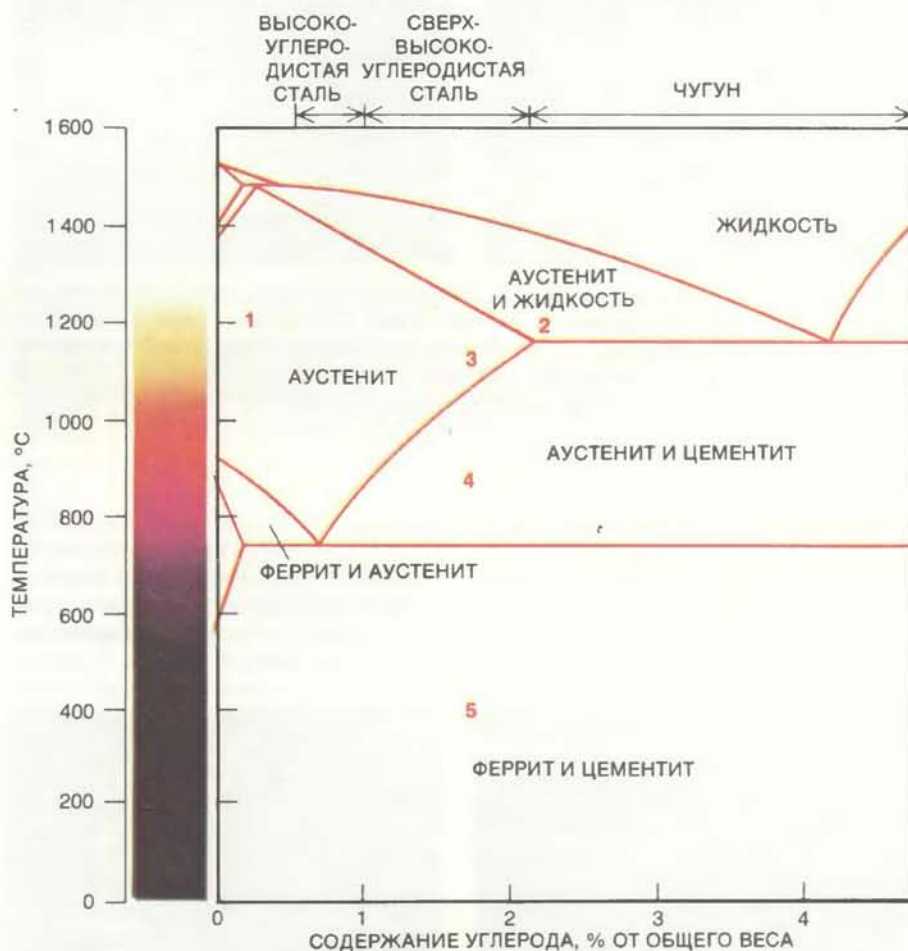


ФЕРРИТ

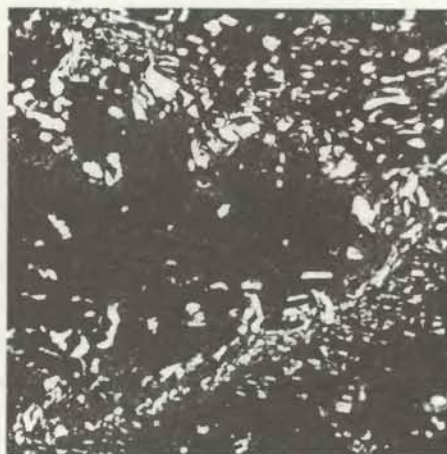


МАРТЕНСИТ

ТРИ ФОРМЫ кристаллов железа в сверхвысокоуглеродистой стали. При температурах выше 727 °С устойчивая структура имеет кубическую решетку с атомами железа в центре каждой грани; атомы углерода (темные сферы) могут внедряться в эту гранецентрированную структуру между атомами железа. Т.е. при высоких температурах углерод может растворяться в железе; образующийся раствор называют аустенитом. Если затем сталь охлаждать до комнатной температуры, кристаллы железа перейдут в объемно-центрированную кубическую форму, в которой мало места для углерода; эту фазу называют ферритом. Если же сталь охлаждается быстро (при закалке), атомы углерода удерживаются в искаженных тетрагональных объемно-центрированных кристаллах. Эта фаза, называемая мартенситом, имеет более высокую твердость, чем феррит.



ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА железо—углерод является основой для понимания свойств и принципов изготовления дамасских клинков. При нагреве сварочного железа и древесного угля до 1200 °С в тигле железо переходит в гранецентрированный аустенит (1). Углерод древесного угля может далее растворяться в железе, понижая его температуру плавления. Как только содержание углерода в поверхностном слое превысит 2%, на поверхности железных частиц появляется слой расплавленного чугуна (2). При медленном охлаждении углерод может диффундировать через металл, образуя сталь со средним содержанием углерода 1,5—2% (3). При падении температуры ниже примерно 1000 °С углерод выделяется из раствора по границам зерен в виде сетки цементита (4). Белые линии в узоре дамасской стали являются следами этой сетки. При температуре ниже 727 °С происходит превращение гранецентрированного аустенита с образованием чередующихся слоев цементита и низкоуглеродистого объемно-центрированного феррита (5). Клинки закалывали путем нагрева выше 727 °С и быстрого охлаждения, при котором аустенит превращается в мартенсит.



ВЛИЯНИЕ КОВКИ на дамасскую сталь было имитировано прокаткой образцов современной сверхвысокоуглеродистой стали. Структура стали показана с увеличением $\times 130$ (вверху) и $\times 6,5$ (внизу). До прокатки (слева) светлая цементитная сетка была непрерывной, с примерно одинаковым размером ячеек во всех направлениях. После прокатки (справа) сетка удлинилась в направлении прокатки и раздробилась на отдельные сферические частицы. В результате металл стал более вязким (менее хрупким).

ные отрицательные свойства. У него высокая твердость, но он становится чрезвычайно хрупким при комнатной температуре. Хрупкости способствует сетчатая структура цементита, открывающая пути для распростране-

ния трещин. Однако металл в дамасских клинках был не хрупким, а, наоборот, очень вязким. Эту вязкость дамасская сталь приобретала только после ковки, т.е. после разрушения сетки цементита.



МИКРОСТРУКТУРЫ СТАЛИ в поперечном сечении дамасского клинка (слева) и прокатанного образца сверхвысокоуглеродистой стали (справа). Сходство микроструктур свидетельствует о сходстве процессов обработки. При обработке давлением цементитная сетка сжимается; расстояние между слоями составляет около 100 мкм. Прокатанная сталь имеет все же менее сложный узор, чем кованый клинок.

КОВКА клинков из дамасской стали, вероятно, производилась при относительно низкой температуре. Средневековые кузнецы не могли точно измерять температуру в горне и поэтому руководствовались цветом каления металла. Сталь, нагретая в горне, может менять свой цвет от белого ($1200\text{ }^{\circ}\text{C}$) к оранжевому ($900\text{ }^{\circ}\text{C}$) и далее к другим тонам. Можно предположить, что дамасскую сталь ковали в диапазоне температур от $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ (вишневый цвет) до $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ (крово-красный цвет), так как при более высоких температурах происходило бы вторичное растворение цементита в аустените. Если же ковка слитка велась при температуре ниже $850\text{ }^{\circ}\text{C}$, непрерывная цементитная сетка разбивалась на отдельные сферические частицы карбида. Эти частицы еще производили упрочняющий эффект в металле, но последний утрачивал свою хрупкость вследствие разрушения цементитной сетки.

Анализ поверхности дамасских клинков показывает, что они подвергались интенсивной ковке; толщина заготовки при ковке клинка, вероятно, уменьшалась в 3—8 раз. Проведенный авторами эксперимент показал, что сверхвысокоуглеродистые стали действительно обладают высокой вязкостью и легко куются при температуре $850\text{ }^{\circ}\text{C}$. Слитки стали с содержанием углерода 1,3, 1,6 и 1,9% подвергались высоким сжимающим деформациям с трехразовым обжатием. Ни на одном из них не было обнаружено трещин. Чугунный слиток при тех же условиях деформирования оказался более хрупким вследствие большего (2,3%) содержания углерода и растрескался по краям.

Одной из возможных причин того, что европейским кузнецам не удавалось изготовить дамасские клинки даже из индийского вугца, может быть то, что они привыкли иметь дело с низкоуглеродистыми сталями, имеющими более высокую температуру плавления. Вероятно, они пытались ковать индийскую сталь при белом калении, когда металл частично расплавлен. При этом могло происходить лишь то, о чем писал Бреан: «При белом калении [дамасская сталь] крошится под молотом».

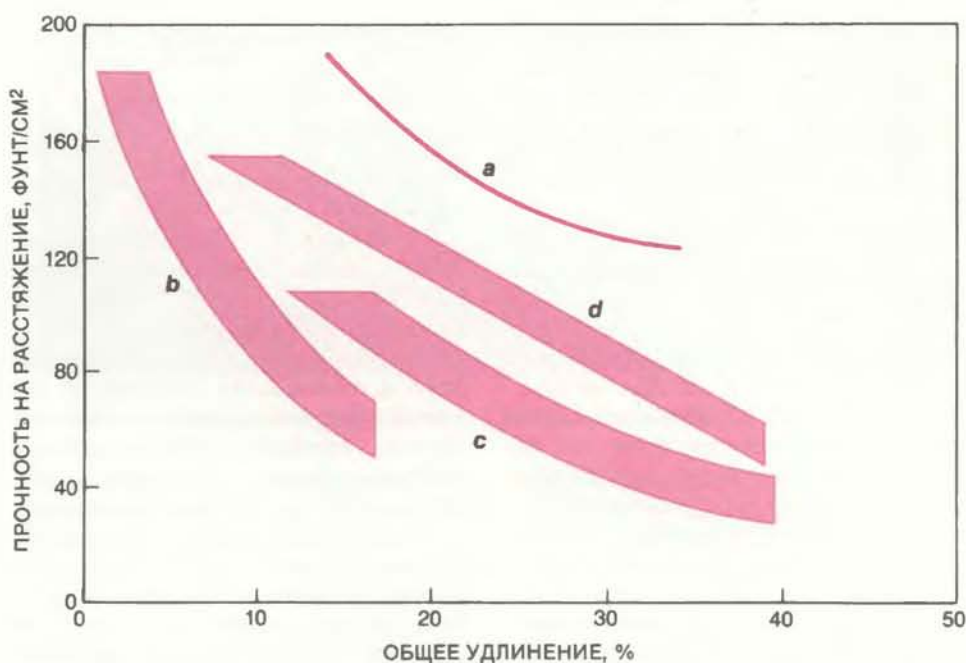
ДАМАССКИЕ клинки после ковки обычно закалывали термообработкой. Термическая закалка стали осуществляется путем нагрева выше $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ (температуры превращения объемно-центрированного феррита в гранцентрированный аустенит) и быстрого охлаждения (собственно закалки) в воде или другой среде. Если созданы условия для медленного охлаждения, как при изготовлении ву-

ца, сверхвысокоуглеродистая сталь переходит из аустенитной фазы в перлит, структура которого состоит из чередующихся слоев мягкого бедного углеродом феррита и богатого углеродом цементита. Если же сталь подвергается закалке, то превращение аустенита в перлит подавляется. Получающиеся кристаллы железа являются объемно-центрированными, но имеют не кубическую, а вытянутую тетрагональную форму. Такая структура называется мартенситом. В ней имеются свободные места для атомов углерода, и поэтому она может быть твердой.

По историческим свидетельствам у средневековых кузнецов было много различных рецептов для закалки дамасских клинков, причем они часто придавали важное значение таким деталям, которые современному инженеру представляются фантастическими. Например, некоторые мастера утверждали, что клинки нужно закалывать в моче рыжеволосого мальчика или трехлетней козы, которую три дня кормили только папоротником. Одно из наиболее подробных описаний процедуры закалки дамасской стали (булата) было найдено в храме Балгала в Малой Азии: «Булат нужно нагревать до тех пор, пока он не потеряет блеск и станет как восходящее солнце в пустыне, после чего остудить его до цвета королевского пурпура и затем вонзить в тело могучего раба... Сила раба перейдет в клинок и придаст прочность металлу».

Эту «инструкцию» можно расшифровать следующим образом. Клинок нагревали до высокой температуры, предположительно выше 1000 °С (температура «восходящего в пустыне солнца»), затем охлаждали на воздухе примерно до 800 °С (до цвета королевского пурпура) и, наконец, погружали в теплую (37 °С) полужидкую среду наподобие рассола.

Легко догадаться, что этот рецепт не обеспечивал наилучшие свойства дамасской стали. Нагрев клинка выше 1000 °С должен был вызывать вторичное растворение цементита в гранецентрированном аустените; при охлаждении до 800 °С должна была восстанавливаться грубая сетчатая структура, ранее разрушенная ковкой. Кроме того, высокая температура должна была давать сравнительно крупное зерно в стали. Оба этих эффекта уменьшали вязкость металла. Клинок, изготовленный по балгальскому рецепту, мог иметь высокую твердость, но оказался бы слишком хрупким и не выдержал бы удара о другой клинок, закаленный после нагрева до температуры лишь немного выше 727 °С; последний имел бы и высокую твердость, и вязкость.



ПРОЧНОСТЬ И ПЛАСТИЧНОСТЬ сверхвысокоуглеродистых сталей могут быть выше, чем у обычных марок стали. Прочность на растяжение определяется как максимально растягивающее напряжение, выдерживаемое стандартным образцом металла до разрыва. Удлинение образца служит мерой пластичности; оно измеряется как относительное приращение длины образца металла непосредственно перед разрывом. Сверхвысокоуглеродистые стали после прокатки с охлаждением приобретают сверхтонкую структуру (a) и оказываются прочнее (при данной пластичности) обычных низкоуглеродистых сталей (b) и высокопрочных сталей, легированных небольшими количествами специальных элементов (c). По своей прочности они даже превосходят некоторые специальные сорта стали (d).

СООГЛАСНО современным теоретическим представлениям в металлургии, наиболее прочными и вязкими сталями оказываются те, которые имеют наименьшие размеры зерен и частиц. Отсюда следует парадоксальный вывод: наилучшими дамасскими клинками должны быть те, которые вообще не имеют «дамасского» узора. Для средневековых мастеров «дамасский» узор, без сомнения, служил формой контроля качества: наличие узора было и признаком высокого содержания углерода в металле, т.е. высокой прочности, и признаком хорошо прокованной структуры, т.е. высокой вязкости. Однако заметный глазу узор получается только в том случае, если частицы цементита достаточно крупны и распределены неравномерно в структуре стали. Клинки с очень тонкой микроструктурой, не дающей видимого узора, вероятно, могут иметь более высокие показатели прочности и вязкости.

Для проверки своих идей относительно состава и производства дамасской стали, авторы попытались воспроизвести «дамаск» в лабораторных условиях. Сначала нагревали небольшую стальную отливку (с содержанием углерода 1,7%) до температуры 1150 °С (светло-желтый цвет каления) в течение 15 ч. В результате длительного нагрева углерод растворял-

ся в железе, образуя очень грубую структуру аустенита. Затем слиток охлаждали со скоростью примерно 10 °С в час. При таком медленном охлаждении образовывалась грубая непрерывная сетка цементита по границам аустенитных зерен.

Слиток вторично нагревали до 800 °С и прокатывали с восьмикратным обжатием по толщине. В результате этой операции, которая имитировала ковку, зерна вытягивались в направлении прокатки и карбидная сетка разрушалась. Травление образца кислотой, разрушающей только железную матрицу и не действующей на карбиды, выявило дамасский узор, видимый невооруженным глазом. Микроструктура образца была удивительно схожа с микроструктурой настоящей дамасской стали (см. нижний рисунок на с. 78).

Выше описан только один способ получения дамасской стали; вероятно, существовали и многие другие. Можно даже предположить, что мастера на Среднем Востоке умели получать и высококачественные сверхвысокоуглеродистые стали, не имевшие вообще дамасского узора. Авторы добились этого в лабораторных условиях путем прокатки стального слитка, нагретого до 1100 °С; во время прокатки слиток постепенно охлаждался с переходом через фазу

аустенит + цементит. Обработка давлением (прокатка) вызывала измельчение аустенитных зерен и выделение цемента из раствора в виде мелких равномерно распределенных частиц, а не грубой сетки. Обработанный металл не имел поверхностного узора.

Такие сверхвысокоуглеродистые стали без узора имеют при комнатной температуре более высокие показатели прочности и вязкости, чем обычные стали, применяемые в автомобилестроении. Более того, при температурах 600—800 °С они проявляют свойства сверхпластичности, т.е. ведут себя подобно аморфным материалам, например расплавленному стеклу. Это позволяет формовать из них сложные детали, такие, как шестерни, при минимальных затратах на обработку и используя методы, применимые в массовом производстве, что открывает широкие перспективы для промышленного применения сверхвысокоуглеродистых сталей.

АВТОРЫ не претендуют на приоритет в раскрытии утраченного секрета получения дамасской стали. Были предшественники, как упомянутые Бреан и Фарадей или же русский инженер П.П. Аносов, который в 1841г. опубликовал сочинение «О булатах»*. Вдохновленный своими открытиями, Аносов восторженно писал: «Оканчиваю сочинение надеждою, что скоро наши воины вооружатся булатными мечами, наши земледельцы будут обрабатывать землю булатными орудиями, наши ремесленники — выделывать свои изделия булатными инструментами; одним словом, я убежден, что с распространением способов приготовления и обработки булатов они вытеснят из употребления всякого рода сталь, употребляемую ныне на приготовление изделий, требующих особенной остроты и стойкости».

Его предсказания не сбылись. И в настоящее время огромные возможности сверхвысокоуглеродистых сталей остаются в основном неиспользованными. Авторы не так оптимистичны в своих прогнозах, как Аносов, но все же считают, что положение скоро изменится и секрет дамасской стали станет общим достоянием современной промышленности. Как гласит известная пословица: «Новое — это часто лишь хорошо забытое старое».

* Аносов П.П. О булатах. Горный журнал, 1841, часть I, книга II.

Новая модификация симплекс-метода

ВТЕЧЕНИЕ последних 30 лет экономисты в различных отраслях промышленности — нефтяной, бумажной, пищевой, сталелитейной и металлообрабатывающей — широко применяют так называемый симплекс-метод для расчета режима оптимального использования имеющихся ресурсов. Этим же методом решаются задачи, связанные с распределением нефтепродуктов, составлением графиков работы экипажей пассажирских самолетов, определением оптимальной линии телефонной связи между абонентами, находящимися на большом расстоянии друг от друга, и составлением расписаний спутниковой связи. Каждая компания, которая использует этот метод, сокращает свои издержки и получает экономию в несколько миллионов долларов. Теперь, кажется, появился новый метод, ориентированный на те же задачи, но обеспечивающий значительно более быстрое их решение. Разработчиком этого метода является сотрудник фирмы AT&T Bell Laboratories Н. Кармаркар.

Метод Кармаркара, как и симплекс-метод, применим ко всем задачам линейного программирования. Достоинство таких методов заключается в том, что они позволяют найти оптимальное решение любой задачи линейного программирования, не прибегая к анализу всех возможных вариантов использования ресурсов, что обычно сделать не удается.

Метод, предложенный Кармаркаром, является, пожалуй, первым существенным достижением в попытке практического решения таких проблем с тех пор, как в 1947 г. появился симплекс-метод. Правда пять лет назад четверо советских математиков разработали так называемый алгоритм эллипсоидов, который обеспечивает более быстрое решение некоторых довольно искусственных задач, чем симплекс-метод. Но задачи эти на практике встречаются довольно редко, а почти все задачи, с которыми приходится иметь дело в экономике, решаются значительно быстрее симплекс-методом, чем с помощью алгоритма эллипсоидов.

Метод Кармаркара, по-видимому, более производителен для практических задач, чем симплекс-метод, и он лучше работает в теоретическом «худшем случае», чем алгоритм эллипсоидов. Типичным примером, формализуемым в виде задачи линейного программирования, может служить проблема, с которой приходит-

ся сталкиваться при производстве горючего из нефти. Допустим, что в результате переработки нефти фирма может получить лишь два вида топлива — с высоким октановым числом и с низким октановым числом, причем для производства топлива первого вида используется нефть только высокого качества, а второй вид топлива получается из смеси высококачественной и низкосортной нефти. Если, исходя из рыночных цен, топливо с высоким октановым числом производить выгоднее, то фирма может предпочесть производство этого топлива в возможно больших объемах.

Как ни странно, такая стратегия может оказаться не самой выгодной. Расходы, связанные с хранением имеющихся запасов низкосортной нефти, оставшихся от предыдущего месяца, когда потребность в топливе с низким октановым числом была высокой, могут свести на нет ожидаемую прибыль. Возможно, что значительно выгоднее было бы частично сохранить производство топлива с низким октановым числом, используя для этого имеющуюся в наличии низкосортную нефть.

Все эти ограничения можно представить в виде системы линейных неравенств. Затем неравенства изображаются графически в такой системе координат, на которой горизонтальная ось соответствует объему производства топлива с низким октановым числом, а вертикальная ось — объему производства топлива с высоким октановым числом. Каждая точка графика соответствует производственной программе, предусматривающей производство обоих видов топлива в определенном соотношении. Множество всех точек, которые удовлетворяют заданным ограничениям на объемы исходных продуктов, образуют плоский многоугольник.

Каждой точке многоугольника соответствует некоторое значение прибыли. Оказывается, что максимальная прибыль соответствует одна из вершин многоугольника. Отыскание именно этой точки и входит в задачу любого метода линейного программирования.

В симплекс-методе поиск начинается с произвольной вершины; вершина, соответствующая оптимальному режиму, находится путем последовательного перехода от одной вершины к другой вдоль сторон многоугольника. Новый метод Кармаркара обеспечивает более прямой подход. В многоугольнике произвольно выбирается начальная точка и затем вдоль короткой секущей, проходящей через многоугольник, а не вдоль сторон, оты-

Издательство
МИР
предлагает:

И. Гардан, М. Люка
МАШИННАЯ ГРАФИКА
И АВТОМАТИЗАЦИЯ
КОНСТРУИРОВАНИЯ

Перевод с французского

В настоящее время интерактивная машинная графика относится к одному из основных направлений развития систем автоматизированного конструирования и широко используется в промышленных организациях при проектировании и в инженерных вузах в процессе обучения. Книга Гардана и Люка посвящена комплексному изложению аппаратно-программных средств машинной графики. В ней приведены алгоритмы конструирования различных объектов и многочисленные примеры выполнения чертежно-конструкторской документации на ЭВМ. Значительное внимание уделено определению разрешающей способности графических цветных дисплеев и особенностям работы на них конструкторов при конкретном проектировании пространственных изображений. Даются практические советы по выполнению различных операций, связанных с выделением части чертежа, удалением линий, показом глубины на плоских фигурах и т.п.

Для инженеров-конструкторов, овладевающих методами автоматизированного конструирования, и для студентов, изучающих машинную графику.

1986, 25 л. Цена 2 р. 10 к.

Предварительные заказы на эту книгу принимаются магазинами научно-технической литературы с апреля 1985 г.

Издательство заказов не принимает.



Микрофотография атомной поверхности кристалла кремния

скивается другая точка, соответствующая более высокому значению прибыли. В результате такого последовательного анализа отыскивается вершина, соответствующая оптимальному варианту, как и при симплекс-методе, но процедура поиска в этом случае занимает гораздо меньше времени, что позволяет использовать новый метод для решения более сложных и больших по масштабу задач. В настоящее время алгоритм Кармаркара переводится на язык быстродействующих ЭВМ, что позволит в полной мере сравнить его возможности с возможностями симплекс-метода.

Атомный рельеф поверхности

В МИКРОСКОПЕ нового типа, настолько мощном, что с его помощью можно получать изображения отдельных атомов поверхности, используется необычное квантово-механическое свойство элементарных частиц. Микроскоп обладает никогда не достигавшейся ранее разрешающей способностью по вертикали и одновременно дает детальную картину относительного расположения атомов. Первый такой микроскоп был создан в 1981 г. научными сотрудниками исследовательской лаборатории фирмы ИВМ в Цюрихе. Теперь испытания аналогичных приборов проводятся и в других лабораториях. На изображении, полученном с помощью микроскопа в Цюрихе (см. рисунок на этой странице), внешние электронные оболочки атомов поверхности выглядят как округлые «холмы» на фоне «долин», которые проходят между атомами.

Действие нового микроскопа основано на явлении, которое в квантовой теории называют туннельным эффектом. Согласно соотношению неопределенностей, существует конечная вероятность того, что электрон, который по классическим представлениям находится на острие иглы, фактически может быть найден в малой окрестности острия. Следовательно, положение электрона «размазывает-

ся». Вероятность обнаружения электрона не на самом острие, а около него быстро (экспоненциально) падает по мере удаления от острия.

Если к какой-нибудь поверхности поднесено острие, то имеется конечная вероятность того, что электрон, находившийся на острие, окажется на этой поверхности. Говорят, что электрон «туннелировал» к поверхности через потенциальный барьер, который с точки зрения классической механики непреодолим для такого перехода. Поскольку вероятность туннелирования экспоненциально падает с увеличением расстояния, поток электронов, туннелирующих с острия к поверхности, сильно зависит от расстояния между ними. Если расстояние изменится на диаметр одного атома, то поток туннелирующих электронов изменится в 1000 раз.

В микроскопе, действие которого основано на туннельном эффекте, поверхность многократно сканируется острием. Расстояние между острием и атомами поверхности поддерживается постоянным с помощью автоматического регулятора, который следит за постоянством тока туннелирующих электронов. Положение острия, регистрируемое специальным электронным датчиком, записывается. По полученным данным можно реконструировать рельеф изучаемой поверхности.

Более детальное знакомство с атомной структурой поверхности может дать много ценной информации. Характер протекания таких процессов, как катализ и рост кристаллов, зависит от деталей рельефа поверхности, которые еще плохо изучены. Не исключено, что новый микроскоп позволит изучать «атомный рельеф» более сложных объектов, таких, как клетка. Ученые многих лабораторий сейчас пытаются сочетать растровую микроскопию туннелирования с растровой электронной микроскопией. Если это удастся, то можно будет «пристально вглядываться» в предварительно выбранные участки поверхности с поперечником не более нескольких атомных диаметров.

Наука вокруг нас

Ореол Бидуэлла и другие явления, связанные с позитивным остаточным изображением

ДЖИРЛ УОЛКЕР

ПОБУДЬТЕ в темной комнате примерно десять — пятнадцать минут и, когда ваши глаза привыкнут к темноте, включите на мгновение яркий свет. Зафиксируйте свой взгляд на каком-либо предмете и выключите свет. В течение нескольких секунд после этого вы будете видеть нечто вроде моментального снимка комнаты. Причем будут заметны детали, неразличимые при ярком свете. Такая картина называется остаточным изображением (в данном случае позитивным, поскольку темные и светлые области воспроизводятся в соответствии с их действительным расположением). Если ваш взгляд неподвижен, то это изображение сохранится в течение нескольких десятков секунд.

Впервые о такого рода остаточном изображении я узнал от П. Хассельбахера, сотрудника Медицинской школы Луисвиллского университета. Одно из первых сообщений о существовании данного явления было сделано еще в 1894 г. английским врачом Ш. Бидуэллом, изучавшим механизм зрения. Бидуэлл освещал предмет вспышкой от электрического разряда и наблюдал остаточное изображение предмета, появлявшееся примерно через 0,2 с. Иногда изображение исчезало и появлялось вновь — и так по несколько раз.

В другом эксперименте Бидуэлл использовал периодически вспыхивающую газоразрядную трубку, которая вращалась со скоростью 0,4 об/с. В тех случаях, когда он неподвижно смотрел на трубку вместо того, чтобы следить за ее вращением, позади трубки появлялся тусклый синий или фиолетовый ореол. Когда вращение прекращалось, ореол «догонял» трубку и исчезал. Соответствующее остаточное изображение принято называть ореолом Бидуэлла.

Этот исследователь провел еще один опыт, осветив вращающийся диск, в котором имелось отверстие. В результате на экране позади диска появилось пятно света,двигающееся по кругу. Какое-либо другое освещение в комнате отсутствовало. Бидуэлл наблюдал световой ореол, следовавший за пятном с отставанием примерно на 0,2 с. В тех случаях, когда диск освещался белым, синим или зеленым светом, ореол был фиолетовым. При освещении оранжевым или желтым светом ореол был синим или синезеленым; при освещении красным светом ореол не появлялся.

Английский хирург и офтальмолог У. Дьюк-Элдер в 1934 г. описал остаточное изображение, которое возникает, когда наблюдатель смотрит на пятно света «сквозь» закрывающую его картонку. Если картонка то быстро убирается, то снова закрывает пятно, наблюдатель видит позитивное остаточное изображение. «Само остаточное изображение может быть столь четким, — писал Дьюк-Элдер, — что картонка начинает казаться прозрачной и детали, которые не были заметны при взгляде непосредственно на пятно света, становятся ясно различимыми на остаточном изображении».

Я начал изучать явление остаточного изображения, используя электронную лампу-вспышку моего фотоаппарата. Пробыв несколько минут в темной комнате (до того момента, как мои глаза привыкли к темноте, было еще далеко), я раскрыл лежащий на столе журнал. Было настолько темно, что я ничего не мог разглядеть. Поместив лампу-вспышку так, чтобы она оказалась направленной на журнал, я нажал на кнопку (нужно было соблюдать осторожность, поскольку яркий свет мог повредить сетчатку). Вспышка была ослепительной, однако я сумел различить очертания журнальных страниц.

Через несколько секунд перед моими глазами появилось позитивное остаточное изображение журнала (я назвал его моментальным остаточным изображением). Оно было достаточно ярким для того, чтобы рассмотреть фотографии и прочитать заголовки. Я «видел» и напечатанный более мелким шрифтом текст, но прочитать его не мог. Вскоре изображение начало размываться и ослабевать и примерно через пятнадцать секунд окончательно исчезло. Сначала исчезло изображение наиболее темных участков страницы (фотографий), затем — наиболее ярких.

Следом появилось менее четкое, но гораздо более устойчивое негативное

остаточное изображение, т.е. такое, на котором темные и светлые области поменялись местами (по сравнению с позитивным изображением). Я думаю, что причиной появления негативного изображения является перенапряжение сетчатки, вызванное моментальным остаточным изображением. Ярко освещенные участки картины, которую видит глаз, вызывают сильное возбуждение тех зон сетчатки, на которые попадает их изображение. Когда возбуждение затихает, на картине, стоящей перед глазами, эти участки кажутся более темными, чем те, которые создавали более слабое возбуждение сетчатки. Поэтому позитивное остаточное изображение превращается в негативное.

Включая время от времени вспышку, я продолжал рассматривать получившиеся моментальные остаточные изображения. В первые 15 мин, по мере того, как мои глаза привыкали к темноте, качество изображений непрерывно улучшалось. И позитивные и негативные остаточные изображения были всегда черно-белыми, даже если я смотрел на цветные предметы. В одном случае моментальное остаточное изображение комнаты было настолько четким, что я попытался ходить, как будто действительно все видел. Это занятие пришлось прекратить, когда я наткнулся на дверь, которая, как мне казалось, находилась в этот момент несколько дальше.

Улучшение качества моментального остаточного изображения и увеличение времени, в течение которого оно сохранялось, требовали некоторой практики, поскольку яркий свет лампы-вспышки заставлял меня моргать. Если я моргал или переводил взгляд с одного предмета на другой, то моментальное остаточное изображение обычно ослабевало или совсем исчезало. В то же время покачивания головой, казалось, не играли роли, если только мой взгляд при этом оставался фиксированным.

Чтобы проверить, остается ли неподвижным мой взгляд во время появления остаточного изображения, я ставил перед собой темный телевизионный экран. Вспышка света вызывала слабое свечение экрана и таким образом, я видел светящийся экран совмещенным с моментальным остаточным изображением телевизора. Эти два изображения были смещены относительно друг друга; отсюда можно сделать вывод, что после вспышки я невольно слегка изменял направление взгляда. Это, однако, не сказывалось заметно на остаточном изображении, которое было «зафиксировано» на определенном участке сетчатки.

Почти в любой публикации, посвященной изучению этого типа ореола

Бидуэлла, отмечается, что если вы хотите сохранить остаточное изображение, ваш взгляд должен оставаться неподвижным. После нескольких проб я обнаружил, что на начальной стадии формирования изображения неподвижный взгляд не так уж необходим. При движении глаз во время вспышки света или сразу после нее происходит мгновенное исчезновение остаточного изображения, которое появляется вновь таким же отчетливым, как при фиксированном взгляде. При движении глаз спустя несколько секунд после вспышки остаточное изображение исчезает и уже больше не появляется. До сих пор никто не смог объяснить, как движения глаз «стирают» остаточное изображение.

Негативное остаточное изображение оказалось довольно устойчивым, оно появлялось даже тогда, когда мой взгляд не оставался фиксированным. Как правило, оно сохранялось в течение нескольких минут. Если при этом я включал лампу-вспышку для того, чтобы получить новое моментальное остаточное изображение, то старое негативное изображение иногда накладывалось на новое позитивное.

Порой наблюдаемое моментальное остаточное изображение противоречило здравому смыслу. В одном из опытов я осветил свою руку в тот момент, когда она находилась у меня перед глазами, а затем убрал ее за спину. Когда появилось моментальное остаточное изображение, я отчетливо видел свою руку перед собой и так же

ясно чувствовал, что она находится у меня за спиной.

В другом случае я присел на корточки и, глядя на ноги и на пол, включил вспышку. Затем я встал, продолжая смотреть вниз. Моментальное остаточное изображение показывало, что моя голова находится вблизи ног, а между тем я стоял.

Поменяв последовательность действий, я получил не менее обескураживающий результат. Стоя прямо, я посмотрел вниз и в этот момент включил лампу-вспышку. Прежде чем появилось остаточное изображение, я присел на корточки. Различие между тем, что я видел, и тем, что чувствовал, было поразительным.

Включая лампу-вспышку дважды на протяжении нескольких секунд, мне удавалось получить наложение двух моментальных остаточных изображений. В одном случае я сначала включил свет, держа руку прямо перед глазами, затем сразу же вытянул ее и снова включил свет. На появившемся изображении рука была видна сразу в двух положениях. Очевидно, что обе руки были моими, но и то и другое изображение было одинаково бессмысленным, поскольку в этот момент моя рука была опущена. В другом случае, вытянув руку перед собой, я включил лампу-вспышку дважды: один раз, когда ладонь была повернута ко мне, другой — когда ладонь была повернута от меня. Изображение показало удивительную руку с десятью пальцами, пять из которых были загнуты в одну сторону, а

другие пять — в противоположную.

После этого я сел, закинув правую ногу на левую. Нагнув голову, я осветил ноги вспышкой, быстро поменял их местами и опять включил лампу-вспышку. На получившемся изображении одна нога была вытянута вправо, а другая — влево.

Свойство моментальных остаточных изображений накладываться друг на друга позволяло «остановить» движущийся предмет. Выпустив из руки монету, я дважды, пока она падала, включал лампу-вспышку. На остаточном изображении монета была видна в двух положениях.

Что получится, подумал я, если наложить друг на друга остаточные изображения, увиденные каждым глазом по отдельности? Сначала я включил лампу-вспышку, оставив открытым только левый глаз, потом закрыл его, открыл правый и опять включил вспышку. В результате получилась суперпозиция двух изображений.

Если я двигал головой в промежутке между вспышками, картина обычно получалась слишком беспорядочной, чтобы ее можно было детально рассмотреть. Иногда, впрочем, удавалось получить два изображения, которые почти сливались, давая слабый стереоскопический эффект. Нормальное стереоскопическое зрение позволяет правильно воспринимать глубину пространства, поскольку расстояние между глазами постоянно. В моих экспериментах это расстояние как бы менялось, что приводило к различно-



Изменение позитивного остаточного изображения в зависимости от интенсивности освещения

му восприятию глубины пространства.

В опытах с различными фильтрами, сделанными из целлофана, я хотел выяснить, как влияет цвет на моментальное остаточное изображение. Я оборачивал лампу-вспышку в цветной целлофан, но с тем же успехом мог и просто смотреть через фильтр. С зеленым или синим фильтром изображение получалось четкое, а с красным было тусклое и быстро исчезало или вообще не появлялось.

Затем я перешел к изучению открытых Бидуэллом ореолов, возникающих за движущимися пятнами света. Быстро перемещая перед глазами маленький предмет оранжевого цвета, я сохранял взгляд неподвижным. С явной задержкой появлялось тусклое синее пятно, которое двигалось по той же траектории, что и оранжевое, и сливалось с ним после того, как последнее останавливалось. Позади пятна-ореола возникал слабо светящийся след (скорее всего, тоже синий, хотя в этом я не уверен), который был виден в течение нескольких десятков секунд. Если оранжевый светлячок выписывал замысловатые кривые, то запаздывающий ореол двигался точно так же, причем вся его траектория слегка светилась.

Если бы существование ореола объяснялось только инерционностью зрения, то он появлялся бы одновременно с самим светящимся объектом, оставляющим за собой светящийся след. Поскольку это не так, можно заключить, что ореол представляет собой остаточное изображение. Когда пятно света перемещается перед моими глазами, его образ на сетчатке «пробегает» по тем фоторецепторам,

на которые свет еще не попадал. Кратковременное попадание на них света приводит к появлению — но только с небольшой задержкой — остаточного изображения. Если же вы станете следить взглядом за светящимся объектом, освещены будут одни и те же фоторецепторы, и запаздывающий ореол не появится перед вашими глазами.

Вернувшись к опытам с лампой-вспышкой, я начал с того, что осветил страницу с напечатанным текстом, закрыв левый глаз. При этом я старался смотреть на левый край страницы. Когда остаточное изображение появилось, я, глядя уже обоими глазами, заметил, что левый край изображения слабее остальной его части. Дело здесь, по-видимому, вот в чем. При нормальных условиях сетчаточный образ края страницы попал бы на центральную ямку, плотно заполненную фоторецепторными клетками, называемыми колбочками. Палочек же — фоторецепторов другого типа — в этой области нет. Поскольку моментальное остаточное изображение той части страницы, на которой был сфокусирован глаз, оказалось ослабленным, я пришел к заключению, что в мозгу представление об остаточном изображении возникает при возбуждении палочек.

На остаточных изображениях должна быть еще одна нечеткая область. Как известно, в поле зрения глаза есть так называемое «слепое пятно». Его существование объясняется тем, что в том месте сетчатки, от которого отходит глазной нерв, нет фоторецепторов, поэтому попавшее сюда изображение не может быть передано в мозг. Когда человек смотрит обоими глазами, слепое пятно он не замечает, поскольку ту часть объекта, которую не воспринимает один глаз, видит другой. Я ожидал, что, если посмотреть одним глазом на освещаемую вспышкой страницу, то на остаточном изображении напротив моего виска появится размытая область. Мне кажется, что в некоторых случаях так оно и было, но утверждать это наверняка не могу.

Иногда я использовал вместо лампы-вспышки обычный стробоскоп, настроенный на низкую частоту вспышек. После одной или двух вспышек я выключал стробоскоп, чтобы увидеть получившееся остаточное изображение. (Если вы захотите повторить эти опыты, не забудьте, что смотреть прямо на стробоскоп нельзя: свет может оказаться настолько ярким, что вы повредите себе зрение. Если же у вас от ярких вспышек начинает болеть голова, то лучше вообще не пользоваться стробоскопом.)

Используя стробоскоп, я провел еще один эксперимент. С помощью

лампы-вспышки я получил моментальное остаточное изображение. Затем закрыл глаза и примерно на полминуты включил стробоскоп. Свет от каждой вспышки стробоскопа проходил через мои веки, создавая рассеянный красный фон (объясняемый тем, что веки пронизаны множеством кровеносных сосудов). На этом фоне я видел негативное изображение обстановки, которую до этого осветил лампой-вспышкой. Я был удивлен, обнаружив, что после того, как я выключил стробоскоп, моментальное остаточное изображение держалось намного дольше обычного.

Дополнительные опыты подтвердили, что такой метод позволяет продлить существование моментального остаточного изображения. Я не знаю, почему это происходит, но могу предложить следующие объяснения. Первое — под влиянием проходящего сквозь веки рассеянного света могли усиливаться химические изменения в сетчатке, вызванные первоначальной вспышкой, и соответственно эффект сохранялся дольше. И второе — то, что я видел после выключения стробоскопа, могло быть остаточным изображением, обратным негативному, которое в любом случае должно было появиться. Поскольку изображение, обратное негативному, является позитивным, после выключения стробоскопа я наблюдал моментальное остаточное изображение.

Из классических экспериментов с другими разновидностями остаточных изображений известно, что восприятие наблюдателем размеров остаточного изображения предмета может меняться, если меняется восприятие расстояния до предмета. Допустим, наблюдатель видит, что предмет в его поле зрения имеет угловой размер 1° . Заключение о размерах предмета частично опирается на оценку расстояния до этого предмета. Если имеется достаточно оснований считать, что предмет находится далеко, то наблюдатель решает, что он должен быть большим. Если же какие-либо признаки показывают, что предмет находится близко, наблюдатель заключает, что он должен быть маленьким.

Мне удалось получить некоторое представление о том, как подобные признаки могут влиять на восприятие размеров предмета, видимого на моментальном остаточном изображении. Для этого я проделал следующий опыт: сначала в полутемной комнате осветил вспышкой консервную банку, а затем поместил перед глазами лист бумаги. Моментальное остаточное изображение банки наложилось на еле заметную плоскость листа. Когда я отодвигал лист от себя, мне казалось, что банка слегка увеличивается



Ореол Бидуэлла

в размерах. Сложность этого опыта состояла в том, что я непроизвольно стремился фокусировать свой взгляд на листе, а малейшее движение глаз стирало остаточное изображение.

Результаты других опытов с ментальным остаточным изображением позволяют предположить, что аналогичная неоднозначность в определении размеров предмета может проявляться и в полной темноте. Такой эффект должен, вероятно, возникать, если наблюдатель отводит невидимую в темноте ладонь от лица на расстояние вытянутой руки. Я полагаю, что в этом опыте человек должен воспринимать ладонь как плоскость зрения остаточного изображения, несмотря то, что он не видит ладонь, а может только чувствовать, где она находится. Мне, однако, не удалось добиться в своих экспериментах такого ощущения.

Недавно изучением позитивного остаточного изображения, возникающего после короткой вспышки света, занялся Э. Эдельсон, сотрудник Исследовательского центра им. Дэвида Сарноффа компании RCA. В своей работе Эдельсон опирался на результаты, полученные независимо Б. Сэкинтт из Массачусетского технологического института и У. Джейслером из Техасского университета в Остине. Эдельсон пришел к выводу, что остаточное изображение возникает в результате возбуждения палочек сетчатки. В его экспериментах привыкший к темноте наблюдатель смотрел на зеленый квадрат, помещенный в красном круге. Вспышка длилась 0,01 с. Угловые размеры квадрата в поле зрения наблюдателя составляли $4,5^\circ$, угловые размеры круга — 11° . Весь рисунок был смещен примерно на 15° в сторону от линии взгляда наблюдателя, благодаря чему образ рисунка не попадал в центральную ямку на сетчатке.

Характер остаточного изображения зависел от интенсивности света. Результаты этого эксперимента представлены на рисунке на с. 83. Последовательность изображений в верхнем ряду характерна для слабого освещения. В этом случае квадрат появлялся сразу же, как только гасла вспышка, и остаточное изображение быстро исчезало. При освещении средней интенсивности (рисунки во втором ряду) квадрат появлялся с незначительной задержкой. В этом случае остаточное изображение сохранялось дольше.

В случае с сильным освещением (нижний ряд) проходило несколько секунд, прежде чем квадрат появлялся на фоне круга. Остаточное изображение сохранялось дольше, чем в предыдущих случаях. Таким образом, чем ярче вспышка, тем с большим запо-



Изменения наблюдаемых размеров предмета на остаточном изображении

зданием наблюдатель получает возможность различить отдельные детали остаточного изображения, и тем дольше сохраняется остаточное изображение.

Эдельсон также обнаружил, что в тот момент, когда квадрат появлялся на фоне круга, изображение обоих объектов становилось более четким. Сам я также наблюдал все эти эффекты в опытах с моментальными остаточными изображениями обложки и страниц журнала.

Эдельсон попытался объяснить, как происходит насыщение системы палочек при освещении их яркой вспышкой. Согласно его гипотезе, попадание света на наружный сегмент палочки вызывает химические реакции, в результате которых образуется вещество, блокирующее поток ионов натрия через клеточную мембрану в этой части палочки. Когда проницаемость мембраны для ионов натрия

падает до минимума, амплитуда импульсов, посылаемых клеткой в мозг наибольшая, т.е. сигнал максимален (говорят, что произошло насыщение фоторецептора). Дополнительное освещение в этом случае уже не приводит к усилению сигнала.

Следовательно, первоначальная вспышка может привести к насыщению системы палочек, так что сигнал от них, возникший при восприятии квадрата, окажется равным сигналу, соответствующему восприятию фона. По мере того как сигналы ослабевают, их интенсивности становятся различными, а это позволяет наблюдателю увидеть квадрат на фоне круга. При большой интенсивности вспышки система палочек дольше остается в состоянии насыщения, поэтому квадрат появляется позже.

В другой серии экспериментов Эдельсон изучал влияние цвета предмета на его позитивное остаточное



Красное пятно света, на котором фиксируется взгляд наблюдателя



Схема опытов Д. Кригмана и И. Бидермана

изображение. Цвет квадрата менялся, в то время как фон оставался оранжево-красным. Для каждого варианта цвета квадрата наблюдатель подбирал его яркость такой, чтобы на остаточном изображении квадрат был едва виден на фоне круга. Когда по результатам эксперимента был построен график зависимости этой подбираемой яркости от длины волны света, соответствующей цвету квадрата, оказалось, что он совпадает с графиком зависимости чувствительности палочек от длины волны света. Эти опыты еще раз подтвердили, что за формирование остаточного изображения ответственные палочки.

Эдельсон провел также серию опытов, в которых цвет фона менялся, а квадрат оставался зеленым. На этот раз наблюдатель изменял яркость фона до тех пор, пока на остаточном изображении еще можно было различить квадрат. Построенный затем график вновь оказался таким же, как и график зависимости чувствительности палочек от длины волны света.

Остается невыясненным вопрос о том, ответственны ли также палочки за образование ореола позади движущегося пятна света. Я думаю, что ответственны, хотя цвет ореола вызывает у меня некоторое недоумение.

Возможно следующее объяснение этого феномена. Окрашивание ореола может возникать за счет того, что во время формирования остаточного изображения палочки искажают сигнал, несущий информацию о цвете, который поступает от колбочек (палочки в отличие от колбочек не реагируют на цвет). Явление, подмеченное Бидуэллом, а именно то, что при освещении диска с отверстием красным светом ореол не образуется, можно объяснить, предположив, что палочки под действием красного света не возбуждаются. Иными словами, красный свет не вызывает в палочках тех химических реакций, которые в конечном счете и служат причиной образования ореола.

При освещении любым другим светом происходит возбуждение палочек и в результате формируется остаточное изображение. Из-за активности палочек частично подавляется сигнал, идущий от возбужденных колбочек и несущий информацию о цвете. При этом в мозг поступает сигнал о том, что колбочки будто бы восприняли цвет, дополнительный цвету освещения.

Предположим, мы освещаем объект желтым светом. Он возбуждает палочки и те колбочки, которые реагируют на желтый цвет. Примерно через 0,2 с формируется остаточное изображение. Вследствие активности палочек сигнал о наличии желтого цвета подавляется. В результате в

мозг посылается сигнал о наличии синего цвета, который дополнителен желтому, и ореол получается синий. Такая едва различимая окраска должна исчезать при насыщении палочек, которое имеет место при возникновении моментального остаточного изображения. Для проверки своей гипотезы я наблюдал, образуется ли ореол за оранжевым пятном сразу после того, как возникает моментальное остаточное изображение. Я видел оранжевое пятно, но никакого ореола не было.

Недавно Д. Кригман и И. Бидерман из Университета шт. Нью-Йорк в Буффало исследовали вопрос о том, насколько эффективно воспринимается информация, содержащаяся в моментальном остаточном изображении. Давно известно, что если наблюдатель при нормальном освещении бросит быстрый взгляд на экран с двенадцатью буквами, он может затем назвать только три или четыре из них. Остальные буквы не воспринимаются, поскольку их зрительный образ быстро исчезает, а память не может их удержать.

Кригман и Бидерман поставили эксперимент, целью которого было выяснить, не увеличится ли число правильно названных букв при следующих условиях: испытуемый сначала привыкает к темноте, а затем при вспышке света смотрит на освещенный набор символов. Яркость вспышки менялась с помощью нейтральных светофильтров, помещенных перед лампой-вспышкой.

Четырнадцать символов, в число которых входили согласные буквы и цифры, были напечатаны на чистом листе. Испытуемый произносил названия символов в микрофон, подключенный к магнитофону. Чтобы исключить двусмысленность в произношении, в набор не были включены гласные и буква Y. Буквы G, Q и цифра ноль также были исключены из-за их внешнего сходства. Наконец, буква В была исключена из-за того, что она произносится почти так же, как Р.

Предъявлявшиеся символы были напечатаны в три ряда. В среднем ряду было четыре символа, в верхнем и нижнем — по пять. Испытуемый должен был фиксировать свой взгляд на тусклом красном пятнышке в середине второго ряда, которое создавалось маленькой лампочкой, помещенной позади листа.

В эксперименте участвовало шесть человек. Находясь на расстоянии примерно 30 см от экрана, испытуемый ожидал около 12 мин, пока его глаза не адаптируются к темноте. Затем с интервалом в 30 с начинали включать лампу-вспышку, после каждой вспышки испытуемый должен был назвать символы. Первые десять попы-

ток в серии и первые три попытки с каждым новым фильтром были тренировочными. Каждый участник делал по пятьдесят попыток (не считая тренировочных). В одних сериях вначале ставился самый темный фильтр, а затем яркость света увеличивалась, в других наоборот.

Наилучшие результаты были получены при самом ярком освещении. В тех сериях, которые начинались с установки самого темного фильтра, результаты были лучше, чем в других сериях. При самом светлом фильтре среднее число правильно названных символов составляло 12,4 (из 14). В девяти попытках при максимальном освещении испытуемые смогли назвать все символы. (Надо, конечно, учитывать, что они постепенно запоминали набор символов.)

Ясно, что для уверенного и полного перечисления символов необходима определенная тренировка. Во-первых, нужно сохранять постоянное направление взгляда, иначе остаточное изображение исчезает. Во-вторых, нельзя обращать внимание на изменение освещенности экрана, поскольку это мешает читать символы. При полной концентрации внимания испытуемые могли разобрать символы на остаточном изображении даже в том случае, когда они почти не видели их во время вспышки света.

Взявшись повторить эксперимент Кригмана и Бидермана, я заметил, что на остаточном изображении буквы читаются весьма странным образом. Как известно, человек обычно читает текст, скользя взглядом вдоль строки. Однако при чтении остаточного изображения я был вынужден смотреть в одну точку, поскольку иначе картина сразу исчезла бы. Я так и не понял, как же мне удавалось читать буквы, не глядя прямо на них. По-видимому, я сначала осмысливал изображение в целом, а уже затем начинал различать отдельные символы. Вместо того чтобы «переключать» взгляд, я переключал свое внимание на отдельные участки изображения.

Ореолы Бидуэлла заслуживают дальнейшего изучения, поскольку на многие связанные с этим явлением вопросы пока не получены окончательные ответы. На самом ли деле запаздывающий ореол имеет ту же природу, что и моментальное остаточное изображение? Чем объяснить цвет ореола? Почему моментальное остаточное изображение получается черно-белым? Почему оно ослабевает или совсем исчезает при сколь угодно заметных движениях глаз? Почему оно существует дольше в том случае, когда на глаза падает рассеянный мерцающий свет? Я буду рад узнать от вас что-нибудь новое об этих явлениях.

Наука и общество

Земля движется

СОГЛАСНО теории тектоники плит, литосфера — оболочка примерно 100-километровой толщины, состоящая из земной коры и верхней части мантии, — разделена на жесткие плиты, находящиеся в постоянном движении. Эти плиты расходятся от срединно-океанических рифтов, где поднимающийся из глубин мантийный материал наращивает литосферную плиту со стороны ее «влекомого» края; одновременно в сотнях километров от рифта «ведущий» край плиты погружается в глубины Земли в сейсмически активной области, которую называют зоной субдукции.

При анализе этой картины возникают два важных вопроса. Почему новые рифты, рассекающие цельную плиту надвое и дающие начало новой океанической впадине, почти всегда развиваются на суше, а не в существующем уже океане? Чем объяснить тот факт, что сейсмическая активность меняется от одной зоны субдукции к другой? В статьях, опубликованных журналом "Journal of Geophysical Research", геофизики из Принстонского и Станфордского университетов и из Международного института сейсмологии и сейсмостойкого строительства (в Японии) дают на эти вопросы весьма убедительные ответы.

Исследователи из Принстона — Г. Винк, У. Морган и Чжао Вулинь — обнаружили, что рифты образуются на материках чаще, чем в океанических впадинах, поскольку прочность континентальной литосферы на рас-

тяжение сравнительно мала. Подобно сэндвичу с джемом, континентальная литосфера имеет два прочных слоя и ослабленную зону между ними. Эта удивительная структура возникает потому, что во внешних слоях коры, где породы довольно хрупкие, прочность зависит от давления и соответственно возрастает с глубиной. На глубине около 13 км картина меняется: высокая температура размягчает породы, и их прочность резко падает.

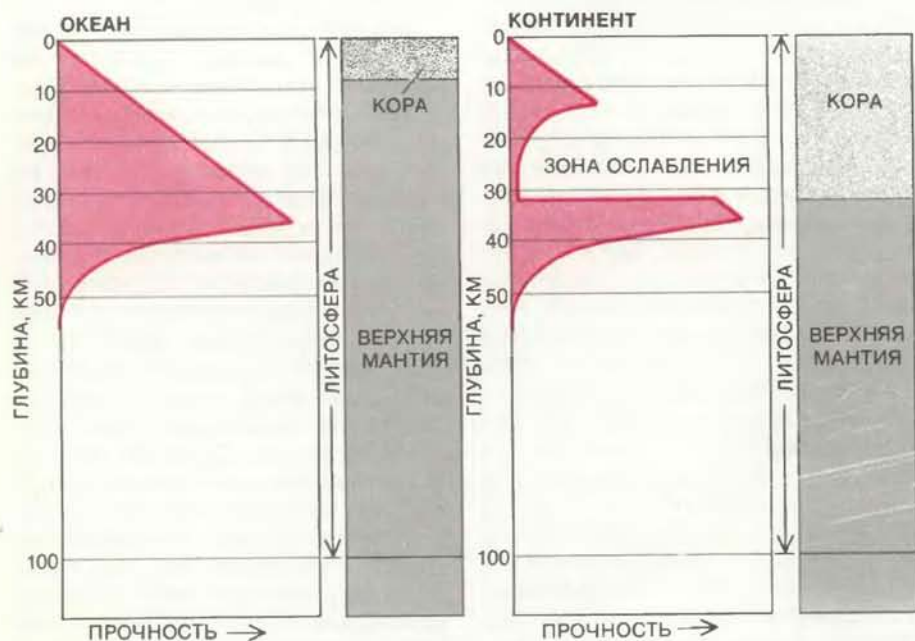
Под этой ослабленной зоной, примерно на глубине 30 км, на границе континентальной коры состав горных пород изменяется и становится характерным для верхней мантии. Поскольку мантийные породы остаются хрупкими и прочными даже при высоких температурах, прочность литосферы в этой области снова возрастает.

В океанической литосфере граница мантийных пород располагается на значительно меньших глубинах (как правило, 5—10 км). Соответственно, океаническая литосфера не имеет промежуточного ослабленного слоя и ее прочность непрерывно возрастает до глубины 30—45 км.

В конце своего дрейфа литосферная плита, образовавшаяся в рифте, «ныряет» под другую плиту. Сцепление между погружающейся и надвигающейся плитами часто порождает напряжения, приводящие к землетрясениям. Можно было бы ожидать, что сила взаимодействия между плитами и сейсмическая активность будут зависеть от скорости сближения плит, но Э. Питерсон из Станфорда и Т. Сэно из Международного институ-

та сейсмологии и сейсмостойкого строительства не смогли обнаружить такой связи.

Вместо этого из их данных следует, что в пределах одной и той же погружающейся плиты сейсмичность оказывается сильнее всего на тех участках, где эта плита наиболее молода. Авторы указывают, что более старая литосфера, у которой было больше времени, чтобы остыть после своего вулканического рождения, становится плотнее и без труда погружается в мантию. Вследствие этого сцепление между сближающимися плитами, согласно гипотезе Питерсона и Сэно, ослабевает, так что уменьшается и энергия, высвобождающаяся в виде землетрясений.



Зависимость прочности литосферы от глубины

Издательство
МИР
предлагает:

С. Кейслер
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ
ДЛЯ МАЛЫХ ЭВМ**

Перевод с английского

Рассматриваются методы проектирования операционных систем многоуровневого управления малыми вычислительными машинами, предназначенными для использования в автоматизированных комплексах управления производственными процессами или в качестве персональных компьютеров. Описываются основные блоки операционной системы, указывается их назначение. Большое внимание уделено взаимодействию операционных систем с пользователем. Изложение сопровождается многочисленными примерами.

Для специалистов, работающих в области создания программного обеспечения мини- и микро-ЭВМ.

1986, 39 л. Цена 3 р. 10 к.

Предварительные заказы на эту книгу принимаются магазинами научно-технической литературы с апреля 1985 г.



Занимательный компьютер

Программы-эксперты сражаются с чудовищами в Подземелье Обреченных и одерживают победу

А. К. ДЬЮДНИ

ЕЖЕГОДНО тысячи людей «погибают» в Подземелье Обреченных, играя в «Бродягу» (Rogue) — одну из компьютерных игр нового поколения. На экране дисплея игрок видит карту подземелья и управляет действиями своего персонажа по имени Бродяга, участвующего в приключениях. Цель игры заключается в том, чтобы суметь пробраться вниз через 26 уровней подземелья, захватить амулет Йендора и благополучно вернуться на поверхность, по пути подбирая драгоценности и убивая чудовищ или спасаясь от них. Немногие играющие возвращаются «живыми», пройдя через все опасности этой подземной одиссеи, не говоря уже о том, чтобы добыть амулет.

Игра эта настолько захватывающая, что человек забывает о дисплее и клавиатуре. Вжившись в роль Бродяги, я приближался ко входу в подземелье с чувством тревожного возбуждения. Была ночь, и мрачные развалины старинных строений, около которых находился вход, наводили страх и сеяли недоброе предчувствия. Чтобы быть готовым к любым неожиданностям, я достал свою волшебную палицу, лук и колчан со стрелами, похищенные из сокровищницы дракона в далеких Темных Горах, надел доспехи, сделанные эльфами, взял провиант и, держа наизготове свое оружие, ступил в адскую темноту лестницы, ведущей в подземелье.

Спуск уже начал казаться мне бесконечным, когда я наткнулся на тяже-

лую дубовую дверь и осторожно отворил ее. Передо мною открылось первое помещение на верхнем уровне Подземелья Обреченных. Оно было тускло освещено свечами. Чувствуя опасность, я все же вышел на середину зала, чтобы лучше осмотреться. Внезапно пол подо мной провалился, и в течение секунд я испытывал головокружительное чувство падения, а затем больно ударился, приземлившись в другом помещении. Здесь темно, как в чернильнице, и, даже привикнув к темноте, можно видеть лишь на расстоянии нескольких шагов. В зале послышался какой-то подозрительный шум. Похолодев от страха, поднимаюсь на ноги и тут же вижу перед собой низкорослое, облаченное в устрашающие доспехи существо, сжимающее в руке огромную булаву.

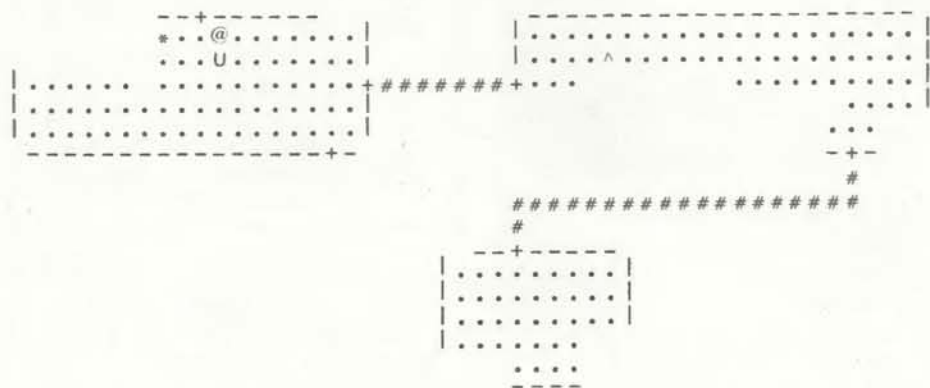
Когда это чудовище подняло оружие, чтобы нанести удар, я вышел из оцепенения, заправил в лук стрелу, натянул тетиву и выстрелил. Все это было сделано в одно мгновение. (К счастью, в институте, уже на последнем курсе, я занимался в секции стрельбы из лука.) Слышно было, как взвизгнула отпущенная тетива, затем — свист стремительно пронесшейся стрелы и удар, от которого гoblin (им оказалось напавшее на меня существо) с пронзительным криком повалился на пол, корчась в бессильной ярости. Осторожно отступая, полный решимости найти лестницу, ведущую вверх, и уйти прочь из Подземелья Обреченных. Вспоминаю об

уютном доме, о письменном столе с неоконченной рукописью очередной статьи для рубрики «Занимательный компьютер».

Медленно двигаясь в направлении, в котором, как мне казалось, находилась лестница, внезапно спотыкаюсь о грудку камней. Под ногами вижу в темноте что-то блестящее. Золото! А не заглянуть ли еще в одну комнату, прежде чем выйти на поверхность?

«Бродяга» — это не только игра, полная острых ощущений. Она выходит за рамки обычных приключенческих игр. Во-первых, потому, что игровые декорации в ней порождаются самой программой и меняются от партии к партии. Во-вторых, программа дает игроку схему данного уровня уже исследованной им части подземелья (см. рисунок внизу). Детали обстановки изображаются на экране при помощи букв и знаков, имеющих на клавиатуре. Например, дефис и вертикальная черта используются для обозначения стен, пробел и знак % соответствуют проходам и лестницам, плюс — это вход, а знак ^ — западня. Обстановка в помещении может быть видимой или невидимой в зависимости от того, освещено ли помещение. Когда Бродяга впервые попадает на какой-либо уровень подземелья, на экране нет никакой информации об этом уровне. Чтобы те или иные элементы окружающей обстановки появились на экране, Бродяга (представляемый на экране символом @) должен их «открыть». Для этого он начинает исследовать обстановку, натывается на западни, обыскивает углы в различных помещениях и проходит по коридорам. Он может встретиться с буквой U, которая обозначает чудовище по имени Коричневый Громила.

В нижней части экрана, под схемой игровой обстановки, изображенной символами клавиатуры, высвечиваются показатели, которые имеет Бродяга в данный момент. Бродяга находится на 25-м уровне подземелья, он набрал 7730 золотых монет, у него 77 очков (из которых осталось только 25; остальные сняты за полученные им самим ранения — штрафные очки), его сила соответствует 15-й степени (высшая степень равна 18), на нем доспехи 9-го класса, а его опыт, выраженный в очках, достигает 30 668 — показатель, достаточный для того, чтобы присвоить ему очень высокий, 13-й разряд по опыту. Поскольку Бродяга находится уже на 25-м уровне подземелья, ему осталось спуститься лишь еще по одной лестнице, чтобы достичь самого нижнего уровня и попытаться захватить заветный амулет Йендора. Однако для этого Бродяге надо еще каким-то образом избавиться от Коричневого Громила.



25-й уровень Подземелья Обреченных

Пока мы говорили лишь о внешней стороне игры. Можно было бы написать целую книгу, содержащую правила игры и советы начинающим. В настоящее время единственным руководством для играющих может служить довольно сжатая статья на восьми страницах, выпущенная Калифорнийским университетом в Беркли (см. библиографию на с. 100). Написанный М. Тоем и К. Арнольдом «Путеводитель по Подземелью Обреченных» на самом деле предназначен для тех, кто пользуется операционной системой с разделением времени VAS-UNIX. Версию «Бродяги» для персонального компьютера фирмы IBM выпускает фирма A. I. Design. Создатели игры Той и Арнольд, очевидно, считают, что лучший способ научиться игре — это играть в нее. Тем не менее общее описание игры, наверное, было бы полезно. Из приведенного ниже анализа некоторых игровых ситуаций и структуры используемых программ читателю, возможно, станут понятнее и правила игры и возможности разнообразить ее.

На каждом уровне игровое пространство поделено на клетки. Бродяга всегда находится в какой-то одной клетке и исследует ее окрестности. Играющий управляет передвижениями своего персонажа по помещениям и проходам, набирая на клавиатуре буквы, такие, как *h, j, k* и *l*, соответствующие перемещению Бродяги на одну клетку в одном из четырех главных направлений. Существуют и другие команды управления движением, такие, как команда перемещения по диагонали или продолжительного перемещения в заданном направлении. Чтобы Бродяга поднимался или спускался по лестнице, игрок должен нажимать на клавиши со знаками *<* или *>*.

Когда в одной из соседних клеток Бродяга обнаруживает какой-нибудь предмет, он переходит в эту клетку и автоматически «подбирает» его. Если же играющий хочет попасть в клетку, где находится предмет, и не подбирать его, то перед тем, как задать соответствующую команду на перемещение, нужно нажать на клавишу *m*. Можно также заставить Бродягу заняться поиском западни, набрав на клавиатуре букву *s*. По этой команде он осмотрит все соседние клетки. Однако следует учесть, что вероятность обнаружения западни при таком поиске составляет только 20%, поэтому не нужно терять бдительности.

Время от времени Бродяга должен отдыхать (знак «точка») или есть (буква *e*), чтобы восстановить силы, растроченные в блужданиях по подземелью и в борьбе с чудовищами. Кроме ограниченного запаса еды в рюкзаке, у Бродяги нет больше ничего съес-

@	Бродяга	h	ход на одну клетку к западу
-l	стены помещений	j	ход на одну клетку к югу
#	проходы между помещениями	k	ход на одну клетку к северу
.	пол	l	ход на одну клетку к востоку
%	лестница	>	спускаться по лестнице
^	западня	<	подниматься по лестнице
)	оружие	m	не брать предмета
]	доспехи	s	искать западню
*	золото	^	определить вид западни
!	фляжка с напитком	·/e	отдыхать/есть
?	волшебный свисток	W/T	надеть/снять доспехи
:	еда	P/R	надеть/снять кольцо
/	волшебная палочка	d	выбросить предмет
=	волшебное кольцо	q	выпить напиток
A—Z	буквы верхнего регистра обозначают обитателей подземелья	r	прочитать свиток
		z	махнуть волшебной палочкой
		t	бросить что-нибудь
		w	взмахнуть оружием
		f	биться насмерть

Команды и их обозначения, принятые в игре «Бродяга»

тного, за исключением того, что он может найти на полу подземелья (правда, это не всегда съедобно).

Если найден какой-нибудь предмет, относящийся к доспехам, Бродяга может подобрать его (после чего предмет автоматически попадает в рюкзак) или надеть на себя (буква *W*). Доспехи, разумеется, дают Бродяге дополнительную защиту в бою, однако может оказаться, что на них лежит «заклинание». В этом случае попытка снять их (буква *T*) окажется бесполезной, пока не будет найден волшебный папирус, при помощи которого можно избавиться от заклинания. Когда Бродяга находит какое-нибудь волшебное кольцо, он может надеть его (буква *P*), а потом снять (буква *R*), если только на нем не окажется заклинаний.

Иногда Бродяге приходится выбросить фляжку или парочку свитков (для этого надо набрать букву *d*, а затем букву, обозначающую выбрасываемый предмет), потому что рюкзак переполнен. (Когда рюкзак полный, Бродяга не может брать найденные доспехи.) Однако, прежде чем выбросить фляжку, Бродяга может выпить ее содержимое, которое ему неизвестно: некоторые напитки оказываются целебными, а другие позволяют Бродяге увидеть Невидимое Чудовище. Среди напитков есть и такие, которые могут вызвать потерю ориентации: если Бродяга выпьет такой напиток и ему будет дана команда переместиться, например, к северу, он пойдет в другом, случайном направлении. Точно так же, прежде чем избавиться от свитка, полезным может оказаться его прочесть (буква *r*): свиток может содержать формулу, которая поможет снять заклинание с доспехов.

Наиболее впечатляющий волшебный предмет, которым может располагать Бродяга, — это волшебная палочка. В зависимости от типа подоб-

ранной волшебной палочки Бродяга может тем или иным образом подействовать на чудовище (чтобы оказать это воздействие, на клавиатуре следует нажать клавишу с буквой *z*): переместить его в другое, произвольное выбранное место, стрелять в него огненными шарами или превратить его в другое чудовище. Палочкой этого последнего типа, называемой палочкой Полиморфа, лучше всего пользоваться против самого ужасного чудовища. Например, лучше превратить страшного Огненного Змея в летучую мышь, чем наоборот.

Когда Бродяга встречается с чудовищем, иногда его лучше не трогать. Чудовище может спать и не нападет, если его не беспокоить. Если же схватка кажется неизбежной, то нужно взмахнуть оружием (нажав клавишу с буквой *W*) и затем «сражаться насмерть» (буква *f*). Но это можно сделать, только подведя Бродягу вплотную к чудовищу. Исход схватки будет определяться вероятностно, в зависимости от таких факторов, как сила, которой обладает Бродяга на данный момент, его опыт и «класс» доспехов.

Наибольших успехов среди играющих в «Бродягу» добилась компьютерная программа, разработанная четыре года назад. Она не уступает лучшим игрокам в охоте за амулетом и золотом и предоставляет нам заманчивую возможность проследить стратегию системы, демонстрирующей высший класс игры.

В одном из сеансов игры, проводившейся в 1984 г. в Техасском университете в Остине, Бродяга, управляемый программой, справился со всеми чудовищами, собрал значительное количество золота и вернулся с амулетом. Эта программа, называемая ROG-O-MATIC, руководила каждым шагом Бродяги, каждой паузой, каждым броском и ударом.

ROG-O-MATIC — творение выпускников факультета вычислительной техники Университета Карнеги—Меллона в Питтсбурге А. Эппеля, Л. Хэйли, Г. Джейкобсона и М. Молдина. Программа связывает встроенные источники знаний с экспертными системами для того, чтобы принимать решения в той или иной ситуации, которая может сложиться в подземелье.

Когда в «Бродягу» играет человек, команды, набираемые им на клавиатуре, переносятся в программу ROGUE операционной системой. Программа автоматически решает, с каким чудовищем должен встретиться Бродяга в следующий момент, какой должна быть обстановка на следующем уровне подземелья и т.д. Программа передает эти данные (опять-таки с помощью операционной системы) на экран, чтобы информировать игрока о текущей ситуации.

Заменив в игре человека, программа ROG-O-MATIC посылает свои собственные команды программе ROGUE, которая воспринимает их точно так же, как если бы они были набраны на клавиатуре. ROGUE понятия не имеет (если можно так выразиться), что с ней играет другая программа. Аналогичным образом информацию, отправляемую программой ROGUE на экран дисплея, перехватывает программа ROG-O-MATIC и по ней строит свою собственную карту Подземелья Обреченных.

Программа ROG-O-MATIC состоит из 12 тыс. операторов языка программирования С. Она объемнее и сложнее программы ROGUE. Первоначально Эппель и Джейкобсон, приступив к разработке программы в 1981 г., рассчитывали сделать ее простой. Однако вскоре, после того как к ним присоединился Молдин, исходная версия программы, играющей в «Бродягу», подверглась многочисленным и серьезным модификациям,

и каждая ее новая версия все больше совершенствовала тактику и стратегию игры. К тому времени, как в работу по созданию программы включился Хэйли, четвертый член группы, авторы, наконец, осознали, что, по существу, они создали экспертную систему. Такие системы будут представлять собой основное звено в компьютерах пятого поколения, производство которых, как ожидают, должно начаться в конце 80-х годов. Экспертная система должна будет заменить профессиональные познания человека и его творческую деятельность в различных областях, от медицины до технического конструирования.

Использование программной архитектуры, присущей экспертным системам, облегчало создателям программы ROG-O-MATIC ее построение и модифицирование. В частности, запас необходимых знаний и игровые приемы, используемые Бродягой, они организовали в виде иерархической структуры, состоящей из различных подсистем (см. рисунок внизу).

Например, подсистема-эксперт высокого уровня под названием *Melee* (рукопашная) управляет схваткой, когда Бродяга вступает в бой, а другой эксперт высокого уровня — *Target* (мишень, цель) направляет Бродягу, когда он преследует чудовищ. Оба этих эксперта прибегают к услугам эксперта более низкого уровня *battle* (бой), который реализует тот или иной вид атаки или инициирует отступление, если этого требуют обстоятельства. Таким образом эксперт боя обращается иногда за помощью к эксперту *retreat* (отступление), а тот в свою очередь неизменно черпает необходимые данные у «источника знаний» *pathc*. Здесь действует специальный алгоритм, исследующий окрестности в поисках кратчайшего пути к указанной цели. Вообще существует немало алгоритмов для поиска кратчайшего пути, и в нашем частном слу-

чае нужен лишь самый быстрый; он почти все время используется, когда программа ROG-O-MATIC исследует Подземелье Обреченных. Знания об окружающей обстановке, используемые в источнике *pathc*, поступают из другого источника — *termap* (карта местности), представляющего собой, по существу, структуру данных, куда записываются все сведения о месте, полученные к данному моменту Бродягой в ходе его поисков на данном уровне подземелья. Наконец, информация, содержащаяся в источнике *termap*, поступает в него из структуры данных нижнего уровня *sense* (восприятие), хранящей все относящиеся к этому источнику выходные данные программы ROGUE.

Прежде чем перечислить функции, выполняемые остальными экспертами и источниками знаний, рассмотрим несколько подробнее, как действует уже упомянутый эксперт боя *battle*. Когда начинается бой, эксперт рукопашной схватки *Melee* обращается к эксперту боя, чтобы тот решил, атаковать или отступить. Так как осторожность всегда сопутствует храбрости, эксперт боя сначала рассматривает, насколько желательным и возможным является отступление. Для этого нужно проверить, выполнены ли некоторые важные условия:

1. Бродяга не должен в данный момент находиться под воздействием напитка, нарушающего ориентацию (иначе он может побежать прямо на чудовище).

2. Попытка отступления будет бессмысленной, если чудовище уже захватило и держит Бродягу.

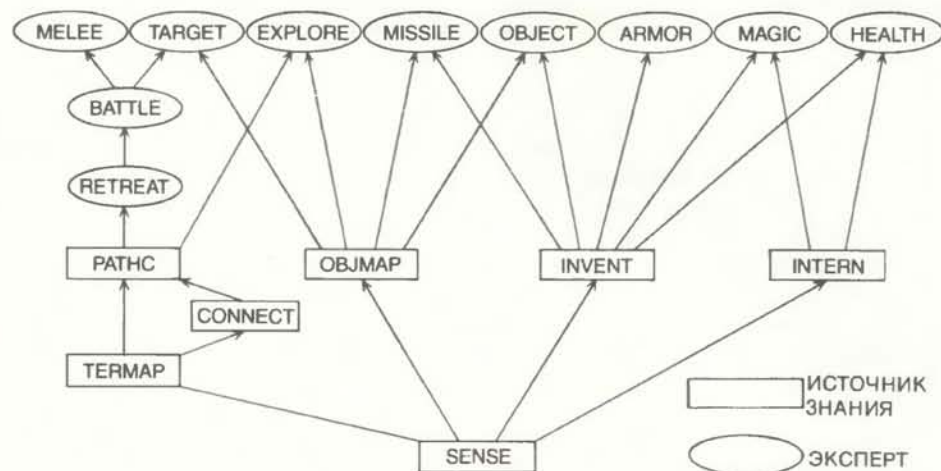
3. Следует учесть возможность поражения Бродяги в следующем «раунде» рукопашной схватки (в таком случае желательно попытаться избежать конфликта).

4. Эксперт по отступлению может найти путь (т.е. отступление возможно).

Если все четыре условия оказываются выполненными, программа передает руководство по отступлению Бродяги подсистеме, являющейся экспертом по отступлению. Если же необходимые условия для отступления не выполнены, эксперт боя начинает просматривать список возможных атакующих действий:

1. Если существует возможность гибели Бродяги в следующем раунде рукопашной, если чудовище находится поблизости и является видимым для Бродяги и если Бродяга располагает волшебной палочкой, совершающей перенесение предметов (телепортацию), то бродяга направляет палочку на чудовище.

2. Если существует возможность гибели Бродяги в следующем раунде рукопашной, если чудовище находит-



Экспертные подпрограммы и источники знаний, используемые программой ROGUE

ся близости и если Бродяга располагает свитком телепортации, то он читает свиток, содержащий магическую формулу против заклинания.

Когда ни одна из этих последних ситуаций не соответствует действительности, то никакой альтернативы схватке с чудовищем нет и программа спокойно выводит Бродягу на бой. Может быть, он достаточно силен, чтобы выдержать по крайней мере один раунд рукопашной. А может быть, он будет убит.

Среди других экспертов, к услугам которых прибегает программа, отметим подсистему обследования *explore*, которая решает, что нужно обследовать в следующий момент и какими перемещениями для этого воспользоваться. Есть еще эксперт по снарядам — *missile*, управляющий стрельбой из лука, метанием камней, копий и т.д.; эксперт, решающий, какой предмет следует подобрать — *object*; эксперт, выбирающий, какие доспехи следует носить — *armor*; эксперт, пользующийся магией — *magic*, и эксперт — *health*, контролирующий состояние Бродяги, решающий, не наступило ли время поесть ему или отдохнуть. *Objmap* (карта предметов) — структура данных, хранящая информацию о местонахождении и истории всех предметов, найденных в подземелье до сих пор. *Invent* — перечень предметов, лежащих в рюкзаке Бродяги, а *intern* — «устройство», распознающее внутреннее состояние Бродяги и оценивающее его готовность к дальнейшим испытаниям.

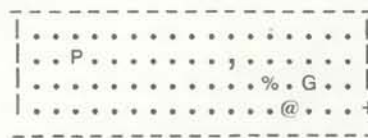
Не удивительно, что программа может играть в «Бродягу» очень быстро. Игра обычно завершается (независимо от исхода) за несколько минут машинного времени. До сегодняшнего дня только в Университете Карнеги—Меллона программа сыграла более 12 тыс. партий. Как утверждают разработчики программы ROG-O-MATIC, ее искусство в настоящее время превосходит уровень подавляющего большинства первоклассных игроков-людей. Например, в ходе испытаний, проведенных в Университете Карнеги—Меллона в 1983 г., средние показатели за три недели, в течение которых проводились игры, у программы оказались выше, чем у любого из 15 лучших игроков университета. ROG-O-MATIC не только превосходит большинство игроков-людей, но и демонстрирует поразительные различия в стиле игры. По словам Молдина, программа действует осознанно и без воображения. Она эффективно обследует подземелье, избегая лишних действий, что обычно присуще игрокам-людям. Стиль ведения боя, пожалуй, слишком методичен. Программа упускает некоторые возможности, относя-

щиеся к арсеналу «головореза», в то время как люди часто пользуются ими. Однако в бою важную роль играет везение.

Рассмотрим, например, какова роль фактора удачи в исторической партии, сыгранной программой в Техасском университете в г. Остин в феврале прошлого года. Бродяга, преодолев невероятные опасности, подстерегавшие его на самых нижних уровнях Подземелья Обреченных, нашел амулет Йендора (конечно, под руководством ROG-O-MATIC) в одном из проходов 26-го уровня. Устремившись с этой добычей обратно, Бродяга на 22-м уровне встречается с одним из наиболее грозных чудовищ подземелья, драконом. Бродяга обнажил меч, но дракон опередил его, изрыгнув струю пламени. Однако огонь прошел мимо Бродяги, стоящего в дверном проеме, и, отразившись от стены, поразил самого дракона, нанеся ему тяжелые ожоги. Собрав последние силы, дракон бросился на Бродягу, и тот убил его ударом меча. Затем Бродяга продолжил свое путешествие наверх, расправляясь по пути с менее серьезными противниками. Когда он вышел из подземелья, у него был не только амулет, но и 6913 золотых монет и еще много всякой всячины.

Возможно, читатель, заинтригованный всеми этими описаниями, тоже захочет попробовать свои силы в игре. В качестве упражнения предлагаем ему задачу, составленную Молдином. Помимо того, что эта задача представляет собой неплохое введение в игру, она показывает, насколько трудно было встроить «интеллект» в программу ROG-O-MATIC.

В помещении на 26-м уровне Подземелья Обреченных в настоящий момент находятся: Огненный Змей (P), Грифон (G) и Бродяга (@). Амулет Йендора (.) лежит на дальней стороне лестницы (%) по отношению к Бродяге.



Бродяга должен захватить амулет и убежать по лестнице, избежав стычек с чудовищами, поскольку он уже не способен вынести удары и ранения — у него осталось лишь одно очко. К счастью, Огненный Змей крепко спит, и Бродяге, который носит на пальце магическое кольцо, помогающее ему быть незамеченным, нужно лишь случайно не наступить на Змея, чтобы не разбудить его. Грифон, напротив, находится в бодрствующем состоянии, и, более того, он преследует Бродягу. Хотя Грифон при

обычных обстоятельствах не стал бы беспокоить Огненного Змея, сейчас все его помыслы направлены на то, чтобы оказаться в одной клетке с Бродягой, которого он может разорвать на куски своими страшными когтями.

Очередной ход должен сделать Бродяга. Сделав этот ход, Бродяга может попасть в одну из восьми прилегающих клеток, в ту же, что и Грифон после своего хода. Действующий «напрямую» Грифон всегда выбирает кратчайший путь к своей жертве. Если Бродяга прорвется к лестнице, ни Грифон, ни Огненный Змей не причинят ему уже никакого вреда, потому что правила игры запрещают чудовищам преследовать жертву на другом уровне подземелья.

СТАТЬЯ в январском номере журнала, посвященная головоломкам «Ханойская башня» и «Китайские кольца», вызвала многочисленные отклики у читателей. Простые, неркурсивные решения были присланы несколькими читателями, в частности Э. Прайсом из г. Юджин (шт. Орегон). Он предлагает раскрасить диски башни в два цвета, скажем в черный и белый, причем цвета должны чередоваться, начиная с наименьшего диска, окрашенного в черный цвет. Следующий по размеру диск должен быть белым, за ним следует черный и т.д. Головоломка легко решается, если в ходе решения руководствоваться следующим правилом (помимо правил, указанных в условии задачи): нельзя класть подряд два диска одного цвета. При этом ограничении играющий не имеет выбора при перемещении дисков. Соответствующая задача для китайских колец была решена М. Самбергом из г. Хоувард-Бич (шт. Нью-Йорк). Он предлагает чередовать перемещения первого кольца и любого другого. Если число колец нечетное, то начинать надо с первого кольца. Р. Харди из Дейтона (шт. Огайо) описал это простое решение следующим образом:

Решать итерацией — решение плохое.

Решенью такому не видно конца.

Чередуем движение концевое кольцо

С движением любого другого.

Читатели, пытающиеся решить головоломку в варианте 9×9 об акулах и рыбах, помещенную в февральском номере журнала, могли запутаться, внося в задачу неоправданные усложнения. Размеры решеток, накладываемой на океан, в котором находятся две акулы и три рыбы, должны быть 9×10 . Поэтому следует добавить к решетке еще одну вертикальную линию.

Книги

Священный колодец Чичен-Ицы;
воспоминания химика;
вымирание животных
в четвертичном периоде;
кольца планет

ФИЛИП MORRISON

ЖЕРТВЕННЫЙ СЕНОТ: СОКРОВИЩА МАЙЯ ИЗ СВЯЩЕННОГО КОЛОДЦА ЧИЧЕН-ИЦЫ. Под редакцией *Клеменси Чейз Коггинс* и *Оррина К. Шейна* III. **CENOTE OF SACRIFICE: MAYA TREASURES FROM THE SACRED WELL AT CHICHEN ITZA**, edited by Clemency Chase Coggins and Orrin C. Shane III. University of Texas Press (\$35; paper-bound, \$24.50)

СТО ЛЕТ назад в столицу Юкатана Мерида прибыл новый консул Соединенных Штатов и любитель древностей Эдвард Г. Томпсон. Однако как сам новоиспеченный консул, так и влиятельные лица, добившиеся его назначения на этот пост, почти не интересовались дипломатией. Не прошло и десяти лет, как Томпсон наконец-то вышел в отставку и купил асьенду, на территории которой находились развалины древнего города Чичен-Ицы. Так началось исследование этого города, в наше время ставшего наиболее реставрированной и посещаемой туристами метрополией древних майя.

Этот город, название которого означает «устье колодца (племени) ица», всегда играл важную роль в жизни индейцев. Давно уже пришедший в упадок, он все еще оставался местом религиозного паломничества окрестных жителей как до, так и после испанского завоевания Америки. И в наши дни главное шоссе, пересекающее Юкатан от Мерида до Пуэрто-Хуареса, по-прежнему проходит через известняковую равнину, на которой разбросаны величественные пирамиды и колоннады. Обычно лето на Юкатане очень дождливое, и именно дождями орошаются засеянные маисом и бобами поля. А вот рек на полуострове почти нет: на протяжении сотни с лишним километров современное шоссе не проходит ни по одному мосту! Дело в том, что дождевая влага легко просачивается через пористый известняк и сразу уходит под землю. Жителям Юкатана приходится полагаться только на дождь, ис-

кусственные водохранилища и естественные водоемы, возникшие там, где в известняке образовались достаточно глубокие впадины. Такие водоемы здесь называют сенотами, и на берегу каждого из них можно обнаружить остатки древнего поселения.

Однако жертвенный сенот, которому посвящена эта книга, никогда не использовался для орошения полей. Если из него когда-либо и брали воду, то лишь в ритуальных целях. Этот водоем находится в нескольких сотнях метров от подножия пирамиды «Пернатого змея», в тени низкорослого, но густого леса. Его отвесные стены поднимаются на высоту 25 м над уровнем воды, поверхность которой покрыта зеленой тиной. Да и сама дорога, ведущая к сеноту, служила не крестьянам и горожанам, а процессиям жрецов и паломников, которые в дни жертвоприношений шли к «колодцу смерти». Как писал в 1566 г. епископ Диего де Ланда, древние правители «бросали туда людей живьем... вместе с множеством иных вещей... и если бы эта страна обладала золотом, то большая его часть находилась бы на дне золотого водоема».

Томпсон поверил рассказу Ланды, и в 1904 г. на южном берегу сенота была установлена землечерпалка, с помощью которой охотник за сокровищами исследовал четырехметровый слой желтой грязи, покрывающий вместе с камнями, гниющими стволами и ветвями деревьев дно водоема. Работа продолжалась пять лет, а на шестой Томпсон сам спустился на дно сенота в водолазном скафандре. Часть своих находок он отправил в Музей Пибоди в Гарварде, а часть оставил у себя дома. Впоследствии они стали предметом чрезвычайно интересных исследований.

Сообщение Ланды действительно оказалось правдивым: когда в 1940 г. антрополог Эрнест А. Хутон исследовал человеческие кости, извлеченные со дна колодца, он выделил останки 42 человек, возраст половины которых не превышал 20 лет. По-

видимому, эти люди, в том числе дети, в засушливые годы добровольно или принудительно приносились в жертву божествам, посылающим дождь.

Книга представляет собой великолепно иллюстрированный каталог выставки сокровищ сенота Чичен-Ицы, которая открывается сейчас в Музее науки в Миннесоте. Эта выставка, на подготовку которой ушли годы работы многих ученых, по-видимому, превзойдет по своему богатству все предшествующие ей, хотя часть старой коллекции сейчас находится в Мексике. На замечательных фотографиях, сделанных Г. Бургером (многие из них цветные), читатель увидит около двухсот древних предметов, поднятых со дна сенота. Каждый из них подробно описан, а наиболее интересным образцам посвящены целые очерки, написанные известными специалистами.

К сожалению, «раскопки» сенота велись не слой за слоем, а беспорядочно, так что датировка находок по слоям оказалась невозможной. Поэтому археологи датируют эти предметы, сравнивая их с аналогичными находками, сделанными в других местах. Разумеется, в этом случае нельзя поручиться, что все предметы расположены в правильном хронологическом порядке. Интересно, что многие находки, которые ученые относят к ранней эпохе, были «убиты», т.е. намеренно повреждены перед тем, как их принесли в жертву. Нефритовые статуэтки были разбиты, изделия из литого золота смяты или расплавлены, металлические листы разрезаны, а копаловая смола сожжена.

Один из самых интересных предметов в этой коллекции — курительница для сжигания благовонного копала, изготовленная из черепа мальчика, «по-видимому, страдавшего анемией, столь обычной в странах, где основу питания составляет кукуруза». Голубоглазому мистеру Томпсону эта курительница должна была особенно понравиться тем, что в глазницы черепа были вставлены выкрашенные в синий цвет деревянные диски.

Значительная часть предметов, обнаруженных в сеноте, относится к XIII—XVI вв., т.е. ко времени, когда Чичен-Ица уже перестал быть великой столицей. Правящая элита города в эту эпоху обеднела, и большинство предметов, изготовленных местными ремесленниками, свидетельствуют скорее о благочестии жертвователей, чем об их богатстве.

Более ранний период, с IX по XI в. н.э., был, судя по относящимся к нему находкам, временем расцвета Чичен-Ицы. Однако за ним последовал период упадка, длившийся, по-видимому,

более столетия. В то время когда Чичен-Ица потерял главенство над городами Юкатана и был почти совсем заброшен, жертвоприношения у священного сенота практически прекратились.

Несколько глав книги, написанных известными специалистами, посвящены все еще не до конца понятной нам истории расцвета и упадка древнего города, в контексте которой читатель сможет правильно оценить значение находок в сеноте. Предметы, относящиеся к раннему периоду, несут на себе печать влияния тольтекской культуры, принесенной на Юкатан из Центральной Мексики. В это время у власти в Чичен-Ице находилась тольтекская военная элита. Интересно, что именно здесь, далеко от своей родины, в стране, где они были лишь пришельцами, тольтекам удалось оставить столь значительные памятники своей культуры (созданные, однако, местными мастерами). В последующую эпоху Чичен-Ица утратил свое значение, и священный сенот стал скорее местом паломничества простолюдинов, чем гордой военной касты.

В ранний период в жертву приносилось множество изделий из нефрита и золота, в поздний — в основном литые медные колокольчики, резные деревянные предметы и сосуды с остатками сожженной копаловой смолы. Однако медь, так же как и золото, была для жителей Чичен-Ицы драгоценным металлом, поскольку она привозилась издалека. На самом Юкатане нет ни металлов, ни твердого камня — ничего, кроме известняка. Подвески в виде лягушек и обезьян отлиты из золота и серебра, добытых в Панаме, и даже маленькие литые медные колокольчики, столь распространенные в поздний период, были привозными (во времена Колумба они служили средством обмена в оживленной морской торговле, которую вела с соседними областями группа прибрежных майя, возможно родственная племени ица). Что же касается предметов из листового золота, то они, судя по тематике и стилю изображений, изготовлены местными мастерами из привозного металла.

Но особенно большой интерес представляют остатки тканей и деревянных предметов древних майя, хорошо сохранившиеся на дне сенота. Многие из них были обнаружены в 60-х годах мексиканскими археологами, использовавшими современный землесосный снаряд. Им удалось поднять на поверхность множество вещей, которые упустила землечерпалка Томпсона, в частности тысячи остатков изделий из хлопковых тканей и немало плетеных и деревянных



Маяский колокольчик в виде обезьяны

предметов. Исследование этих интереснейших находок все еще продолжается. Однако коллекция, которой посвящена эта книга, вовсе не претендует на полное отражение материальной культуры древних майя. Скорее, она наглядно демонстрирует, что они в ту или иную эпоху считали драгоценным и прекрасным и какие предметы играли важную роль в их обрядах.

Всякий, кто увидит в Чичен-Ице увенчанное куполом здание, известное как «Эль Караколь» («улитка»), непременно обратит внимание на один из предметов этой коллекции — жертвенный нож с лезвием из кремнистого сланца. Его резная деревянная рукоятка сделана в виде двух переплетающихся змей с перьями вокруг глаз и была когда-то выкрашена в ярко-зеленый цвет. Почти такие же (и, несомненно, тоже некогда раскрашенные), но уже каменные змеи образуют балюстраду широкой лестницы, ведущей на платформу «Эль Караколь».

Читатели узнают также, что после Музея науки в Миннесоте выставка побывает еще в нескольких музеях в разных городах Северной Америки.

Примо Леви. ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА

THE PERIODIC TABLE, by Primo Levi. Translated from the Italian by Raymond Rosenthal. Schocken Books (\$16.95)

ЭТА книга не научный трактат по химии и не автобиография; 20 коротких глав, следующих одна за другой в хронологическом порядке, содержат любопытнейшие воспоминания автора. Их дополняют два рассказа в духе научной фантастики и повесть о приключениях атома углерода — современный вариант эссе Т. Гексли. Оригинальность трактовки темы и лаконизм изложения обеспечивают рецензируемому тому место в ряду тех немногочисленных книг, авторам которых удалось правдиво и увлекательно рассказать о жизни и работе ученых. Я отношу сюда «Тонно-Бенги» Герберта Уэллса, отдельные произведения Ганса Отто Шторма и Чарлза Перси Сноу, а также имеющую глубокий подтекст «Двойную спираль» Дж. Уотсона и Ф. Крика. Во всех этих книгах, включая рецензируемую, нашли свое отражение каждодневные радости и огорчения; неожиданные озарения одиночек и коллективный опыт — словом все то, из чего складывается чрезвычайно богатая эмоциями жизнь научной лаборатории. Кристальная ясность изложения не может скрыть то-

го факта, что автор давно и всерьез увлечен философией.

Доктор Леви — инженер-химик с опытом более чем тридцатилетней работы на лакокрасочных предприятиях Турина. В литературных кругах Италии он хорошо известен как автор воспоминаний, в которых описывает испытанные им самим ужасы Освенцима. Химик, философ, поэт, писатель, перу которого принадлежат меткие характеристики современников, он в юности был партизаном-антифашистом, а затем узником «фабрики смерти», одним из немногих, кому суждено было остаться в живых. Высочайшим моральным духом человека, с достоинством выдержавшего тяжелейшие испытания, пронизаны страницы этой необыкновенно живо написанной умной и теплой книги.

Вероятно, наилучшее представление о достоинствах этой книги читатель получит, если вместо пересказа мы процитируем из нее отрывки. Интересно, что каждая глава носит название одного из химических элементов, который дал автору повод для воспоминаний и философских размышлений.

Одна из первых глав посвящена цинку. «Серый металл идет на изготовление лоханей для прачечных, соли его бесцветны и нетоксичны, небогата и цветовая гамма продуктов реакций, в которые он вступает. Словом, довольно скучный химический элемент. В биографии этого металла есть лишь одна любопытная деталь: нестойкий к кислотам, он с успехом отражает их атаки, если свободен от примесей». Какой же вывод может сделать из этого наблюдательный человек? «Я отказываюсь восхвалять чистоту — слишком отдаю морализированием. Я за неоднородность, за примеси, дающие начало изменениям, т.е. жизни. Чтобы механизм работал, необходимо некоторое разнообразие, крупица соли. Фашизм против многообразия, он хочет, чтобы все было одинаковыми, но ведь вы все разные».

В главе о никеле Леви останавливается на том периоде своей жизни, когда, только что закончив университет и находясь под подозрением властей, он был вынужден работать далеко в горах на асбестовых рудниках, где в это время апробировался способ получения никеля из богатых им отходов. «С первого же дня я буквально влюбился в свою работу. Мне был поручен количественный анализ образцов горных пород: я обрабатывал их плавиковой кислотой и получал железо и аммиак, а также никель (в микроскопических количествах) и диметилглиоксим. И так каждый день. Одна-

ко это однообразие ничуть не угнетало меня: ведь в моих руках был не лабораторный образец, а частица земных недр, вынесенная на свет божий силой взрыва. В результате моих каждодневных усилий рождалась карта — точный портрет одной из подземных жил. Какое это захватывающее ощущение — после 17 лет учения, всех зубренных греческих глаголов и историй давно прошедших войн вдруг почувствовать, что твои знания способны приносить пользу».

Полон комизма эпизод, посвященный азоту. Суровая жизнь послевоенной Италии. Леви с одним из друзей, переоборудовав квартиру родителей в лабораторию, пытается заработать себе на жизнь: выполняет заказы на получение химических веществ. Четыре спирали мощностью 1000 Вт, подключенные в обход счетчика, подогревают реактор. Появляется заказчик, ему нужно несколько килограммов дефицитного аллоксана — красного красителя, используемого для получения «несмываемой» губной помады.

С большим трудом Леви удается проникнуть в библиотеку Химического института. «И вот наконец передо мной „портрет“ аллоксана. Привлекателен, не правда ли? При взгляде на формулу возникает ощущение сбалансированности, устойчивости. Заглянув в несколько энциклопедий, я нахожу единственный доступный для нас самый старый способ получения аллоксана: разложение мочевой кислоты с помощью окисления». Мочевая кислота в большом количестве содержится в птичьем помете (до 50%), поскольку организм птицы в отличие от организма млекопитающего способен выводить азот в нерастворенном состоянии. Золото из навоза, косметика из экскрементов — как тут не вспомнить древних алхимиков! Не следует, однако, думать, что исходный материал можно было получить за гроши. Практичные фермеры давно и весьма выгодно распродали этот ценный товар на удобрения. И тем не менее — хотя смесь помета, земли, камешков и куриных вшей вряд ли может служить идеальным материалом для химических экспериментов — около килограмма этого сырья было доставлено в «лабораторию» на раме велосипеда.

И тут новоявленные алхимики узнают, что в Турине открылась выставка змей. Редкая удача! Ведь шарики кала рептилий содержат. . . 90% мочевой кислоты. Однако ответ устроителей выставки был весьма неутешителен: это исключено, вы не получите ни грамма. Шарики питона ценятся на вес золота, и право на их приобретение принадлежит крупным парфюмерным фирмам. Эксперимент

с куриным пометом также не принес желаемых результатов: «Зловонные пары, густая черная жижа, усталость и досада — вот чем мы были вознаграждены за все свои труды. Аллоксан так и остался для нас лишь звучным названием. А вся эта история заставила нас вновь обратиться к менее красочному, но более надежному миру неорганической химии».

Возвращаясь к годам, проведенным в университете, Леви в главе «Железо» вспоминает своего сокурсника, человека, словно выкованного из металла, который погиб, участвуя в Движении Сопротивления. В университете они вместе проходили курс качественного анализа. «Моя прежняя работа в лаборатории, где мы изучали цинк, теперь казалась детской забавой. . . Ежедневно в 2 часа дня профессор выдавал каждому из нас по одному грамму порошка. Мы должны были определить его, представив подробный отчет о проделанной работе. Сомнениям и колебаниям не могло быть места: каждый раз нужно было принять обдуманное и зрелое решение, к чему наше поколение, выросшее при фашизме, было плохо подготовлено».

Рецензируемую книгу можно назвать «микроисторией», написанной ученым с многолетним опытом о своих «маленьких поражениях и победах». Она будет интересна читателям любого возраста, особенно людям творческого склада, склонным к самоанализу. Следует отметить также высокое качество перевода.

ВЫМИРАНИЕ ЖИВОТНЫХ В ЧЕТВЕРТИЧНОМ ПЕРИОДЕ: ДОИСТОРИЧЕСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ. Под редакцией Пола С. Мартина и Ричарда Д. Клейна.

QUATERNARY EXTINCTIONS: A PREHISTORIC REVOLUTION, edited by Paul S. Martin and Richard G. Klein. The University of Arizona Press (\$ 65)

КЕМ была уничтожена бескрылая гагарка? Нам известны имена двух рыбаков, которые убили последнюю пару этих птиц и разбили их единственное яйцо на острове Эльдей у побережья Исландии в 1844 г. Кто истребил гигантскую птицу моа? Целые залежи костей и скорлупы яиц моа были обнаружены в мусорных ямах и очагах переселенцев маори, высадившихся на острове Южный в Новой Зеландии. Возраст их стоянок, как показала радиоуглеродная датировка, относится к 1000—1500 годам н.э. Нет никаких свидетельств того, что во время постепенного вымирания этой дневной птицы, обитательницы лесных опушек, происходили сколь-

нибудь значительные изменения климата. По подсчетам ученых, на острове было перебито не одно поколение моа. Как поется в популярной новозеландской песенке:

«Нет больше моа
В старом Ао-ти-роа.
И не ищите —
Всех их съели.

С той поры вам не встретить моа!»

Остается добавить к этому слова о выжигании человеком лесов в Новой Зеландии, а также о его «помощниках» — собаках и . . . крысах, прибывших вместе с ним на вместительных полинезийских ладьях.

Этот сборник серьезных и интересных статей, написанных учеными разных стран, знакомит нас со своего рода судебным процессом по весьма запутанному делу, а именно: не является ли волна исчезновений крупных наземных млекопитающих и птиц, приходящаяся на недавнее геологическое прошлое, делом рук человека-охотника? Концепция массового уничтожения плейстоценовых животных человеком не нова. Она уже была предметом дискуссии на страницах подобного сборника, выпущенного в 1967 г. И вот сейчас Пол Мартин, главный редактор нового сборника, вновь привлекает внимание ученых к старому спору. Что ж, обвинение весьма серьезное, хотя и не лишнее слабых сторон. Суд пока не вынес окончательного приговора, присяжные еще колеблются.

Свидетельства в пользу обвинения представлены на графике, иллюстрирующем резкое сокращение численности мамонтов в Северной Америке. Согласно приблизительным оценкам относительное количество слонов, оставшееся в течение длительного времени примерно постоянным, внезапно уменьшилось в десять раз между 11 и 9 тысячелетиями до нашей эры. Именно на этот период приходится первое резкое увеличение численности *Homo sapiens* на Североамериканском континенте.

Равнины Серенгети в Африке могут дать представление, как выглядел мир крупных травоядных и хищников, мир слонов, бизонов и львов, еще сравнительно недавно бродивших по просторам Франции и обеих Дакот. Дело в том, что африканские животные, на которых отохотился человек, имели достаточно времени для того, чтобы приспособиться к нему и ко все новым и новым охотничьим уловкам и приспособлениям. Южная и Северная Америки за последние 15 тыс. лет лишились в десять раз большего числа видов крупных млекопитающих, чем Африка за 100 тысячелетий!

Столь же печальную историю могут поведать острова: вспомним новозеландскую птицу моа, большого лемура и эпиорниса (птицу Рух арабских сказок), некогда обитавшего на Мадагаскаре, а также крупных австралийских травоядных, — все они не выдержали натиска человека. Каждый раз повторялось одно и то же: внезапно нагрянувшие охотники обрекали крупную дичь на вымирание.

Но не молчит и защита. Данные об изменении численности — а достоверны ли они? Насколько точна датировка? Не является ли установленное совпадение во времени чистой случайностью? А если оно и не случайно, то разве можно сравнивать редкие следы охоты на мамонтов с горами костей моа, которые новозеландские охотники оставили по всему острову? Обвинение возражает на это, что если охота была внезапной и недолгой, то добыча была невелика, и следы ее обнаружить нелегко. Внимательный присяжный, конечно, заметит, что здесь обвинение пытается отвлечь внимание суда от отсутствия основной улики — самого трупа.

Со своими показаниями выступают и экологи. Они подсчитывают количество видов насекомых и пыльцы; выделяют районы стока и ареалы растительных сообществ; прослеживают, как менялись растения, служившие пищей травоядным животным, по мере отступления ледников и увеличения засушливости климата. Ученые исследуют и изменения в наследственности популяций: по-видимому, угадывается связь между вымиранием видов и карликовостью. Что способствовало отбору более мелких особей и особей с более коротким периодом беременности? Возможно ли, что этой силой было все увеличивавшееся воздействие человека-охотника?

Некоторые из авторов подробно рассказывают в своих статьях о наиболее интересных раскопках. Так, в авторитетной советской статье говорится о сибирских находках ископаемых останков мамонта. В Сибири были обнаружены жилища, сложенные из костей животного. Однако там же были найдены гораздо большие «кладбища» мамонтов, образование которых можно объяснить лишь длительными аллювиальными процессами. Читатель вновь прочтет о знаменитых асфальтовых ямах Ла-Бреа в Калифорнии. Однако последствия от этих природных «капканов» далеко не столь драматичны, как полагают некоторые. Достаточно было одному из животных раз в несколько лет попадать в эту вязкую ловушку — и вот через миллион лет витрины наших музеев заполнились экспонатами. Пе-

щеры в нижней части Большого Каньона долгое время служили приютом неуклюжему гигантскому ленивцу. Прекрасно сохранившиеся экскременты дают представление о «меню» этого животного. Недавно наши сведения о местной флоре (и, следовательно, о климате) в период обитания гигантского ленивца пополнились при изучении ископаемого помета древесной крысы, обитавшей поблизости. Удалось установить, что гигантский ленивец вымер как раз «в то время, когда условия были практически идеальными для его благополучного существования». Может быть, здесь повинны охотники? Но их столянки не были обнаружены.

Иллюстрации в некоторых статьях дают представление о том, как выглядели исчезнувшие животные. Многие из них имели весьма внушительный вид, например, европейский носорог с его двухметровым рогом или африканский короткошейный жираф, обладавший могучим телосложением. Особенно красочно описана, увы, теперь уже вымершая плейстоценовая фауна Австралии. Самое крупное сумчатое травоядное имело довольно необычный вид: его забавно удлиненная верхняя губа наводит на мысль о недоразвитом хоботе. «Экстраполируя», легко предположить, что со временем мог бы появиться сумчатый мамонт.

Палеонтологи Австралии скептически относятся к концепции массового уничтожения плейстоценовых животных человеком. Все, что мы знаем о жизни австралийских аборигенов, не свидетельствует о том, что они охотились на крупную дичь. Одной из возможных причин вымирания животных может быть и то, что в пустынных районах, где мегафауна (в отличие от более приспособленных мелких зверьков) зависит от доступности воды, увеличение сухости климата и связанное с этим увеличение расстояний между ближайшими водоемами могло оказаться катастрофическим.

Суду так и не удалось прийти к однозначному решению еще и потому, что сами охотники, как и животный мир, зависят от причуд климата. Переход человека из Азии в Америку по временному мосту через Берингов пролив смог произойти лишь благодаря «уникальному сочетению климатических обстоятельств». «По-моему, это тайный сговор!» — восклицает один из судей. Эта внушительная по своим размерам книга необыкновенно легко читается, причем обращена она к читателям, интересующимся как палеонтологией, так и историей развития человека.

Джеймс Эллиот, Ричард Керр. КОЛЬЦА ПЛАНЕТ: ОТКРЫТИЯ ОТ ГАЛИЛЕЯ ДО НАШИХ ДНЕЙ

RINGS DISCOVERIES FROM GALILEO TO VOYAGER, by James Elliot and Richard Kerr. The M&T Press (\$17.50)

КОЛЬЦА ПЛАНЕТ. Под редакцией *Ричарда Гринберга, Андре Брахики и Мильдред Шэпли Мэттьюз*

PLANETARY RINGS, edited by Richard Greenberg and André Brahic, assisted by Mildred Shapley Matthews. The University of Arizona Press (\$35)

ПЕРВЫМ, кто увидел вокруг Сатурна нечто необычное, был Галилей. Однако с помощью сконструированного им телескопа он не мог различить, что представляло собой это «нечто», и ученый интерпретировал увиденное (в духе учения Коперника) как два больших спутника, по одному с каждой стороны от планеты. В течение последующих 50 лет было выдвинуто несколько различных теорий. Наконец, Академия естествоиспытателей, патроном которой был Леопольд Медичи, предложила оригинальный способ решения этой проблемы на различных моделях. Модели были помещены в конце длинной галереи и освещены. В другом конце этой галереи находилась группа астрономов и «контрольная группа» людей, в науке не сведущих. Им предложили выбрать одну из нескольких освещенных моделей. Обе группы высказались в пользу предложенной Кристианом Гюйгенсом картезиан-

ской модели сплошного кольца вокруг Сатурна, предпочтя ее более сложной гипотезе о спутниках.

С тех пор мы узнали немало нового. В обеих книгах речь идет уже не об одном, а о многих кольцах. Первая книга представляет собой увлекательный рассказ об изучении планетных колец, появившийся на свет благодаря содружеству одного из участников этой работы с писателем, интересующимся проблемами науки. Вторая же — сборник специальных статей, написанных различными исследователями. Обе книги великолепно иллюстрированы. Интересны многочисленные цветные снимки колец Сатурна, обработанные с помощью ЭВМ, и рисунок художника-астронома У.К. Хартмана, показывающий, как по предположениям ученых должны выглядеть кольца Сатурна с расстояния в несколько сот метров от их плоскости.

В то время как кольца Сатурна известны уже не одну сотню лет, кольца Юпитера и Урана были неожиданно открыты только в 1976—1983 гг. В ближайшем будущем нас может ожидать и открытие колец вокруг Нептуна, пока никем не обнаруженных, но вполне вероятных. И наконец, лишь совсем недавно мы получили великолепные снимки колец Юпитера и Сатурна, сделанные с помощью двух космических кораблей «Вояджер».

В свое время Джеймс Эллиот руководил коллективом исследователей, открывших кольца Урана. Две главы книги посвящены истории этого открытия, которое было сделано при

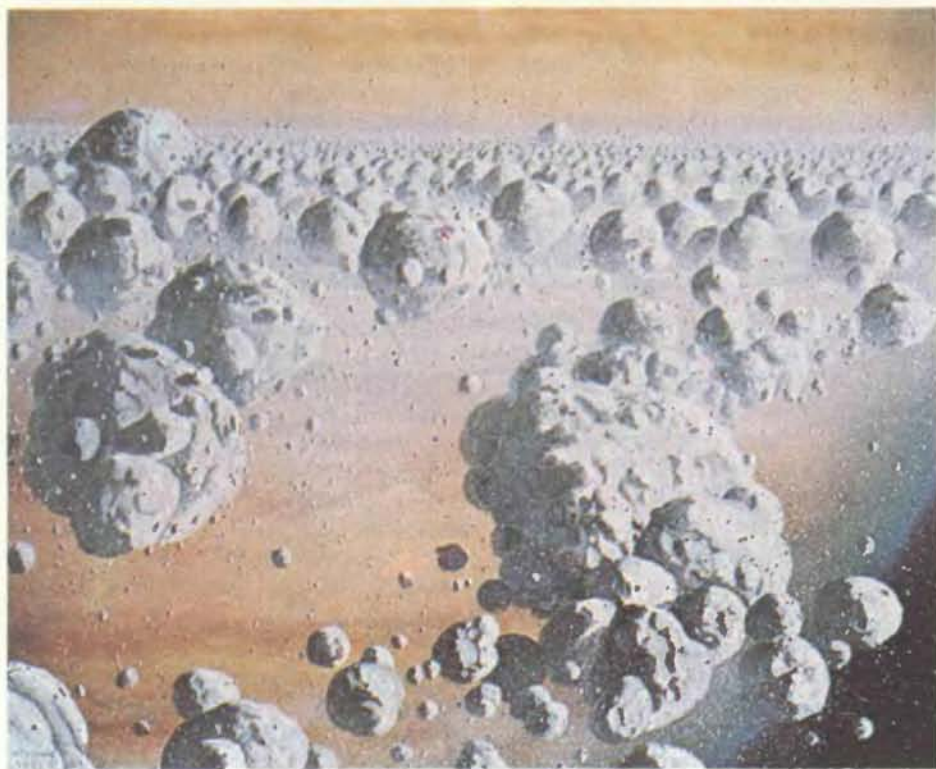
анализе результатов наблюдения покрытия Ураном одной из относительно неярких звезд. Наблюдения велись с помощью установленного на самолете стратосферного телескопа НАСА, при этом самолет находился в 1700 км к востоку от острова Кергелен в Индийском океане, на высоте 13 км над уровнем моря.

Первоначально ученые из Корнеллского университета намеревались использовать покрытие звезды Ураном для исследования атмосферы этой планеты. Спектральные характеристики и интенсивность света непосредственно перед и в конце покрытия должны были дать ценную информацию об атмосфере Урана. Однако когда вернувшиеся в Итаку исследователи разложили графики на полу лаборатории, им сразу бросилась в глаза симметричная картина изменения блеска звезды. Именно это обстоятельство и позволило установить существование колец у Урана. После 1977 г. было проведено еще несколько десятков наблюдений покрытия Ураном различных звезд, в ходе которых удалось выявить 9 колец этой планеты.

Сейчас нам известно несколько видов колец. Юпитер, например, имеет «эфирные» кольца, похожие на широкие и полупрозрачные внешние кольца Сатурна. Кольца Урана — черные и узкие, некоторые из них эксцентричны. Кольца Сатурна — яркие и с первого взгляда кажутся широкими и сплошными. При ближайшем рассмотрении они распадаются примерно на тысячу узких, но близко расположенных колец. Еще бывают узкие, как будто переплетающиеся кольца. То, что мы видим, есть медленно изменяющие свою форму скопления частиц вещества, вращающихся вокруг планеты. Никто еще не видел частиц, из которых состоят планетные кольца, но нет никакого сомнения, что сплошные кольца из твердого или жидкого вещества были бы быстро разрушены приливными силами.

Динамика таких систем, как кольца планет, очень сложна и еще не изучена полностью. Например, орбиты мириад малых тел, составляющих кольцо, определяются их гравитационным взаимодействием не только с самой планетой, но и с ее спутниками.

Само кольцо также представляет собой обладающую массой плоскость, и взаимное притяжение его частиц способно поддерживать спиральные волнообразные изменения плотности. Кроме того, внутри колец могут находиться небольшие «луны» — гиганты по сравнению с частицами. Некоторые из них, хотя и очень редко, заметны на снимках. На одном из таких снимков пара «лун», содержащихся в кольце, направляет поток ча-



Кольца Сатурна с близкого расстояния

Издательство **МИР** предлагает:

Е. Валях

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-
ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ
ВЫЧИСЛЕНИЯ

Перевод с английского



Книга американского специалиста посвящена одной из новых архитектур вычислительных машин, сочетающей последовательное распределение заданий и их параллельную обработку. Изложение отличается широтой охва-

та материала, комплексным подходом к проблеме.

Для разработчиков ЭВМ, специалистов по математическому обеспечению, программистов, студентов и аспирантов.

1985, 28 л. Цена 2 р. 30 к.



стиц в узкую плотную нить. Это интересное явление невозможно объяснить только с помощью закона всемирного тяготения, оно предполагает еще действие механизма диссипации.

Процессы, протекающие в кольцах планет, определяются не только гравитационным взаимодействием, хотя, по словам одного теоретика, «большинство людей даже не представляют, как много решений имеют уравнения Ньютона». Поведение мельчайших частиц кольца в большей степени определяется действием электромагнитных сил, чем гравитационных. Так, «спицы», медленно движущиеся по кольцам Сатурна, состоят из небольших хорошо заметных скоплений частиц заряженной пыли, поднятой над плоскостью кольца и движущейся несколько иначе, чем остальные частицы.

Источником эрозийной пыли являются «микронуны», которые могут прятаться в узких пылевых кольцах, порожденных ими. Частицы, малые и большие, постоянно сталкиваются между собой. Повсюду происходит их соединение и разделение, притяжение как бы соревнуется с приливными силами.

Таковы в общих чертах представления, лежащие в основе сложных моделей, с помощью которых ученые пытаются не только качественно, но и количественно описать наблюдаемые явления. Обе книги отражают накал страстей среди ученых, занимающихся изучением планет, столкновение противоположных мнений и гипотез в попытке объяснить сложные и часто двусмысленные данные, которые мы получаем с помощью телескопов и космических аппаратов.

Однако никто не сомневается в том, что кольца изменяются во времени. Мелкие частицы не всегда будут на орбите, существует несколько механизмов, постепенно «выводящих их из игры». По-видимому, мы должны рассматривать кольца как повторяющееся более или менее стабильное образование, иначе остается считать, что мы случайно оказались свидетелями редкого и мимолетного явления в долгой истории планеты-гиганта. Вообще говоря, определенная цикличность в развитии колец вполне возможна, но, прежде чем построить надежную модель того, что мы наблюдаем, необходимо изучить происхождение и продолжительность этих сложных образований. Пока же обе гипотезы о происхождении колец — (1) что они образовались вместе с самими планетами или (2) появились в результате разрушения их спутников — кажутся вполне вероятными.

Сейчас «Вояджер» находится на пути к Урану, к которому он должен максимально приблизиться как раз в

тот месяц, когда в центре всеобщего внимания будет комета Галлея. Новую информацию о далеких кольцах и «спицах» нам представит и орбитальный телескоп Хаббла. А в 1989 г., если аппаратура «Вояджера» все еще будет нормально работать, он сможет дать нам ответ на вопрос: есть ли кольца и у Нептуна?

В обеих книгах кольца планет рассматриваются как неотъемлемая часть нашей Солнечной системы, такая же, как, скажем, Большой Каньон Колорадо или кратер Тихо. В этих

кольцах мириады обледенелых глыб бесшумно сталкиваются и разлетаются в бесконечном быстром полете. Читателям, несомненно, хотелось бы еще узнать, почему одни кольца белы как снег, а другие — черны как уголь, но ответа на этот вопрос авторы пока дать не могут. Однако нет сомнений, что в скором будущем мы узнаем о кольцах гораздо больше. Правильно поступят любители астрономии, если начнут свое знакомство с планетными кольцами с этих двух книг.

Издательство МИР предлагает:

Р. Винн, К. Холден

ВВЕДЕНИЕ
В ПРИКЛАДНОЙ
ЭКОНОМЕТРИЧЕСКИЙ
АНАЛИЗ

Перевод с английского

В ходе длительного исследования ряда эконометрических моделей накоплен ценный практический опыт. Следует упомянуть, в частности, результаты сравнения различных методов разработки хозяйственных прогнозов с помощью уравнения регрессии. Критическое изучение методов прикладного эконометрического анализа может оказать существенную помощь при построении научно обоснованной системы экономико-статистических моделей.

Работа Р. Винна и К. Холдена содержит начальные сведения о практическом приложении эконометрических методов. Харак-

теризуя конкретные особенности применения регрессивного анализа при изучении важнейших хозяйственных процессов, авторы стремятся выделить наиболее типичные задачи, с которыми приходится сталкиваться в практике экономико-статистического моделирования. К сильным сторонам работы Р. Винна и К. Холдена следует отнести не только систематическое описание проблем прикладного эконометрического анализа, но и довольно реалистическую оценку его «инструментария», трезвый анализ достоинств и недостатков предлагаемых методов статистического исследования.

1981, Цена 2 р. 00 к.

Книгу Р. Винна, К. Холдена можно приобрести (или направить заказ) в следующих книжных магазинах г. Москвы:
магазин № 8 — 103031, Петровка, 15
магазин № 84 — 103009, пр. Художественного театра, 6
магазин № 100 — 103003, Горького, 8
магазин № 115 — 117334, Ленинский пр., 40
магазин № 120 — 101001, Кирова, 6
магазин № 200 — 121013, пр. Калинина, 26



Издательство
МИР
предлагает:

К. Гельднер,
С. Кубик

**НЕЛИНЕЙНЫЕ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

Перевод с немецкого

Монография посвящена способам расчета нелинейных систем управления с помощью методов гармонической и статистической линеаризации, фазовой плоскости и абсолютной устойчивости. Приводятся аналитические модели систем с однозначными и многозначными нелинейностями, наиболее часто встречающиеся в реальных устройствах управления. Обращается внимание читателей на необходимость применения различных способов анализа устойчивости одного и того же класса нелинейных систем из-за существенных погрешностей, вносимых в расчетную схему приближенными методами. К большому достоинству книги следует отнести использование в ней современного математического аппарата пространства состояний в векторно-матричной форме, сокращающего объем промежуточных выкладок и записей формул. Все приведенные в книге рабочие программы составлены на языке Фортран. Значительное внимание уделено методам анализа устойчивости нелинейных систем, основанным на теоремах Ляпунова и Попова. Пользуясь этими теоремами, авторы решили целый ряд интересных задач, имеющих самостоятельное значение. С целью расширения диапазона управляющих сигналов, при действии которых на нелинейную систему в ней не возникают автоколебательные режимы, предложены корректирующие устройства.

Для научных работников и инженеров, занимающихся проектированием систем управления, а также для студентов старших курсов вузов соответствующего профиля.

1986, 18 л. Цена 2 р. 10 к.



**ПРЕДСКАЗАНИЕ
СИЛЬНЕЙШЕГО
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ
В КАЛИФОРНИИ**

AN ASSESSMENT OF THE CONSEQUENCES AND PREPARATIONS FOR A CATASTROPHIC CALIFORNIA EARTHQUAKE: FINDINGS AND ACTIONS TAKEN. National Security Council Ad Hoc Committee on Assessment of the Consequences and Preparations for a Major California Earthquake. Federal Emergency Management Agency, January, 1981.

EARTHQUAKE PREDICTION: AN INTERNATIONAL REVIEW. Edited by David W. Simpson and Paul G. Richards. American Geophysical Union, 1981.

FACING GEOLOGIC AND HYDROLOGIC HAZARDS: EARTH-SCIENCE CONSIDERATIONS. Edited by Walter W. Hays. U.S. Geological Survey Professional Paper 1240-B, 1981.

Мячкин В. И. ПРОЦЕССЫ ПОДГОТОВКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ. — М.: Наука, 1978.

Рикитаке Т. ПРЕДСКАЗАНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ. Перев. с англ. — М.: Мир, 1979.

**КАК ТРИПАНОСОМА
МЕНЯЕТ СВОЮ ОБОЛОЧКУ**

NEW GUINEA TAPEWORMS AND JEWISH GRANDMOTHERS: TALES OF PARASITES AND PEOPLE. Robert S. Desowitz in *The Fly That Would Be King*. W. W. Norton and Co., 1981.

BIOCHEMISTRY OF THE VARIANT SURFACE GLYCOPROTEINS OF SALIVARIAN TRYPANOSOMES. M. J. Turner in *Advances in Parasitology*, Vol. 21, pages 69-153; 1982.

BID THE SICKNESS CEASE — DISEASE IN THE HISTORY OF BLACK AFRICA. Oliver Ransford. John Murray, Ltd., 1983.

6 Å-RESOLUTION X-RAY STRUCTURE OF A VARIABLE SURFACE GLYCOPROTEIN FROM *Trypanosoma brucei*. D. M. Freymann, P. Metcalf, M. Turner and D. C. Wiley in *Nature*, Vol. 311, No. 5982, pages 167-169; September 13, 1984.

**ИСТОЧНИКИ КОСМИЧЕСКИХ
ГАММА-ВСПЛЕСКОВ**

PROBABLE OPTICAL COUNTERPART OF A GAMMA-RAY BURSTER. B. E. Schaefer in *Nature*, Vol. 294, No. 5843, pages 722-724; December 24, 1981.

THE GAMMA-RAY BURSTER PUZZLE. Ronald A. Schorn in *Sky and Telescope*, Vol. 63, No. 6, pages 560-562; June, 1982.

HIGH ENERGY TRANSIENTS IN ASTROPHYSICS. Edited by S. E. Woosley. American Institute of Physics Conference Proceedings No. 115, 1984.

Голенецкий С. В., Мазец Е. П. «ВЕНЕРА-11 и -12» ИССЛЕДУЮТ КОСМИЧЕСКИЕ γ -ВСПЛЕСКИ. — Природа, 1979, № 10, с. 30.

Митрофанов И. Г., Долидзе В. Ш., Бара К., Ведренн Ж., Ниель М., Орли К. БЫСТРАЯ СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЕРЕМЕННОСТЬ КОСМИЧЕСКИХ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ. — *Астрономический журнал*, 1984, т. 61, вып. 5, с. 939.

Розенталь И. Л., Усов В. В., Эстудин И. В. ВСПЛЕСКИ КОСМИЧЕСКОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ. — *Успехи физических наук*, 1983, т. 140, вып. 1, с. 97.

БРОУНОВСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

SELECTED PAPERS ON NOISE AND STOCHASTIC PROCESSES. Edited by Nelson Wax. Dover Publications, Inc., 1954.

INVESTIGATIONS ON THE THEORY OF THE BROWNIAN MOVEMENT. Albert Einstein, edited by R. Fürth and translated by A. D. Cowper. Dover Publications, Inc., 1956.

DYNAMICAL THEORIES OF BROWNIAN MOTION. Edward Nelson. Princeton University Press, 1967.

Эйнштейн А., Смолуховский М. БРАУНОВСКОЕ ДВИЖЕНИЕ. Перев. с нем. — М.-Л.: ОНТИ, 1936.

**УСПЕХ РАЗМНОЖЕНИЯ
У БЛАГОРОДНОГО ОЛЕНЯ**

RED DEER: THE BEHAVIOR AND ECOLOGY OF TWO SEXES. T. H. Clutton-Brock, F. E. Guinness and S. D. Albon. University of Chicago Press, 1982.

THE THEORY OF SEX ALLOCATION. E. L. Charnov. Princeton University Press, 1982.

MATERNAL DOMINANCE, BREEDING SUCCESS AND BIRTH SEX RATIOS IN RED DEER. T. H. Clutton-Brock, S. D. Albon and F. E. Guinness in *Nature*, Vol. 308, No. 5957, pages 358-360; March 22, 1984.

**РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ
СТАНЦИИ**

**С ФАЗИРОВАННЫМИ
АНТЕННЫМИ РЕШЕТКАМИ**

RADAR TECHNOLOGY. Edited by Eli Brookner. Artech House, Inc., 1977.

SIDE-LOOKING AIRBORNE RADAR. Homer Jensen, L. C. Graham, Leonard J. Porcello and Emmett N. Leith in

Издательство МИР предлагает:

**Г. Реклейтис,
А. Рейвиндран,
К. Рэгсдел**
**ОПТИМИЗАЦИЯ
В ТЕХНИКЕ**

В 2-х книгах
Перевод с английского

Систематическое и доступное изложение существующих методов оптимизации. Строгие доказательства, как правило, заменены графиками и таблицами, позволяющими читателю, не имеющему специальной подготовки, решать прикладные задачи. Основное внимание уделено рассмотрению методов оптимизации применительно к стационарным детерминированным моделям систем с непрерывно изменяющимися параметрами, когда принятому критерию оптимальности соответствует единственная целевая функция. Обсуждаются также многокритериальные задачи оптимизации с привлечением математического аппарата целочисленного и дискретного программирования. Приводятся классические методы прямого поиска минимума и градиентные. Много места уделено задачам линейного и нелинейного программирования. Для решения задач нелинейного программирования предложены процедуры линейной квадратичной аппроксимации целевой функции и ограничений в сочетании с методами множителей Лагранжа и переменной метрики. К большому достоинству книги можно отнести наличие 260 примеров решения задач по оптимизации. При этом 60 из них представлено в виде рабочих программ для ЭВМ.

Для инженеров, специализирующихся в области проектирования технических устройств и систем, а также для аспирантов и студентов инженерных вузов.

1986, 18 л. Цена 2 р. 10 к.



Scientific American, Vol. 237, No. 4, pages 84-95; October, 1977.

INTRODUCTION TO RADAR SYSTEMS. Merrill I. Skolnik. McGraw-Hill Book Company, 1980.

TRENDS RADAR SIGNAL PROCESSING. Eli Brookner in *Microwave Journal*, Vol. 25, No. 10, pages 20-39; October, 1982.

RADAR DETECTION AND TRACKING SYSTEMS. S. A. Hovanessian. Artech House, Inc., 1983.

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СТАНЦИИ. Текущие поступления. Серия РС-2-М. (Реферативный указатель по актуальным проблемам радиоэлектроники.) — М.: НИИЭИР, 1982.

Самойленко В. И., Шишов Ю. А. УПРАВЛЕНИЕ ФАЗИРОВАННЫМИ АНТЕННЫМИ РЕШЕТКАМИ. — М.: Радио и связь, 1983.

ТЕНДЕНЦИИ В СОЗДАНИИ ВОЕННЫХ РЛС ЗА ПОСЛЕДНИЕ 10 ЛЕТ. Специальный доклад. Перевод 82/51226 (ГПНТБ). *Microwave Journal*, 1979, v. 22, № 10, p. 28-36.

ФАЗИРОВАННЫЕ АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ. Тематический сборник научных трудов Московского авиационного института им. С. Орджоникидзе. Под редакцией Д. И. Вознесенского. — М.: 1980, 1981 гг.

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРОТЕЗИРОВАНИЕ УХА

PLACE AND TIME CODING OF FREQUENCY IN THE PERIPHERAL AUDITORY SYSTEM: SOME PHYSIOLOGICAL PROS AND CONS. E. F. Evans in *Audiology*, Vol. 17, No. 5, pages 369-420; September/October, 1978.

NEURAL PROSTHESES. Gerald E. Loeb, John McHardy, Ellen M. Kelliher and S. Barry Brummer in *Biocompatibility in Clinical Practice*: Vol. 2, edited by David F. Williams, CRC Press, Inc., 1982.

CLINICAL APPLICATIONS OF NEURAL PROSTHETIC TECHNIQUES. F. T. Hambrecht in *Applied Neurophysiology*, Vol. 45, No. 1-2, pages 10-17; January — April, 1982.

COCHLEAR PROSTHESES: AN INTERNATIONAL SYMPOSIUM. Edited by Charles W. Parkins and Samuel W. Anderson in *Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol. 405; 1983.

DESIGN AND FABRICATION OF AN EXPERIMENTAL COCHLEAR PROSTHESIS. G. E. Loeb, C. L. Byers, S. J. Rebscher, D. E. Casey, M. M. Fong, R. A. Schindler, R. F. Gray and M. M. Merzenich in *Medical & Biological Engineering & Computing*, Vol. 21, No. 3, pages 241-254; May, 1983.

ЭЛЕКТРОДНОЕ ПРОТЕЗИРОВАНИЕ УХА. Под редакцией Я. А. Альтмана. — Л.: Наука, 1984.

ДАМАССКАЯ СТАЛЬ

A HISTORY OF METALLOGRAPHY. Cyril S. Smith. The University of Chicago Press, 1965.

ON THE BULAT-DAMASCUS STEELS REVISITED. Jeffrey Wadsworth and Oleg D. Sherby in *Progress in Materials Science*, Vol. 25, pages 35-68; 1980.

DAMASCUS STEEL-MAKING. Jeffrey Wadsworth and Oleg D. Sherby in *Science*, Vol. 218, No. 4570, pages 328-329; October 22, 1983.

НАУКА ВОКРУГ НАС

HOW MANY LETTERS IN BIDWELL'S GHOST? AN INVESTIGATION OF THE UPPER LIMITS OF FULL REPORT FROM A BRIEF VISUAL STIMULUS. Daniel H. Kriegman and Irving Biederman in *Perception & Psychophysics*, Vol. 28, No. 1, pages 82-84; 1980.

WORKSHOPS IN PERCEPTION. R. P. Power, S. Hausfeld and A. Gorta. Routledge & Kegan Paul, 1981.

THE DELAYED ROD AFTERIMAGE. Edward H. Adelson in *Vision Research*, Vol. 22, pages 1313-1328; 1982.

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

ADVANCED DUNGEONS AND DRAGONS: MONSTER MANUAL. Gary Gygax and Greg Irons. Troubadour Press, 1979.

I CHING: BOOK OF CHANGES. Translated by James Legge. Citadel Press, 1983.

ROG-O-MATIC: A BELLIGERENT EXPERT SYSTEM. Michael Mauldin, Guy Jacobson, Andrew Appel and Leonard Hamey. Department of Computer Science, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Pa., 1983.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 20.3.85.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/8.

Гарнитуры таймс, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 6,25 бум. л.

Усл.-печ. л. 12,50.

Уч.-изд. л. 15,85.

Усл. кр.-отт. 47,36.

Изд. № 36/4199. Заказ 124.

Тираж 19500 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

Набрано в редакции по подготовке оригинал-макетов издательства «Мир» на фотонаборном комплексе «Компьюграфик»

Типография В/О «Внешторгиздат»

Государственного комитета СССР

по делам издательства,

полиграфии и книжной торговли.

127576, Москва, Илимская, 7



Издательство МИР предлагает:

Р. Хьюз

ГЛИКОПРОТЕИНЫ

Перевод с английского



Книга английского автора посвящена особому классу белков — гликопротеинам.

Содержание: Структура гликопротеинов и методы ее анализа. Овальбумин, иммуноглобулины, орозомукоид, муцины, гликопротеины мембран. Биосинтез гликопротеинов. Свойства и био-

логические функции лектинов. Внутриклеточный транспорт гликопротеинов. Распад и клиренс гликопротеинов. Роль гликопротеинов в адгезии клеток.

Для биохимиков, биологов смежных областей, для студентов биологических, медицинских и химических вузов.

1985, 6 л. Цена 70 к.



В следующем номере:



ПОЧЕМУ КИТЫ ВЫПРЫГИВАЮТ ИЗ ВОДЫ?

ВУЛКАНЫ НА ВЕНЕРЕ

ТРАНСЛОКАЦИИ ХРОМОСОМ —
ЕЩЕ ОДИН МЕХАНИЗМ РАКА У ЧЕЛОВЕКА

СКРЫТЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВСЕЛЕННОЙ

НЕОЛИТИЧЕСКАЯ КРЕПОСТЬ НА ЮГО-ЗАПАДЕ АНГЛИИ

ИОННАЯ ИМПЛАНТАЦИЯ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ
И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ЛУКА И ЧЕСНОКА

ПАРЕНИЕ ПТИЦ

ОБЗОР ЧИТАТЕЛЬСКИХ ОТКЛИКОВ НА НЕКОТОРЫЕ
СТАТЬИ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ В ПРОШЛЫХ НОМЕРАХ
ЖУРНАЛА В РУБРИКЕ «ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР»