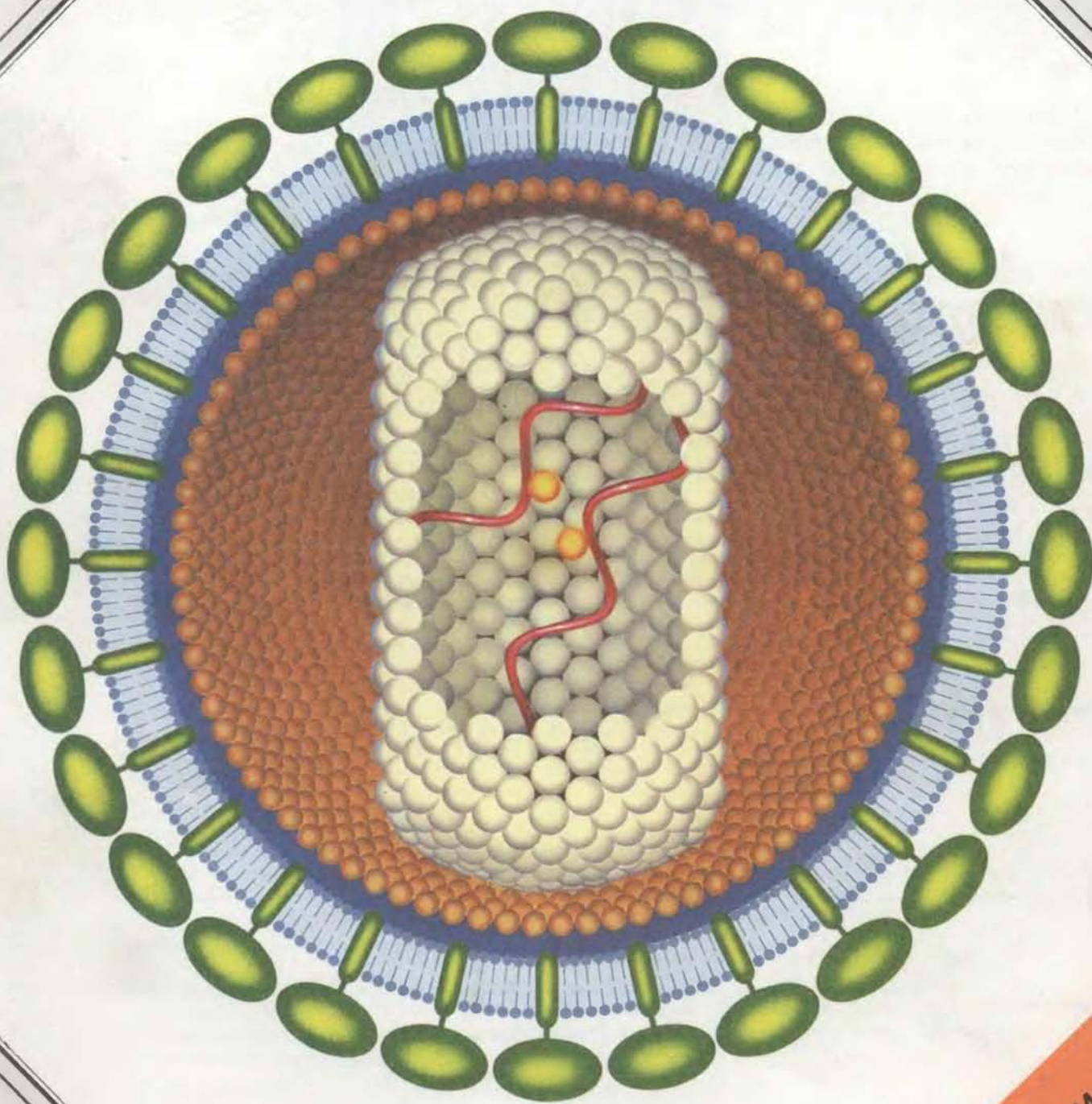


В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Март **3** 1987

ВИРУС СПИД

Издательство МИР предлагает:

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

Перевод с английского



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

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

Для геологов широкого профиля, петрологов, геохимиков.

1988, 27 л. Цена 3 р. 90 к.

Предварительные заказы на книги выпуска 1988 г. принимаются магазинами — опорными пунктами издательства «Мир» с января — февраля, а остальными магазинами научно-технической литературы с апреля — мая 1987 г.

Издательство заказов не принимает.



В МИРЕ НАУКИ

Scientific American · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

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

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» МОСКВА

№ 3 - МАРТ 1987

В номере:

- СТАТЬИ**
- 4 **О мощности советских стратегических вооружений** *Линн Р. Сайкс, Дэн М. Дэвис*
Оценки мощности советских стратегических вооружений были завышены. Пересмотр мощности ядерных взрывов, произведенных Советским Союзом, показывает, что СССР строго соблюдал условия «Порогового» Договора об ограничении подземных ядерных испытаний, сдерживая тем самым развитие своих стратегических боеголовок
(Scientific American, January 1987, Vol. 256, No. 1)
- 16 **Планета Уран** *Эндрю П. Ингерсолл*
В январе 1986 г. космический аппарат «Вояджер-2» пролетел мимо этой голубовато-зеленой планеты-гиганта. Один из полюсов Урана сейчас направлен к Солнцу, а ось магнитного диполя расположена наклонно. Хотя атмосфера планеты плотна и содержит ледяной аэрозоль, характер ветров в ней напоминает земной
(Scientific American, January 1987, Vol. 256, No. 1)
- 26 **Вирус синдрома приобретенного иммунного дефицита** *Роберт К. Галло*
Этот вирус — один из трех известных на сегодняшний день ретровирусов человека — был открыт и приобрел печальную известность в связи с тем, что вызываемое им опаснейшее заболевание в последнее время быстро распространяется, угрожая стать пандемией. Хотя о нем известно уже довольно много, пока нет оснований для оптимизма
(Scientific American, January 1987, Vol. 256, No. 1)
- 38 **Научение на основе инстинкта** *Джеймс Л. Гулд, Питер Марлер*
Научение и инстинкт, обычно противопоставляемые друг другу, на самом деле взаимосвязаны: процесс научения у животных, находящихся на всех уровнях мыслительной организации, возникает на основе инстинкта и находится под его контролем
(Scientific American, January 1987, Vol. 256, No. 1)
- 54 **Энергия, извлекаемая из океана** *Терри Р. Пенни, Десикан Бхаратхан*
Разность температур теплой поверхностной и холодной глубинной воды может служить основой для выработки электрической энергии. Такая технология окажется полезной, когда истощатся запасы нефти
(Scientific American, January 1987, Vol. 256, No. 1)
- 62 **Фрактальный рост** *Леонард М. Сандер*
Процесс роста в природе может приводить к образованию расплывающихся разреженных структур, называемых фрактальными. На примере одной из разновидностей фрактального роста можно объяснить такие непохожие физические явления, как образование кристаллов и движение воздушных пузырьков в жидкости
(Scientific American, January 1987, Vol. 256, No. 1)
- 70 **Липосомы** *Марк Дж. Остро*
Эти липидные капсулы открывают новый путь поступления лекарств в пораженные ткани. Заключение в такую капсулу лекарственное вещество достигнет своей мишени в концентрированном виде, избежав разбавления в крови
(Scientific American, January 1987, Vol. 256, No. 1)
- 80 **Эволюция руна** *Майкл Л. Райдер*
Свойства шерстного покрова овец и развитие текстильного ремесла тесно связаны между собой. Селекция овец на протяжении тысячелетий привела к появлению современных типов руна
(Scientific American, January 1987, Vol. 256, No. 1)

- РУБРИКИ**
- 3 Об авторах
- 15 50 и 100 лет назад
- 14, 25, 50, 88, 106 Наука и общество
- 90 Наука вокруг нас
- 96 Занимательный компьютер
- 102 Книги
- 107 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Harry Myers
PUBLISHER

Jonathan Piel
EDITOR

BOARD OF EDITORS

Philip Morrison
BOOK EDITOR

Armand Schwab, Jr.

Timothy Appenzeller

John M. Benditt

John Horgan, Jr.

David L. Cooke, Jr.

Ari W. Epstein

Gregory R. Greenwell

Robert Kunzig, James T. Rogers

Ricki L. Rusting, Karen Wright

Samuel L. Howard

ART DIRECTOR

Richard Sasso

DIRECTOR OF PRODUCTION

Gerard Piel

CHAIRMAN OF THE BOARD

Georg-Dieter von Holtzbrinck

PRESIDENT

© 1987 by Scientific American, Inc.

Товарный знак *Scientific American*, его текст и шрифтовое оформление являются исключительной собственностью Scientific American, Inc.

и использованы здесь в соответствии с лицензионным договором

В МИРЕ НАУКИ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
С. П. Капица

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
Л. В. 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. Суровова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. А. Стулов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
Т. Д. Франк-Каменецкая

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОНАБОРА
Г. С. Азимов

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
Л. П. Чуркина

КОРРЕКТОР
Н. А. Вавилова

ОФОРМЛЕНИЕ ОБЛОЖКИ РУССКОГО ИЗДАНИЯ
М. Г. Жуков

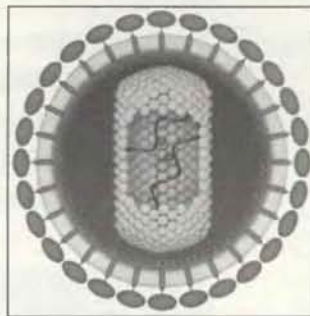
ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ
В. В. Ефимов

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

ТЕЛЕФОН РЕДАКЦИИ
286.2588

© перевод на русский язык
и оформление, «Мир», 1987

На обложке



ВИРУС СПИД

На обложке изображен ретровирус человека, вызывающий страшное заболевание — синдром приобретенного иммунного дефицита. Он носит название «Т-лимфотропный вирус человека III», или сокращенно HTLV-III (см. статью Роберта К. Галло «Вирус синдрома приобретенного иммунного дефицита», с. 26). Вирусная частица, диаметр которой около 0,0001 мм, имеет внешнюю оболочку, представляющую собой двуслойную липидную мембрану (голубая), пронизанную белками (зеленые). Другие белки образуют сердцевину частицы (оранжевые и желто-белые). Как у прочих ретровирусов, генетический материал представлен РНК (красная). С ней связан фермент обратная транскриптаза (ярко-желтая). Когда вирус попадает в клетку, обратная транскриптаза синтезирует ДНК, являющуюся копией вирусной РНК. Эта ДНК внедряется в хромосомную ДНК клетки. Впоследствии может произойти ее активация и всплеск репликации вируса, что губит клетку. HTLV-III обладает особым сродством к белым клеткам крови, называемым Т4-лимфоцитами, которые играют важную роль в ответе иммунной системы организма на инфекцию, поэтому заражение вирусом часто приводит к сильному иммунному дефициту.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: George V. Kelvin, Science Graphics

СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
5-12	Gabor Kiss	66	Andrew Christie (<i>вверху, внизу слева</i>); Nancy Hecker and David G. Grier (<i>внизу справа</i>)	77	Gabriel Lopez-Berestein
17	Jet Propulsion Laboratory/ National Aeronautics and Space Administration	67	Leonard M. Sander	78	Patricia J. Wynne
18, 19	Hank Iken	68	David G. Grier (<i>вверху слева, внизу справа</i>), Eshel Ben-Jacob, L. Niemyer, H. J. Wiesmann (<i>внизу слева</i>)	81	Stefan Meyer, Animals Animals (<i>вверху</i>); K. Stepnell, Taurus Photos, Inc. (<i>внизу</i>)
20	Jet Propulsion Laboratory/ National Aeronautics and Space Administration	68-84	Patricia J. Wynne	82-84	Patricia J. Wynne
21-23	Hank Iken	70	Pieter R. Cullis, Michael Hope, University of British Columbia	85	Michael L. Ryder (<i>вверху</i>), Thea Gabra-Sanders (<i>внизу</i>)
26	Zaki Salahuddin	72, 73	Patricia J. Wynne	86	Michael L. Ryder
28, 29, 31-34, 36	George V. Kelvin, Science Graphics	74	The Liposome Company, Inc. (<i>вверху, внизу слева</i>), Richard E. Pagano (<i>внизу справа</i>)	87	Ian R. Pitkethly (<i>вверху</i>), Michael L. Ryder (<i>внизу</i>)
35	Phyllis J. Kanki	75	Gabriel Lopez-Berestein	88-91	Thomas Gold (<i>вверху</i>), Craig F. Bohren (<i>внизу</i>)
39	Stephen Dalton, Photo Researchers, Inc.	76	Carl R. Alving	92-95	Michael Goodman
40-42	Jerome Kuhl			97	Oliver Strimper, The Computer Museum, Boston
43	Tom Prentiss			98, 99	Edward Bell
44-46	Jerome Kuhl			100	Pat Macaluso
54-60	Thomas C. Moore				
63	Paul Meakin				
64, 65	Andrew Christie				

Об авторах

Lynn R. Sykes, Dan M. Davis (ЛИНН Р. САЙКС, ДЭН М. ДЭВИС «О мощности советских стратегических вооружений») — геофизики, основные работы которых связаны с исследованием результатов подземных испытаний ядерного оружия и их роли в переговорах по контролю над вооружениями. Сайкс — профессор геологии Колумбийского университета; в течение 25 лет занимается изучением проблем регистрации ядерных взрывов. Был членом американской делегации, принимавшей участие в подписании в Москве договора об ограничении подземных испытаний ядерного оружия (1974). В 1960 г. получил в Массачусетском технологическом институте степени бакалавра и магистра, а в 1964 г. (в Колумбийском университете) — степень доктора философии. Нынешний пост в этом университете занимает с 1968 г. Сайкс внес большой вклад в теорию тектоники плит. В настоящее время изучает землетрясения в Геологической обсерватории Ламонт-Догерти Колумбийского университета. Дэвис был научным сотрудником этой лаборатории; в сентябре прошлого года перешел работать на факультет наук о Земле и космосе Университета шт. Нью-Йорк в Стони-Бруке. В 1978 г. получил степень бакалавра в Принстонском университете, а в 1983 г. — степень доктора философии в области геофизики в Массачусетском технологическом институте. Специализируется в изучении деформации коры.

Andrew P. Ingersoll (ЭНДРЮ П. ИНГЕРСОЛЛ «Планета Уран») — профессор планетарных наук в Калифорнийском технологическом институте. Занимается изучением атмосферы и климата планет, впервые этими проблемами заинтересовался еще на последнем курсе Амхерстского колледжа. Закончил Гарвардский университет, где получил степени магистра (1961 г.) и доктора философии (1965 г.). Ингерсолл стал участником проекта «Вояджер-2» еще до первой встречи космического аппарата с Юпитером в 1979 г. Кроме того, принимал участие в нескольких проектах по полету межпланетных автоматических станций «Пионер», но особенно он гордится участием в международном проекте «Вега», в который основной вклад внесли ученые СССР, социалистических стран, а также Франции, США и ряда других.

Robert C. Gallo (РОБЕРТ К. ГАЛЛО «Вирус синдрома приобретенного иммунного дефицита») — руководитель

лаборатории клеточной биологии опухолей в Национальном институте рака. Степень бакалавра получил в Провиденском колледже (шт. Род-Айленд), степень доктора медицины — в 1963 г. в Медицинском колледже Джефферсона. С 1965 г. он сотрудник Национального института рака. Работы Галло посвящены в основном раковым заболеваниям. Интерес к этой тематике обусловлен в значительной мере печальными событиями его жизни: когда Галло было 14 лет, у него на глазах умерла от лейкоза сестра. Деятельность Галло внесла весомый вклад в исследование рака. Особое значение имеет открытие связи между ретровирусами и некоторыми раковыми заболеваниями человека — лейкозами и лимфомами. В 1981 г. он возглавил исследовательскую группу, поставившую своей целью изучение синдрома приобретенного иммунного дефицита; в 1984 г. ими был идентифицирован вирус, вызывающий это заболевание. Галло — лауреат многих премий; в частности, в течение последних 5 лет ему дважды присуждалась премия Ласкера за достижения в области медицинских исследований.

James L. Gould, Peter Marler (ДЖЕЙМС Л. ГУЛД, ПИТЕР МАРЛЕР «Научение на основе инстинкта») — соответственно профессор биологии в Принстонском университете и профессор этологии в Рокфеллеровском университете. Гулд получил степень бакалавра в области молекулярной биологии в Калифорнийском технологическом институте в 1970 г., а затем, работая над диссертацией, занимался исследованиями поведения животных. Степень доктора философии получил в 1975 г. в Рокфеллеровском университете. В том же году поступил на работу в Принстонский университет. Хотя его основные интересы лежат в области коммуникации, навигации и научения у пчел, Гулд изучает также врожденное опознавание у птиц и половой отбор у гуппи. Марлер изучал ботанику в Лондонском университете, где в 1948 г. ему была присуждена степень бакалавра, а в 1952 г. — степень доктора философии. В 1954 г. он получил степень доктора философии в области зоологии в Кембриджском университете. Проработав девять лет в Калифорнийском университете в Беркли, он в 1966 г. перешел в Рокфеллеровский университет. В настоящее время Марлер изучает коммуникацию у животных в университетском центре полевых исследований в Милбруке, шт. Нью-Йорк.

Terry R. Penney, Desikan Bharathan (ТЕРРИ Р. ПЕННИ, ДЕСИКАН БХАРАТХАН «Энергия, извлекаемая из океана») — аэрокосмические инженеры, работающие в Институте солнечной энергии (SERI) в Голдене, шт. Колорадо. Пенни, занимающий должность управляющего отделом в отделении термике, поступил на работу в SERI в 1979 г., после завершения исследований двухфазных потоков в башенных охладителях с естественной тягой в Институте электрической энергии. Окончил Университет Пардю в 1973 г., получив степень бакалавра. Затем перешел в Университет шт. Теннесси, где в 1975 г. ему была присуждена степень магистра в области инженерной механики. Работал также инженером в Arnold Engineering Development Center в Таллахоме, шт. Теннесси, участвуя в проекте по созданию ветрового туннеля. Бхаратхан родился в Кумбаконаме в Индии и учился в Индийском технологическом институте в Мадрасе. В 1976 г. получил степень доктора философии в Виргинском университете. Четыре года был доцентом-исследователем в Дартмутском колледже, где изучал проблемы безопасности ядерной энергетики. Перешел в SERI в 1980 г.; в настоящее время исследует проблему использования тепла океана. Бхаратхан — сопредседатель группы по изучению солнечной энергии отделения теплопередачи и преобразования энергии в Американском институте инженеров-химиков.

Leonard M. Cander (ЛЕОНАРД М. САНДЕР «Фрактальный рост») проявил интерес к фракталам и неравновесному росту, когда стал увлекаться компьютерными играми. В настоящее время занимается экспериментальной проверкой некоторых положений теории твердого тела и статистической физики. Учился в Вашингтонском университете в Сент-Луисе; степень доктора философии в области физики была присуждена ему в 1969 г. в Калифорнийском университете в Беркли. После этого в течение года работал в Калифорнийском университете в Сан-Диего, сейчас он профессор физики в Мичиганском университете.

Marc J. Ostro (МАРК ДЖ. ОСТРО «Липосомы») — вице-президент, ответственный за научные исследования, в фирме Liposome Company, Inc., сотрудником которой он является с ее основания. Степень бакалавра биологических наук получил в Университете Лихай (Бетлехем, шт. Пенсильвания), степень доктора философии —

(продолжение см. на с. 108)

О мощности советских стратегических вооружений

Оценки мощности советских стратегических вооружений были завышены. Пересмотр мощности ядерных взрывов, произведенных Советским Союзом, показывает, что СССР строго соблюдал условия «Порогового» Договора об ограничении подземных ядерных испытаний, сдерживая тем самым развитие своих стратегических боеголовок

ЛИНН Р. САЙКС, ДЭН М. ДЭВИС

В США, в частности в высших правительственных кругах, утвердилось представление, что разрушительная мощь советского стратегического арсенала значительно превышает ту, которой располагают Соединенные Штаты. Противники контроля над вооружениями в США утверждают, что СССР удалось добиться этого преимущества путем использования лазеек в соглашениях по контролю над вооружениями, а возможно, посредством прямого нарушения предусмотренных ими ограничений, тогда как США строго ограничивали себя в этой области, придерживаясь если не духа, то буквы соответствующих договоров. Администрация Рейгана, в частности, утверждает, что СССР, более чем вероятно, нарушал «Пороговый» Договор об ограничении подземных ядерных испытаний. Договор этот предусматривает обязательство СССР и США не производить подземных испытаний ядерного оружия свыше определенной мощности.

Мы произвели перерасчет мощности подземных ядерных взрывов, произведенных Советским Союзом с целью испытания ядерного оружия.

ОТ КОМИТЕТА СОВЕТСКИХ УЧЕНЫХ В ЗАЩИТУ МИРА, ПРОТИВ ЯДЕРНОЙ УГРОЗЫ

В официальных выступлениях военнополитических руководителей США, в американских научных публикациях последних лет нередко выдвигаются утверждения о превосходстве СССР в суммарной мощности ядерно-стратегического арсенала, о неких нарушениях СССР существующих соглашений по ограничению ядерных вооружений.

При этом мы использовали усовершенствованный метод — тот, который правительство США приняло лишь в прошлом году, хотя о его эффективности высказывались многие сейсмологи на протяжении прошедшего десятилетия. Наши результаты показывают, что мощность произведенных в СССР подземных ядерных взрывов постоянно завышалась как правительственными, так и неправительственными экспертами. Полученные нами меньшие величины мощности взрывов показывают, что вопреки утверждениям правительства США Советский Союз не нарушал предела, предусмотренного «Пороговым» Договором. Из наших определений следует, что мощность имеющихся на вооружении СССР боеголовок также завышалась и что в прошедшее десятилетие между двумя сверхдержавами фактически преобладало стратегическое равновесие по ударной силе. Более того, по нашим выводам, советские ядерные боеголовки менее эффективны, чем американские, т. е. обладают гораздо меньшей взрывной мощностью на единицу массы.

Следовательно, ограничения, нала-

Предлагаемая вниманию читателей статья аргументированно и ясно показывает абсолютную несостоятельность этих утверждений. Авторы статьи — ученые из США Л. Сайкс и Д. Дэвис, используя новейшую методологию обработки сейсмоданных, приходят к выводу о том, что в американских оценках мощности советских ядерных взрывов традиционно и осознанно значительно завышались, что СССР неизменно следовал букве и духу «Порогового» Договора об ограничении подземных испытаний и вынужден был адаптировать в соответствии с ним и со-

гаемые как «Пороговым» Договором, так и соглашениями об ОСВ, сдерживали Советский Союз в большей степени, чем США в создании и развертывании ракет с ядерными боеголовками высокой мощности. Эти результаты говорят о необходимости пересмотреть ту роль, которую договоры по контролю над вооружениями играли и еще могут играть в формировании стратегического равновесия между двумя странами.

ДОГОВОР об ограничении испытаний ядерного оружия, подписанный США и СССР (а также Великобританией. — *Ред.*) в 1963 г., запрещает ядерные взрывы в атмосфере, космическом пространстве и под водой. Хотя этот Договор и привел к уменьшению радиоактивного загрязнения биосферы, он не остановил гонки ядерных вооружений; он лишь «загнал» ядерные взрывы под землю. Эти взрывы порождают сейсмические волны, распространяющиеся в земной коре и мантии (объемные волны), а также вдоль земной поверхности (поверхностные волны); поэтому сейсмологические методы являются основным средством как обнаруже-

глашениями ОСВ реализацию своих стратегических программ.

Следует заметить, что фигурирующие в статье данные по классификации советских стратегических вооружений почерпнуты исключительно из западных источников. Их использование в статье, однако, носит вспомогательный, иллюстративный характер и никоим образом не влияет на принципиальные выводы авторов.

Аргументированную оценку статьи см. в газете «Правда», 16 января 1987 г.

Эксперт Комитета А. А. Васильев

ния ядерных взрывов, так и определения их характеристик. Сейсмологи могут отличать подземные ядерные взрывы от землетрясений, а также точно оценивать мощность зарядов.

Разработка и испытание ядерных боеголовок и средств их доставки осуществляются в Советском Союзе в обстановке большой секретности. Данные относительно мощности и другую соответствующую информацию СССР предал гласности только в связи с немногочисленными подземными «мирными ядерными взрывами», которые, по-видимому, не были связаны с разработкой оружия. Однако, сейсмические волны от ядерных взрывов распространяются на большие расстояния, где их могут заметить сейсмографы, находящиеся далеко от места взрыва. Такие сейсмологические данные, а также методика оценки мощности ядерных взрывов широко доступны.

Размер сейсмического события, будь то ядерный взрыв или землетрясение, сейсмологи оценивают по шкале магнитуд. Магнитуда сейсмического события равна логарифму амплитуды вызванных им сейсмических волн, нормированному, т.е. приведенному к фиксированному расстоянию между источником и станцией наблюдения. В наших расчетах мы использовали две шкалы магнитуд: одну, основанную на объемных волнах типа Р (продольные — *Ред.*) и другую, основанную на поверхностных волнах. Для оценки мощности взрыва чаще всего используют Р-волны, поскольку они широко регистрируются даже при взрывах малой мощности. Магнитуда сама по себе еще не указывает мощности ядерного взрыва. Откалибровать магнитуду как характеристику ядерного заряда можно по магнитудам, измеренным при подземных взрывах известной мощности. Имеются опубликованные данные о мощности подземных ядерных взрывов в шести районах США и на юге Алжира, где Франция провела подземные ядерные испытания в 60-х годах. Если магнитуды объемных и поверхностных волн, зарегистрированных в этих испытаниях, графически представить как функцию логарифма соответствующих им мощностей, то можно построить калибровочную прямую (см. рисунок на с. 7).

Казалось бы, при наличии такой прямой можно непосредственно оценить мощность подземных взрывов, произведенных в СССР. Для этого достаточно измерить магнитуду сейсмических волн, порожденных взрывом, и по калибровочной прямой найти искомую мощность. Однако на практике возникают осложнения.

Главное из них заключается в том, что на сейсмические волны влияет различие локальных геологических характеристик испытательных полигонов. Другая проблема — «смешанное» возбуждение сейсмических волн: они порождаются собственно взрывом и освобождением естественных тектонических напряжений в окрестности подземного взрыва во время или сразу после детонации. Наконец, следует учитывать, что на амплитуду волн Р влияют температуры в нижней части земной коры и в верхней мантии.

СОВЕТСКИЙ СОЮЗ производил испытания ядерного оружия в трех основных районах: один из них находится в восточном Казахстане, недалеко от города Семипалатинска, а два других — на арктическом острове Новая Земля. В США некоторые подземные испытания проводятся на далеком острове Амчитка (Алеутская островная цепь), однако большинство взрывов проведены в более доступном месте — на испытательном полигоне в штате Невада.

Оказывается, что калибровочные шкалы для пересчета магнитуды по

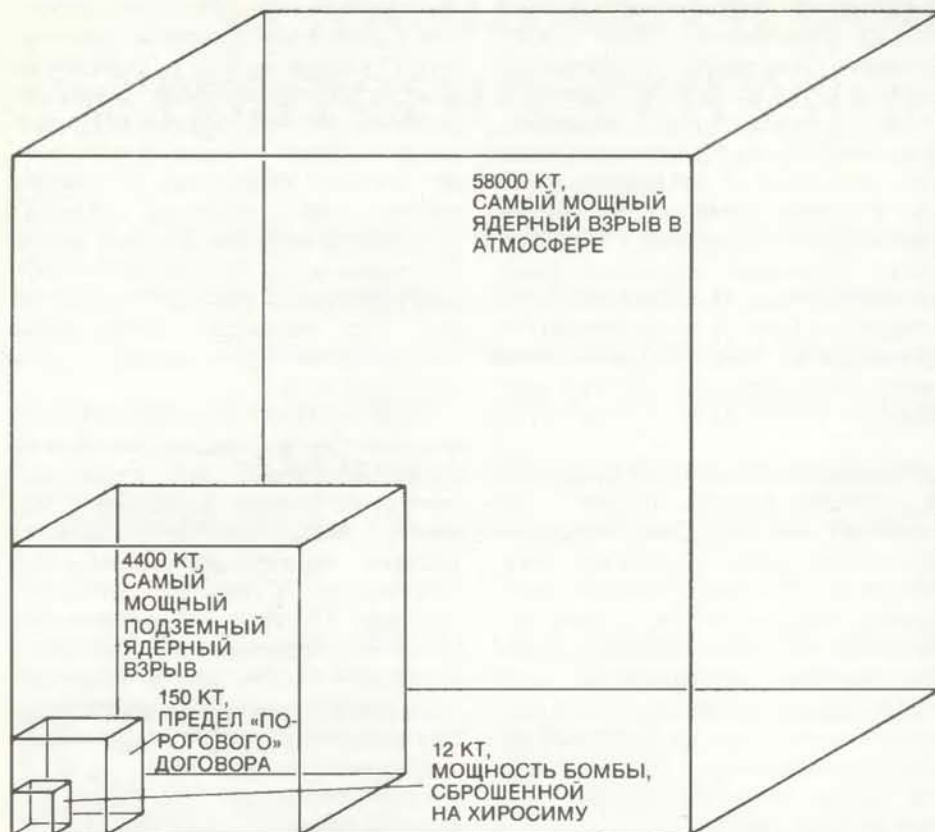
верхностных волн в логарифм мощности взрыва мало зависят от типа породы в районе взрыва, — если это не сухой пористый аллювий. Сухой аллювий — это отложения в основном песка и гравия с большим количеством пустот. Магнитуды как поверхностных, так и объемных волн, порожденных взрывом в сухом аллювии, меньше чем при взрывах в твердых породах или ниже уровня грунтовых вод, поскольку значительная часть энергии взрыва расходуется на закрытие пустот.

На испытательных полигонах в Советском Союзе толщина отложений аллювия слишком мала, чтобы осуществлять целиком в пределах аллювия подземные взрывы сильнее нескольких килотонн (килотонна — это энергия взрыва 1000 тонн тринитротолуола). Поэтому для определения мощности взрывов, производимых в Советском Союзе, можно использовать применимую почти универсальную калибровочную кривую для магнитуды поверхностных волн.

Сейсмические сигналы, вызванные высвобождением тектонических напряжений, ранее несколько запутывали идентификацию сигналов от взры-



ГЛАВНЫЕ ПОЛИГОНЫ, где Советский Союз производит подземные испытания ядерного оружия, — это архипелаг Новая Земля (в двух различных местах) и восточный Казахстан, вблизи города Семипалатинска. Хотя самые мощные ядерные взрывы произведены на полигонах на Новой Земле, большинство испытаний проведено на Казахстанском полигоне. Взрывы ядерных устройств, не имеющие отношения к разработке оружия, осуществляется также и в других районах СССР.



ОТНОСИТЕЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ заряда, или энергия взрывов, в различных ядерных устройствах представлена в виде параллелепипедов, объем которых пропорционален мощности заряда. На диаграмме представлены заряды самых мощных ядерных устройств, когда-либо взорванных в атмосфере (в 1961 г. Советским Союзом) и под землей (в 1971 г. США), а также мощность в 150 кт, предусмотренная Договором об ограничении подземных испытаний ядерного оружия («Пороговым» Договором), и мощность атомной бомбы, сброшенной на Хиросиму в 1945 г. (1 кт эквивалентна мощности взрыва 1000 т тринитротолуола.)

вов, однако современные аналитические методы позволяют разделить поверхностные волны от этих двух источников. Во всяком случае высвобождение тектонических напряжений не существенно усложняет сигналы от взрывов в Неваде или Амчитке в США или на Новой Земле в СССР. Здесь либо естественные тектонические напряжения невелики или же сигнал от их высвобождения пренебрежимо мало влияет на магнитуды поверхностных волн, если они усреднены по данным станций для разных точек Земли. В восточном Казахстане естественные напряжения ориентированы так, что сигнал от их высвобождения нельзя исключить усреднением магнитуд. При вычислении мощности взрывов в этом районе по поверхностным волнам мы вносили поправки на тектоническое высвобождение.

ПРИ взрывах в твердых породах, например в граните, амплитуда Р-волн обычно в 1,5—2 раза выше, чем при взрывах в мягкой породе, например в вулканическом туфе и глинистом сланце. Поэтому тип породы в том районе, где испытывается ядерное оружие, является важным факто-

ром в оценке мощности взрывов по магнитудам объемных волн. Имеющиеся геологические данные позволяют предположить, что для большей части взрывов в восточном Казахстане подходит калибровочная кривая для твердых пород. Это предположение лучше всего проверить путем сравнения мощностей взрывов, определенных по поверхностным и объемным волнам при взрывах в Казахстане мощностью 150 кт. Обе магнитуды дают примерно одинаковые мощности.

Для Новой Земли, где Советский Союз производил самые сильные подземные ядерные взрывы, их мощность можно подсчитать по калибровочной кривой, построенной по магнитудам объемных волн при американских ядерных взрывах мощностью несколько выше 200 кт. Такие мощные взрывы, чтобы не выйти на поверхность, должны производиться на глубине 500—2000 м. Породы на таких глубинах, как правило, насыщены водой, они прочнее и не менее пористые, чем породы на меньшей глубине. Этими факторами объясняется то, что Р-волны от мощных взрывов на больших глубинах одинаковы незави-

симо от того, где произведены взрывы — в Неваде или на Новой Земле; требуется только внести поправки на затухание.

Оценка мощности зарядов с помощью объемных волн имеет существенный недостаток: поглощение и затухание для Р-волн сильнее, чем для поверхностных волн, и зависит от температуры на глубине от 25 до 150 км под полигоном. Испытательный полигон в Неваде, поставляющий большую часть информации о мощности ядерных зарядов, находится в районе, в котором имел место крупный геологический эпизод деформации и нагревания пород за прошедшие несколько миллионов лет. Поэтому [при равном ядерном заряде. — Ред.] Р-волны от подземных взрывов в штате Невада затухают сильнее, а магнитуды объемных волн будут меньше, чем у Р-волн от взрывов на Амчитке, в Центральной Азии или на Новой Земле, т. е. в районах, которые не подвергались геологически недавнему нагреву. Если использовать данные соотношения Р-волн и мощности взрывов в Неваде для оценки мощности ядерных взрывов на территории Советского Союза (или же взрывов в других регионах с малым затуханием, например в Амчитке) без поправки на этот важный эффект, то заряды окажутся завышенными в 2—4 раза. Вплоть до прошлого года эксперты правительства США не учитывали должным образом этот эффект в своих подсчетах мощности советских ядерных взрывов.

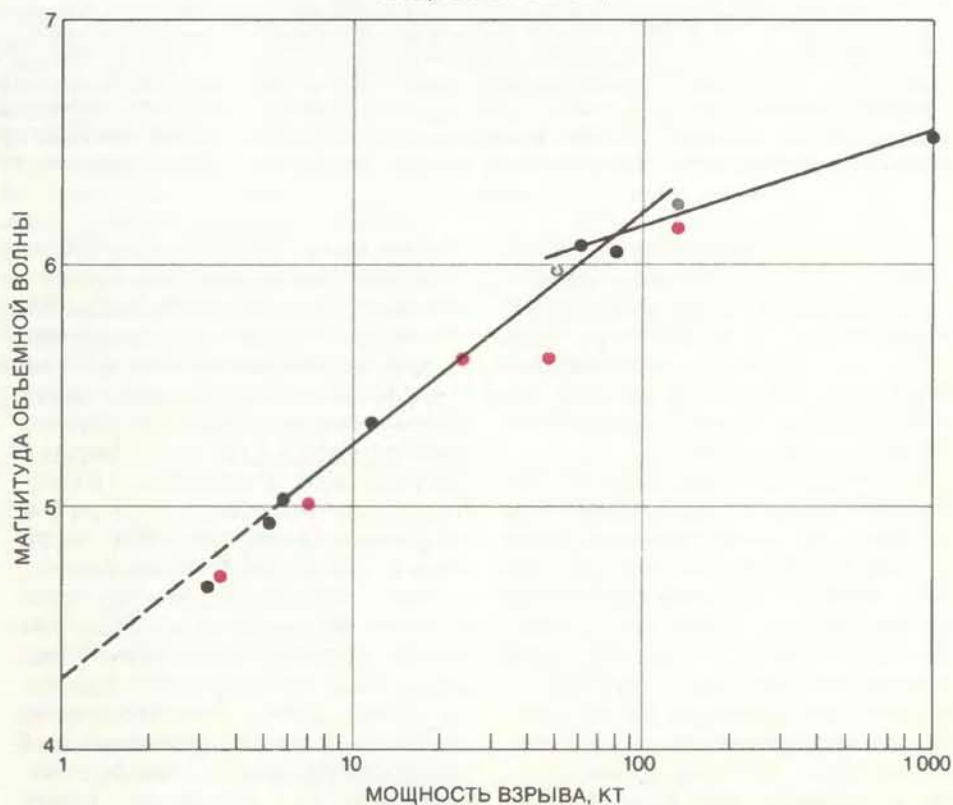
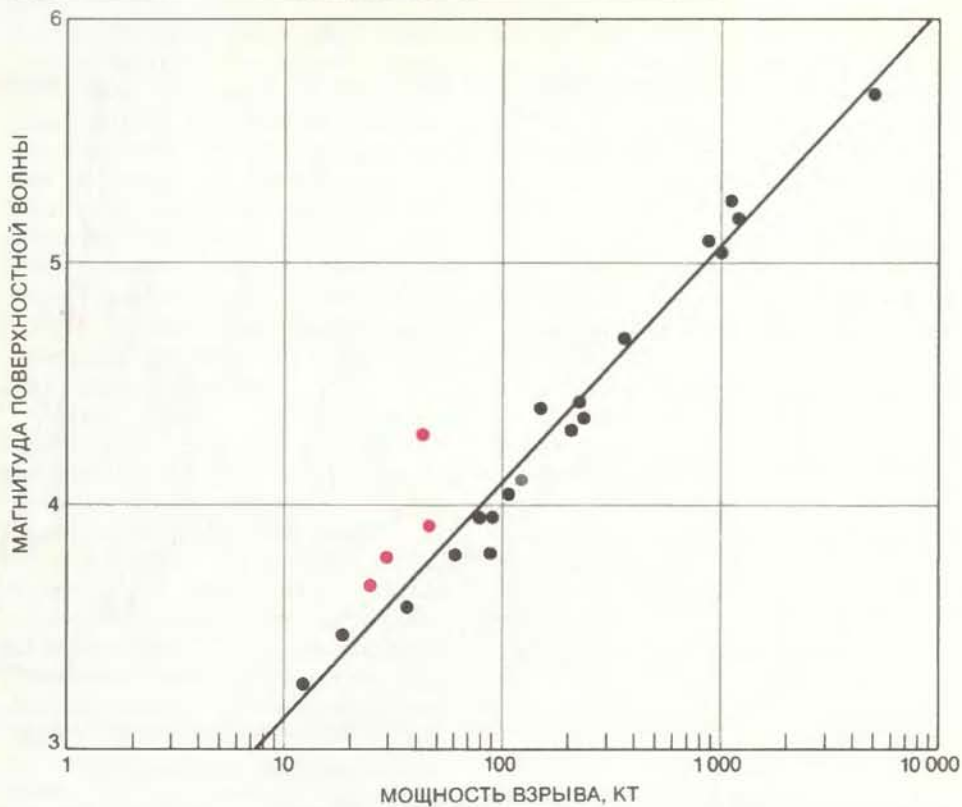
ИСПОЛЬЗУЯ должным образом исправленные калибровочные кривые, мы подсчитали мощности всех известных подземных ядерных взрывов, проведенных Советским Союзом, затем мы рассмотрели вопрос, действительно ли СССР нарушал, как утверждает правительство США, «Пороговый» Договор. Этот Договор (до сих пор не ратифицированный США) устанавливает предельный заряд 150 кт для подземных испытаний ядерного оружия. Он также включает Протокол, положения которого способствуют проверке соблюдения Договора путем детализации обмениваемых технических данных и указания районов, где можно проводить испытания.

Наши результаты показывают, что начиная с 31 марта 1976 г. (дата вступления в силу «Порогового» Договора) ни один из взрывов не имел мощность, явно превышающую 150 кт, хотя семь взрывов (все на полигоне в Казахстане) были очень близки к этому пределу. Следовательно, заявления, будто Советский Союз нарушает «Пороговый» Договор, не

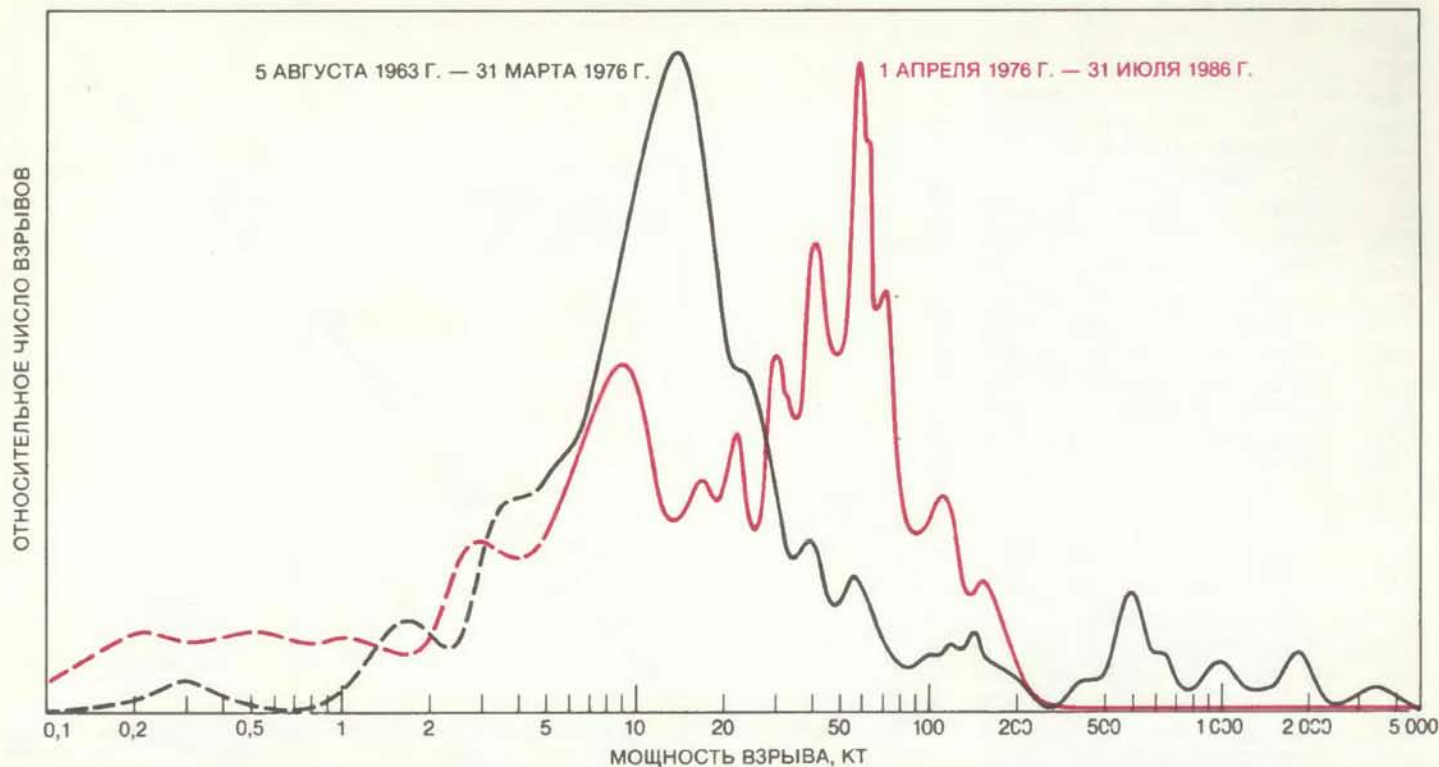
имеют под собой какой-либо научной основы. По нашим подсчетам мощность некоторых из семи упомянутых взрывов была на несколько процентов выше 150 кт, а мощность других — несколько ниже 150 кт. В трех случаях, когда измерялись магнитуды как объемных, так и поверхностных волн, мощность взрыва получалась несколько выше 150 кт по одной магнитуде и несколько ниже по другой. Такого расхождения вполне можно ожидать из-за погрешности измерений; следовательно, имеющиеся данные соответствуют предположению, что семь самых мощных взрывов имели одинаковую мощность, очень близкую к 150 кт.

С другой стороны, нельзя исключить возможность того, что мощность одного или двух подземных ядерных взрывов, произведенных Советским Союзом начиная с 1976 г., превысила предел на несколько процентов. Во всяком случае за этот же период США взорвали ряд ядерных зарядов, мощность которых граничила с пределом, предусмотренным «Пороговым» Договором. Действительно, мощность трех произведенных США взрывов по сейсмическим данным несколько превышает 150 кт. Вероятно, что эти оценки завышены вследствие погрешностей в сейсмических измерениях; их одним недостаточно, чтобы исключить возможность незначительного превышения порога при американских взрывах. В этой связи весьма недвусмысленно выглядит показание в конгрессе бывшего директора Лос-Аламосской лаборатории Д. Керра. Он заявил, что военное значение могли бы иметь только взрывы ядерного оружия с зарядом вдвое больше 150 кт.

Если сгруппировать по оценкам мощности все зарегистрированные подземные взрывы, то обнаруживается интересная картина (см. рисунок на с. 8). С 1963 г., когда вступил в силу Договор об ограничении испытаний ядерного оружия, и до 1976 г., когда вступил в силу «Пороговый» Договор, Советский Союз, видимо, предпочитал подземные испытания большой мощности: 500, 1000 и 2000 кт. (Мощность советских ядерных боеголовок обычно выражается круглым числом, поскольку в СССР принята метрическая система единиц.) Все эти испытания оружия большой мощности производились на Новой Земле. В тот же период было явно мало взрывов в интервале мощностей от 150 кт до чуть менее 400 кт. В это же время Советский Союз практиковал многочисленные испытания зарядов мощностью примерно 18 кт. Скорее всего, он испытывал взрыватели, использующие реакцию распа-



КАЛИБРОВОЧНЫЕ ЛИНИИ, соотносящие магнитуду двух типов сейсмических волн с мощностью подземного ядерного взрыва. Эти линии можно построить по точкам, соответствующим подземным взрывам известной мощности, произведенным в США (черные точки), СССР (цветные точки) и Алжире (серые точки). Для поверхностных волн, распространяющихся в верхней части земной коры, получается почти универсальная калибровочная линия (вверху) для всего диапазона мощностей, поскольку на эти волны мало влияют геологические особенности района испытаний. Магнитуды объемных волн для взрывов в твердой породе (внизу) находятся по амплитуде Р-волн — сейсмических волн сжатия, распространяющихся через мантию и кору Земли. Калибровочные линии построены с поправкой на эти и другие явления, искажающие сигнал, и могут быть использованы для оценки мощности взрывов в восточном Казахстане. Большинство результатов измерений, использованных для построения этих графиков, представлены П. Д. Маршаллом из министерства обороны Великобритании, а также Д. Л. Спрингером и Х. К. Родином из Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса.



ИСПЫТАНИЯ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ в СССР заметно изменились после 31 марта 1976 г., когда вступил в силу «Пороговый» Договор. До этого (черная кривая) мощность крупных ядерных взрывов группировалась вокруг значений 500, 1000 и 2000 кТ. Явный пик около 18 кТ, вероятно, связан с частыми испытаниями атомных взрывателей для термоядерных боеголовок гораздо большей мощности. После

принятия договора (цветная кривая) Советский Союз в противоположность утверждениям правительства США ни разу не производил испытания ядерного оружия, мощность которого заметно превысила бы 150 кТ. Оценки мощности всех ядерных взрывов не лишены погрешности; наименее точными являются данные относительно взрывов до 5 кТ (пунктирная линия).

да, чтобы вызвать гораздо более мощную реакцию синтеза в термоядерном оружии. Взрывы мощностью в пределах 25—70 кТ, вероятно, были полномасштабными испытаниями боеголовок небольшой мощности и неполномасштабными испытаниями оружия большей мощности.

Со времени вступления в силу «Порогового» Договора Советский Союз проводил гораздо больше испытаний в пределах 25—75 кТ; вероятно, это была комбинация полномасштабных и неполномасштабных испытаний. Мощность значительной части ядерного оружия, включая то, что на подводных лодках, меньше 150 кТ, однако, оружие, испытывавшееся под землей до 1976 г., часто имело мощность свыше 150 кТ. В силу «Порогового» Договора ни США, ни СССР не производят полномасштабных испытаний боеголовок мощностью более 150 кТ вот уже более 11 лет.

БОЕГОЛОВКИ большой мощности, вероятно, будут переноситься стратегическими средствами доставки, способными достигать целей на территории США, стартовав с мест своего размещения. К таким средствам относятся межконтинентальные баллистические ракеты (МБР), баллистические ракеты, запускаемые с под-

водных лодок (БРПЛ), и бомбардировщики дальнего действия, оснащенные крылатыми ракетами или ракетами малой дальности класса «воздух — земля». Ядерная головка МБР доставляется к цели в головной части ракеты, защищающей ее от сверхвысоких температур при входе ракеты в плотные слои атмосферы. Некоторые ракеты (включая те, которые были развернуты до конца 60-х годов) имеют только одну головную часть, другие — две или три, которые перед взрывом разделяются, поражая тем самым большую территорию. Имеются также стратегические ракеты, способные нести до 14 разделяющихся головных частей индивидуального наведения. Каждая головная часть индивидуального наведения может быть направлена на определенную цель после незначительного изменения баллистической траектории разделяющего устройства, на котором головные части выводятся в космос. Забрасываемая масса ракеты включает массу боеголовки, ложных целей и разделяющего устройства.

Для определения мощности боеголовки данной ракеты необходимо иметь представление о ее забрасываемой массе. Между этими двумя величинами может быть выведена примерно линейная зависимость, во мно-

гом подобная той, с помощью которой мы определяли мощность испытываемого ядерного оружия по магнитудам сейсмических волн. Однако в данном случае имеется существенное различие. Отношение мощности боеголовки к забрасываемой массе ракеты по мере усовершенствования ядерных боеприпасов и конструкции головной части ракеты постепенно росло.

Мощность американских боеголовок при данной забрасываемой массе возрастала в среднем примерно на 4% в год для ракет с моноблочной головной частью и на 5% для ракет с разделяющимися головными частями (РГЧ). При внесении поправок, учитывающих эти изменения мощности в течение года, получается простая линейная зависимость, хорошо согласующаяся с широко доступными данными для американских ракет (см. рисунок на с. 11).

Если логарифм мощности боеголовки представить как функцию логарифма забрасываемой массы, приходящейся на одну боеголовку ракеты, то точки распределяются вдоль линии с угловым коэффициентом, равным 1 (т. е. вдоль линии, составляющей с горизонтальной осью угол в 45°), при условии, что масса головной части пропорциональна ее мощности. Однако в действительности многие

компоненты ракеты не пропорциональны мощности. Например, размер «ядерного» запала термоядерных боеголовок остается примерно одним и тем же независимо от мощности боеголовок. Поэтому линейная зависимость, представляющая собой отношение мощности боеголовки к забрасываемой массе ракеты, будет иметь больший угловой коэффициент. Это означает, что боеголовки данной мощности имеют меньшую массу по сравнению с двумя боеголовками в два раза меньшей мощности. На самом деле мощность боеголовки и забрасываемая масса американских ракет, разворачиваемых примерно в одно время, таковы, что график указанной линейной зависимости между этими величинами имеет угловой коэффициент, несколько превышающий 1.

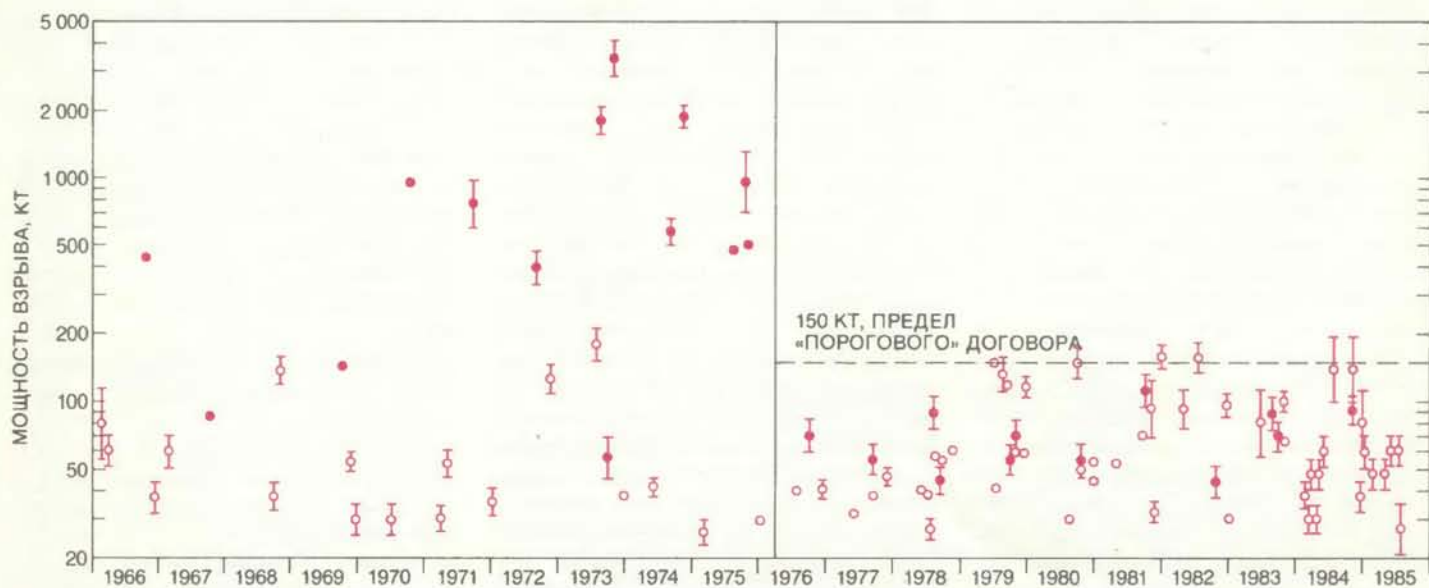
ВЫШЕУКАЗАННЫЙ подход дает возможность соотнести оценку мощности советских боеголовок с мощностью зарегистрированных подземных взрывов, произведенных Советским Союзом. Исходя из опубликованных оценок забрасываемой массы ракет и даты развертывания первых ракет, по диаграммам соотношения между забрасываемой массой ракеты и мощностью доставляемого ею ядерного заряда можно оценить вероятную мощность боеголовки. Любые испытания в этом диапазоне мощности, которые проводились примерно в то же время, что и первое летное испытание ракеты, скорее всего следует рассматривать и как испытания боеголовок этой ракеты. Что-

бы определить, в какой мере «Пороговый» Договор ограничивает Советский Союз в разработке и развертывании своих стратегических вооружений (в отличие от тактического оружия или ядерного оружия малой дальности), мы сосредоточили свое внимание на испытаниях оружия, мощность которого равна или превышает 100 кт. Эти испытания, вероятно, являются неполномасштабными испытаниями боеголовок для стратегических средств доставки.

Однако здесь мы сталкиваемся с трудностью следующего характера: как можно построить диаграмму соотношения между мощностью боеголовки и забрасываемой массой советских ракет в отсутствие данных относительно мощности советских боеголовок? (Хотя имеются опубликованные оценки мощности советских боеголовок, мы не стали обращаться к данным, которые, скорее всего, являются неточными.) Выходом в данном случае может служить предположение, что крупнейшие испытания ядерного оружия, произведенные Советским Союзом за период с 1963 по 1976 г., были полномасштабными. Тот факт, что тогда еще не существовало ограничения на мощность взрывов, которое предусматривает «Пороговый» Договор, говорит об обоснованности нашего предположения. Оно подтверждается еще и тем, что в то же время производились неоднократные испытания ядерного оружия лишь нескольких типов, отличающихся по своей мощности. Советский Союз не может производить взрывы

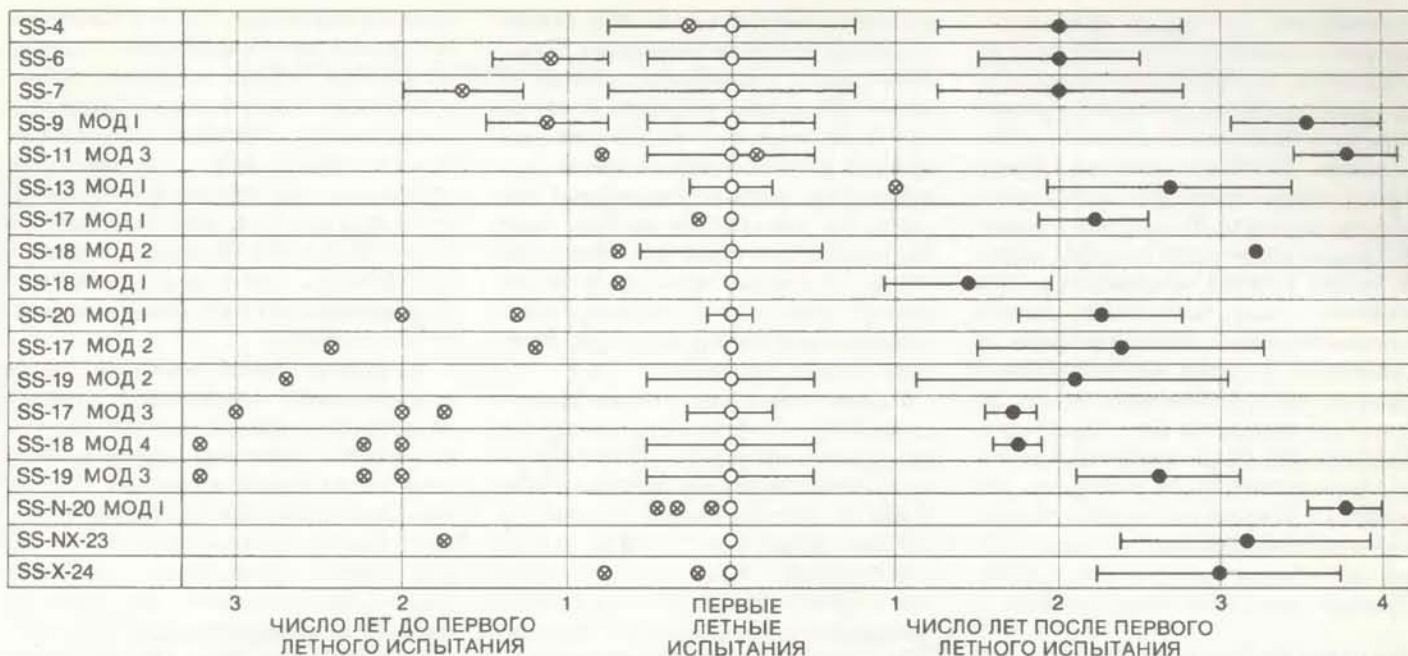
мощностью более 150 кт в Казахстане, поскольку сейсмические волны, вызванные такими взрывами, могут причинить повреждения наземным сооружениям. Поэтому он был вынужден производить полномасштабные испытания ядерного стратегического оружия большой мощности на Новой Земле, где погодные условия и удаленность полигона позволяют производить не более одного-двух испытаний в год.

В решении нашей задачи мы также использовали корреляцию между мощностью испытываемого ядерного оружия и темпами развертывания новых стратегических систем. Как показывают прошлые наблюдения, развертыванию нескольких ракетных систем всегда предшествует ряд крупных серий испытаний. Так, через несколько лет после проведения Советским Союзом в 1961—1962 гг. испытаний ядерного оружия в атмосфере им были развернуты новые ракеты. Наоборот, когда наблюдается временное «затишье» в ядерных испытаниях, как, например, после вступления в силу в 1963 г. Договора о запрещении испытаний ядерного оружия, в последующие несколько лет отмечается развертывание лишь небольшого количества новых стратегических систем. Поскольку за период с 1963 по 1976 г. СССР не испытывал оружия мощностью в пределах 150—400 кт, то представляется маловероятным, что в тот же период он занимался разработкой боеголовок указанного диапазона мощности. Наличие этого разрыва в мощностях испытательных



ОЦЕНКИ МОЩНОСТИ всех зарегистрированных подземных ядерных взрывов мощностью свыше 25 кт, произведенных в Советском Союзе с 1961 по 1985 г. Оценки для всех взрывов на Новой Земле (точки) мощностью свыше 110 кт, как и для нескольких взрывов мощностью 80—150 кт в восточном Казахстане (кружочки) за период с 1976 по 1981 г.,

являются усредненными и основаны на магнитудах, определенных по объемным и поверхностным волнам. Остальные взрывы оценены только по объемным волнам. Советский Союз обычно взрывает устройства примерно одинаковой мощности в течение года-двух. Вертикальными линиями отмечены пределы погрешности.



ВРЕМЕННАЯ ДИАГРАММА разработки и развертывания советских ракет различного типа обнаруживает определенную закономерность. За один-три года до первых летных испытаний ракеты (кружочки) проводятся (до трех раз) полномасштабные испытания боеголовки, предназначенной для этой ракеты. После того как конструкции ракеты и боеголовки признаются удовлетворительными, эти два компонента объединяют и осуществляется (в течение одного-четырёх лет после первого летного испытания)

развертывание ракеты (точки). Изображенные на диаграмме отрезки отмечают пределы погрешности. Такая временная закономерность в проведении испытаний и развертывании ракет помогла авторам «распознать» (на основе последовательности зарегистрированных подземных испытаний ядерного оружия, произведенных Советским Союзом) испытания боеголовок для некоторых типов советских ракет.

взрывов и развертываемого ядерного оружия мы учитывали в своих расчетах и исходили именно из этого обстоятельства, зная, что боеголовки мощностью менее 400 кт можно автоматически исключить из рассмотрения.

В середине 60-х годов Советский Союз только начал производить подземные испытания ядерного оружия, мощность которого в большинстве случаев была невелика. В 1966 г. он, однако, произвел испытание ядерного устройства мощностью 400 кт. То был самый мощный подземный взрыв из всех, которые были произведены Советским Союзом в 60-х годах, и по мощности превосходил их по крайней мере в три раза. Возможно, до 1963 г. испытание этого устройства производилось в атмосфере, а возможно, оно разрабатывалось как ядерная боеголовка для ракеты, конструкция которой оказалась не совсем удачной, в связи с чем ракеты этого типа не были развернуты в большом количестве. По нашему предположению технические данные советской МБР типа SS-13, летные испытания которой были проведены в конце 1965 г. с последующим (через три года) ее развертыванием, удовлетворяют последней категории. Временной порядок разработки МБР SS-13 имеет определенную аномалию, поскольку ее испытание (но не развертывание) производилось до испытания боего-

ловки. Весьма вероятно, что Советский Союз произвел бы испытания ядерной боеголовки ракеты SS-13 на год или два раньше, как это обычно делалось, если бы не ограничения, связанные с переходом к испытаниям в новых условиях, под землей.

В ТРЕХ САМЫХ крупных подземных испытаниях, которые Советский Союз произвел до вступления в силу «Порогового» Договора, мощность ядерных зарядов значительно превышала 1 Мт. Два из них (сентябрь 1973 г. и ноябрь 1974 г.) имели мощность около 2 Мт, третий (октябрь 1973 г.) — около 3,5 Мт. Можно предположить, что это были испытания двух или трех модификаций (сокращенно — мод) моноблочных боеголовок для МБР типа SS-17 мод 2, SS-18 мод 1 и SS-19 мод 2. Боеголовки мощностью 3,5 Мт, вероятно, предназначались для SS-19 мод 2, поскольку мод 1 и мод 3 ракеты (которые имели несколько большую забрасываемую массу) могли бы нести 6 головных частей индивидуального наведения мощностью 400 и 500 кт каждая. Боеголовка мощностью 2 Мт была бы, конечно, слишком легкой. Возможно, что такую боеголовку имеет ракета SS-17 мод 2, забрасываемая масса которой в 2 раза меньше, чем у ракеты SS-19 мод 2.

Судя по всему, Советский Союз производил подземные испытания

боеголовок, предназначенных для ракет SS-17 и SS-19 с одной головной частью, но не для больших ракет SS-18. Это предположение подтверждается тем, что МБР SS-18 заменили МБР SS-9, которые были впервые развернуты в 1966 г. Очевидно, что ракеты SS-18 мод 1 были сконструированы так, чтобы не просто занять место ракет SS-9 в стартовых шахтах, но и нести боеголовки, которые были испытаны в атмосфере в начале 60-х годов. «Пороговый» Договор вступил в силу до того, как Советский Союз мог заменить боеголовку образца 60-х годов, установленную на SS-9 (по нашим оценкам мощность этой боеголовки составляет около 10 Мт), на новую боеголовку, которая могла бы иметь значительно большую мощность.

Испытание боеголовки мощностью 400 кт было проведено в 1972 г., т. е. слишком рано, чтобы его можно было считать испытанием боеголовки для первой группы советских ракет с боевыми частями индивидуального наведения: SS-17 мод 1, SS-18 мод 2 и SS-19 мод 1. Эти ракеты прошли летные испытания после испытаний боеголовок и были развернуты в период между 1974 и 1976 гг. Возможно, что боеголовка этих ракет была того же типа, что и испытанная в 1966 г. для ракеты SS-13 или ее усовершенствованной модификации.

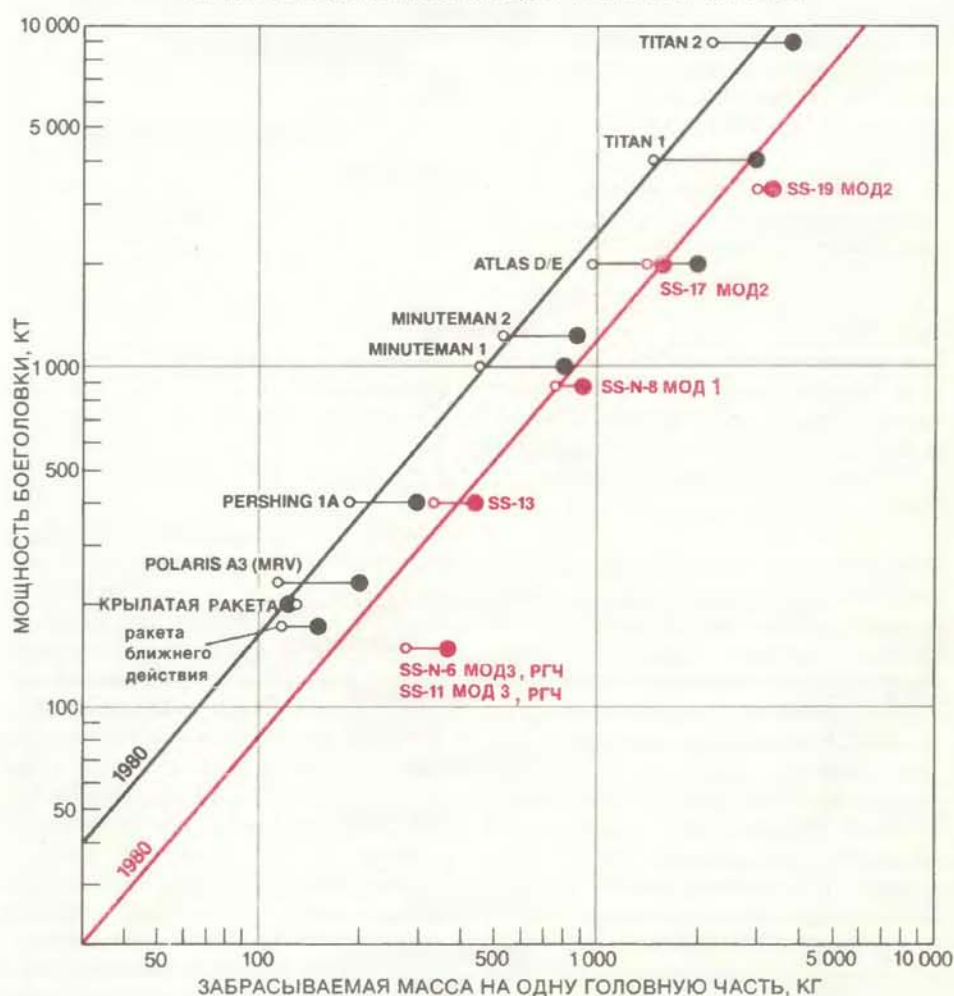
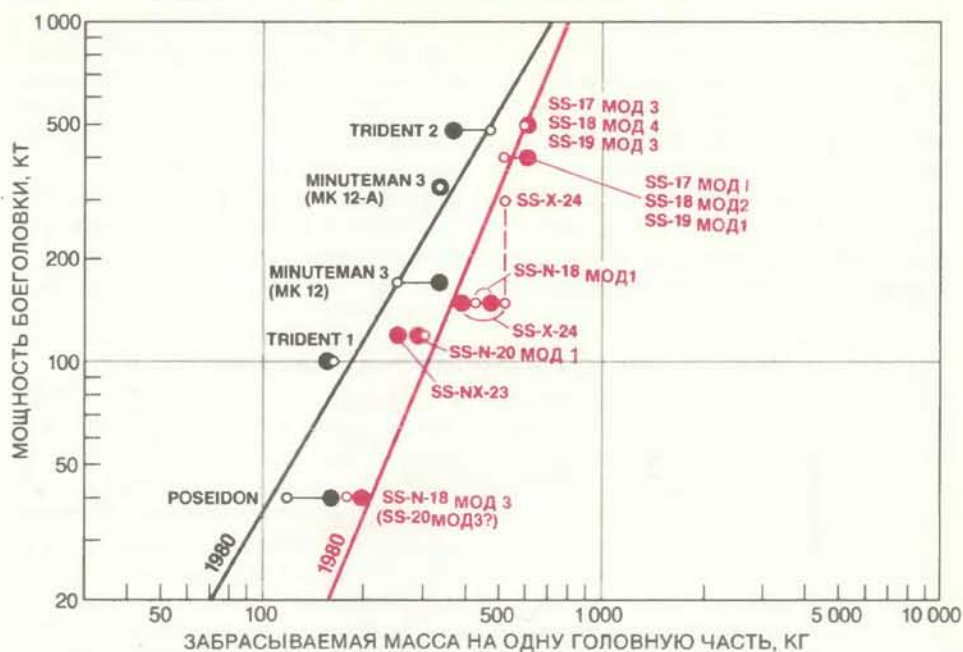
Серия испытаний боеголовки мощ-

ностью 500 кт в 1974-1975 гг., была проведена слишком поздно, чтобы считать, что эти боеголовки предназначались для первых советских МБР с головными частями индивидуального наведения. Временная последовательность этих испытаний, возможно, свидетельствует о том, что в них испытывались боеголовки для головных частей индивидуального наведения, установленных на ракетах того же типа, но более поздней модификации: SS-17 мод 3, SS-18 мод 4 и SS-19 мод 3. Эти ракеты были впервые развернуты два года спустя после проведения их летных испытаний в 1977 г. Испытания боеголовок, вероятно, были ускорены с той целью, чтобы завершить их до вступления в силу «Порогового» Договора. Тот факт, что три из пяти боеголовок, испытанных Советским Союзом в 1974—1975 гг., имели мощность 500 кт, вероятно, свидетельствует о том, что в то время первоочередной задачей Советского Союза была разработка оружия именно такой мощности.

Увязывание мощности боеголовок с типом ракеты исключительно на основе хронологии испытаний дает возможность построить диаграммы соотношений мощности боеголовок и забрасываемой массы ракеты как для систем с головными частями индивидуального наведения, так и для моноблочных советских МБР. По этим диаграммам можно оценить другие пары соотношений боеголовка/ракета. Главное требование заключается в том, чтобы наши оценки согласовывались друг с другом, а также с хронологией испытания ядерных боеголовок, летных испытаний ракет и их развертывания.

Например, при условии, что как SS-11 мод 2, так и SS-N-8 мод 1 (БРПЛ) имеют по одной боеголовке и забрасываемая масса их равна 900 кг, наш график (скорректированный на начало 70-х годов) соотношения между мощностью боеголовки и забрасываемой массой для советских ракет с одной головной частью показывает, что эти ракеты способны нести боеголовку мощностью самое большее 1 Мт. Действительно, в октябре 1970 г. и сентябре 1971 г. Советский Союз производил испытания оружия мощностью 900 кт. То, что первые летные испытания ракет производились до испытания их боеголовок, как в случае SS-13, вероятно, связано с техническими трудностями проведения столь крупных испытаний в начальный период оснащения испытательным оборудованием.

СРАВНИМ теперь, исходя из наших результатов, диапазон мощностей советского и американского



МЕРОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ БОЕГОЛОВКИ является отношение мощности боеголовки к забрасываемой массе (в расчете на одну головную часть) ракеты. Для определения общего соотношения между мощностью боеголовки и забрасываемой массой ракеты боеголовки, произведенные в различное время, необходимо рассматривать в единой временной системе отсчета, поскольку новые боеголовки имеют более совершенную конструкцию. На этих диаграммах черные точки соответствуют текущему периоду, а цветные — 1980 г. Горизонтальные отрезки отображают, как меняется со временем отношение мощности боеголовки к забрасываемой массе ракеты (для советского стратегического оружия обозначены красным цветом, для американского — черным). Ракеты, несущие головные части индивидуального наведения (вверху), имеют забрасываемую массу (в расчете на одну головную часть), примерно в 2 раза большую, чем ракеты с одной или несколькими головными частями (внизу), поскольку включают в себя так называемый «автобус», разделяющий головные части. СССР произвел испытания боеголовки для новой ракеты SS-X-24, вероятно, в половину ее мощности.

стратегического ядерного оружия. Самые маленькие ядерные боеголовки в стратегических арсеналах обеих стран имеют мощность примерно 40 — 50 кт. Эти боеголовки установлены на БРПЛ с головными частями индивидуального наведения: SS-N-18 мод 3 (СССР) и Poseidon С3 (США). Самое мощное ядерное оружие в арсенале США — это боеголовка мощностью

9 Мт для ракеты Titan II, которая в настоящее время снимается с вооружения. Согласно опубликованным данным, модификации МБР с одной головной частью SS-17, SS-18 и SS-19, каждая из которых могла бы нести боеголовку большой мощности, были заменены модификациями, способными нести несколько боеголовок меньшей мощности. После снятия с

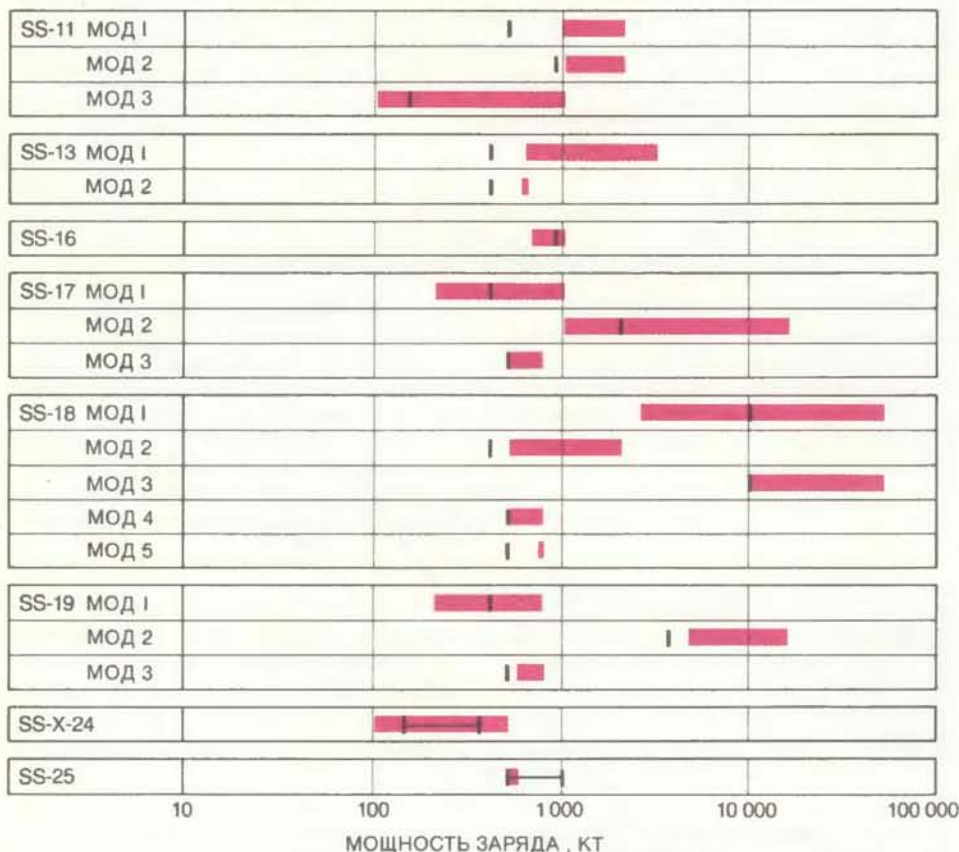
вооружения ракеты Titan II (равно как и бомб такой же мощности) мощность самых крупных боеголовок составит примерно 1 Мт в СССР и 1,5 Мт в США. (Возможным исключением может быть относительно небольшое количество старых ядерных бомб большой мощности, переносимых самолетами.)

Согласно нашим оценкам, американские и советские ядерные боеголовки имеют примерно одинаковую мощность. Согласно другим оценкам, мощность советских стратегических боеголовок лежит в пределах от 200 кт до 50 Мт. Чрезмерно завышенные оценки, в соответствии с которыми любое стратегическое оружие в СССР имеет мощность более 150 кт, находится в очевидном противоречии уже с тем фактом, что Советский Союз согласился заключить «Пороговый» Договор об ограничении подземных испытаний ядерного оружия мощностью 150 кт. Наши оценки мощности советских боеголовок выглядят гораздо более правдоподобными, поскольку вряд ли СССР стал бы подписывать договор, по существу запрещающий ему проводить полномасштабные испытания всех боеголовок, имеющихся у него на вооружении, и дающий возможность США продолжать совершенствоваться и испытывать все свои стратегические боеголовки.

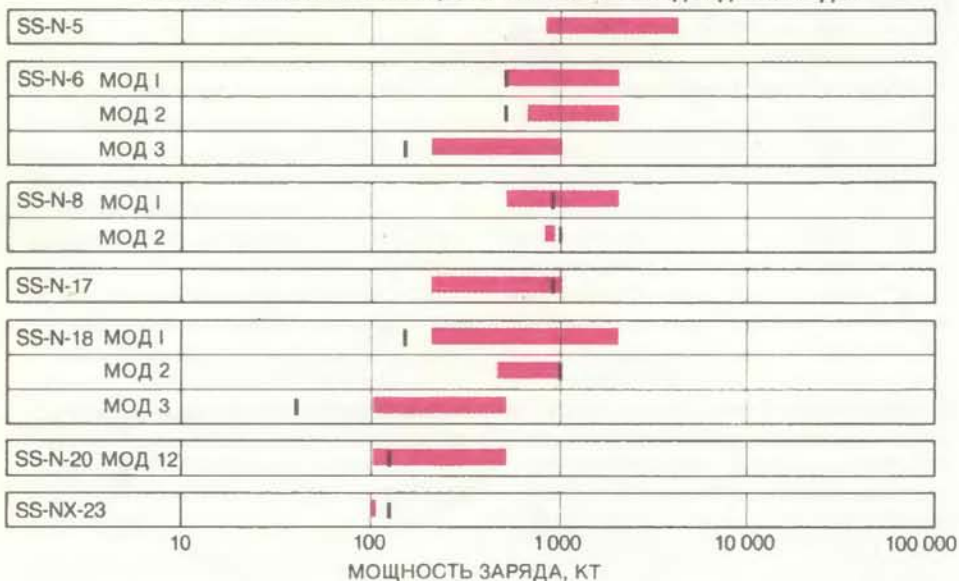
Комбинируя полученные нами оценки с опубликованными данными о мощности боеголовок ряда советских ракет и головных частей, доставляемых каждой ракетой, можно прийти к итоговым оценкам всего советского стратегического ядерного потенциала. В течение многих лет удерживается мнение, что СССР может рассчитывать на то, что его стратегические системы способны доставить к целям гораздо больший совокупный мегатоннаж, чем американские. Пересмотренные и уточненные нами оценки мощности ядерных боеголовок показывают, что это мнение не является обоснованным. Следует, однако, заметить, что оценки совокупного мегатоннажа зависят, в частности, от допущений относительно степени оснащения бомбами самолетов дальнего действия, но как раз такой информации опубликовано сравнительно мало.

До середины 70-х годов совокупный мегатоннаж советского стратегического арсенала, был значительно ниже американского. Существенное расширение стратегического арсенала в СССР, начавшееся в конце 60-х годов, наряду с переходом американцев на стратегическое оружие, меньшее по мощности, но с более точной навол-

МЕЖКОНТИНЕНТАЛЬНЫЕ БАЛЛИСТИЧЕСКИЕ РАКЕТЫ



БАЛЛИСТИЧЕСКИЕ РАКЕТЫ, ЗАПУСКАЕМЫЕ С ПОДВОДНЫХ ЛОДОК



ОЦЕНКИ МОЩНОСТИ БОЕГОЛОВЕК, полученные авторами (черный цвет), обычно ниже по сравнению с аналогичными оценками, публикуемыми в доступных источниках (в цвете). На основании своих оценок авторы пришли к выводу, что вопреки распространенному мнению суммарная мощность советского стратегического потенциала не превосходит существенно американскую.

кой, привело к достижению примерного паритета в отношении мегатоннажа, числа боеголовок и способности уничтожать такие хорошо укрепленные цели, как стартовые шахты ракет.

Следует отметить, что любая численно выраженная итоговая оценка стратегического потенциала является весьма неточной. Разнообразный по своей структуре стратегический арсенал США трудно сравнивать с арсеналом Советского Союза, в котором преобладают МБР. Кроме того, наши расчеты относились только к американским и советским системам межконтинентальной дальности. Они не учитывали оружия, нацеленного на СССР в Великобритании и Франции, а также систем меньшего радиуса действия, таких, как американские баллистические ракеты среднего радиуса действия, развернутые в Европе и предназначенные для уничтожения целей в западной части Советского Союза.

Заклучение, к которому мы пришли, сводится к следующему: несмотря на различие американских и советских стратегических средств доставки, мощность ядерных боеголовок, переносимых этими средствами, лежит в сравнимых пределах. Возможно, более значительным является тот факт, что ядерные арсеналы обеих стран огромны и примерно равны.

ОДНИМ из заметных отличий американских систем от советских, которое выявилось в нашем анализе, является то, что эффективность советских боеголовок, если оценивать ее по отношению мощности к забрасываемой массе ниже, чем американских. Начиная с 60-х годов советские боеголовки по своей «эффективности» отстают от американских примерно на десятилетие. Например, головная часть американской ракеты Minuteman I (развернутой в 1962 г.) по мощности и забрасываемой массе примерно эквивалентна боеголовке советской ракеты SS-N-8 мод I (развернутая в 1973 г.). Эффективность боеголовки для разделяющихся головных частей индивидуального наведения американской ракеты Poseidon (развернутой в 1971 г.) примерно такая же, как и у боеголовки советской ракеты SS-N-18 мод 3 (развернутой примерно в 1978 г.). Таким образом, при подсчете мощности боеголовок нельзя исходить из того, что Советский Союз обладает столь же совершенными ядерными боеголовками, как США.

«Пороговый» Договор препятствует Советскому Союзу производить испытания, в которых он мог бы в

ощутимой мере использовать то преимущество, что его МБР имеют большую забрасываемую массу, чем американские. К тому же Договор об ОСВ-2 ограничивает количество советских систем доставки и максимальное число головных частей МБР и баллистических ракет, запускаемых с подводных лодок. В отсутствие этих договоров СССР мог бы развернуть гораздо больше ракет и увеличить либо число боеголовок, либо их мощность.

В отношении, например, новой МБР SS-X-24 Советский Союз столкнулся с дилеммой. Д. Керр, бывший директор Лос-Аламосской национальной исследовательской лаборатории, выступая в 1985 г. перед одной из комиссий конгресса, заявил, что результаты полномасштабного испытания ядерного оружия «можно уверенно экстраполировать примерно до удвоенного значения мощности». Из его утверждения следует, что СССР не мог бы проводить испытания оружия мощностью до 150 кт, предусмотренной «Пороговым» Договором, и тем не менее создает надежное оружие, мощность которого намного превышает 300 кт. Если бы отношение мощности советских ядерных боеголовок к забрасываемой массе ракеты продолжало увеличиваться, Советский Союз мог бы легко оснастить SS-X-24 восемью-десятью головными частями, каждая из которых несла бы боеголовку мощностью 300 кт.

Другой возможный путь — это создание Советским Союзом боеголовки мощностью 150 кт, которую можно было бы испытывать в полную мощность. В этом случае SS-X-24 могла бы иметь более 10 головных частей, возможно 14—15. Однако этот путь исключается, поскольку испытание и развертывание более 10 головных частей на одной МБР являются нарушением условий Договора об ОСВ-2.

Таким образом, СССР, должно быть, стоит перед проблемой выбора: либо полагаться на результаты масштабного моделирования взрывов боеголовок большой мощности и производить только полномасштабные испытания (имея при этом неопределенность в надежности боеголовок), либо создавать боеголовки мощностью 150 кт, которые можно испытывать в полную мощность, но нельзя устанавливать в количестве более 10 на МБР SS-X-24. Прежняя практика советских испытаний боеголовок, а также отставание СССР в области компьютеров позволяет предположить, что он, вероятно, выбрал более надежный путь и оснастил ракеты SS-X-24 боеголовками мощнос-

тью 150 кт, даже если ее забрасываемая масса при этом не используется полностью. Такой выбор, обусловленный совместными ограничениями «Порогового» Договора и Договора об ОСВ-2, является выгодным для США.

Еще более интересным было бы рассмотреть потенциальное лимитирующее влияние договора, ограничивающего максимальную мощность испытываемого ядерного оружия, скажем, до 15 или 20 кт. США и СССР пришлось бы проводить только неполномасштабные испытания своих боеголовок относительно небольшой мощности, предназначенных для баллистических ракет, запускаемых с подводных лодок. Поскольку СССР заметно отстает от США в разработке таких боеголовок, то в будущем при развертывании баллистических ракет, запускаемых с подводных лодок, условия такого договора окажутся более жесткими для Советского Союза, чем для США. Снижение допустимой максимальной мощности испытываемого ядерного оружия до 10 кт — уровень, при котором возможен надежный контроль за испытаниями с помощью сейсмографических станций, находящихся за пределами СССР, — практически исключало бы полномасштабные испытания стратегического ядерного оружия (см. статью: Lynn R. Sykes, Jack F. Evernden. The Verification of a Comprehensive Nuclear Test Ban, опубликованную в журнале "Scientific American", October 1982).

Сеть американских сейсмографических станций на территории СССР дала бы возможность обнаруживать ядерные взрывы гораздо меньшей мощности — такой, которая позволила бы в конечном итоге прийти к прекращению всех испытаний ядерного оружия. В этой связи тот факт, что Совет охраны природных ресурсов США получил возможность установить сейсмографические станции вблизи Семипалатинска, свидетельствует о растущей заинтересованности советского руководства в реализации такой возможности.

ОСОБОЕ значение имеет вопрос, почему точный метод оценки мощности советских подземных взрывов так долго не принимался во внимание. Ученые, работающие в этой области, неоднократно заявляли в течение последних 15 лет, что США значительно переоценивают мощность советских ядерных вооружений. Соответствующая система корректировки разработана более 10 лет назад, однако официально она была принята лишь в прошлом году. Про-

веденное недавно сейсмологическое исследование только подтверждает наши выводы относительно правильности метода оценки мощности подземных ядерных взрывов.

Хотя точка зрения «лучше переоценить, чем недооценить» и имеет определенный здравый смысл, неправильная оценка мощности ядерного оружия СССР может помешать попыткам реальной оценки предпринимаемых им шагов. В этом смысле неправильная оценка мощности советского ядерного оружия может обойтись слишком дорого. Завышенные оценки, несомненно, способствовали представлению, что СССР опережает США по различным показателям стратегического потенциала. Даже

официальные представители США были неправильно информированы относительно мощности советских стратегических вооружений, что затрудняло их работу на переговорах по контролю над вооружениями.

Нам следует признать реальность того, что СССР так же, как и США, обладает ядерным арсеналом и что ограничение численности советских вооружений отвечает нашим национальным интересам. Наиболее легко это может быть достигнуто сохранением ограничений, налагаемых Договором об ОСВ-2 и «Пороговым» Договором и использованием их в качестве основы для заключения новых соглашений по контролю над вооружениями.

Наука и общество

Тревожные сигналы

УХУДШАЕТСЯ ли положение молодых американцев подросткового возраста? Исследователи университета штата Северная Каролина П. Уленберг и Д. Эггбин пишут в своей статье в журнале «The Public Interest», что за улучшением некоторых традиционных показателей состояния здоровья за период с 1960 по 1980 г. скрывается «всеобщее и серьезное снижение» благополучия подростков.

Анализируя принятые показатели, отражающие положение белых юношей, Уленберг и Эггбин пришли к выводу, что относительное число молодых людей, кто жил в безбедных немногочисленных семьях и у которых родители не были малограмотными, за истекшие два десятилетия почти удвоилось (с 32 до 63%). Расходы на школьное образование одного учащегося тоже выросли в два раза. В противовес этим показателям, однако, имеется выраженная тенденция, вызывающая тревогу: на 11% снизился уровень знания языка и более чем в два раза возросли преступность несовершеннолетних, внебрачное деторождение, потребление наркотиков и число самоубийств.

Причину ухудшающегося положения с молодежью Уленберг и Эггбин видят прежде всего в современных родителях, которые, по мнению исследователей, менее охотно идут на жертвы ради своих детей и уделяют им меньше «драгоценного времени», что является следствием увеличивающегося числа разводов и роста трудовой занятости женщин.

Другие исследователи менее склонны считать, что между структурой семьи и каким-либо другим показателем медленно изменяющихся социальных условий и общим уровнем благополучия подростков существует прямая причинная связь. «Есть основания утверждать, — говорит Л. Айзенберг из Гарвардской медицинской школы, — что в наш век высокий уровень безработицы, коррупция и другие негативные явления связаны с ростом показателей социального разложения, но доказать это невозможно из-за отсутствия соответствующей методологии».

Д. Уолкер из Гарвардской школы здравоохранения считает, что различные проявления «связанного с риском поведения» имеют общие корни. Отказ от посещения школы и злоупотребление наркотиками — это не отдельные существующие проблемы, а скорее, как утверждает М. Желинек из Главной больницы штата Массачусетс, «неизбежный общий путь», на который становятся молодые люди в результате оказываемого на них со всех сторон давления.

Идентифицируя различные виды стрессов, наиболее часто испытываемые теми, кто уже стал на этот путь, можно выявить такие группы подростков угрожающее, положение которых угрожающее, и потому требуется вмешательство со стороны правительства, общественности и семьи. В этом заключается одна из задач вновь созданной при министерстве здравоохранения и существующей немногим более года специальной комиссии по изучению причин самоубийств среди молодежи. На совещании, состоявшемся в конце прошлого

года, эта комиссия решила выявить 100 наиболее значимых факторов, обуславливающих рост числа самоубийств, которые по числу жертв среди юношей в возрасте 15—19 лет занимают второе место после несчастных случаев.

Как считает Э. Мерси из Центра по контролю заболеваний, увеличение числа самоубийств среди подростков, которое за последние 30 лет утроилось, часто связывают с социальными факторами, в том числе и с эффектом «массовости» (дети, появившиеся на свет в период бума деторождения, страдают от соперничества в борьбе за обладание ограниченными ресурсами); неустойчивостью супружеских отношений, ставшей причиной увеличения в несколько раз случаев отказа от детей; злоупотреблением наркотиками и возросшей доступностью огнестрельного оружия. В районах, где имеется много владельцев личного оружия, наблюдается повышенное число самоубийств.

Эти факторы, как считает М. Гоулд из врачебного колледжа при Колумбийском университете, непосредственно связаны с самоубийствами, совершенными под влиянием как послелечебной депрессии, так и импульсивной реакции легкоранимых подростков с неблагоприятной судьбой на постигшие их невзгоды. Другой часто упоминаемый социальный фактор — это влияние общественной среды. Результаты двух проведенных исследований, опубликованные в журнале «New England Journal of Medicine», указывают на связь телевидения с тем типом чреватого своими последствиями поведения, на которое сейчас обращено внимание: имитация самоубийств, описание которых приводится в массовой печати или показывается в телевизионных фильмах.

Д. Филлипс и Л. Карстенсен из Калифорнийского университета в Сан-Диего проанализировали причины ряда самоубийств подростков, о которых сообщалось по радио и телевидению, как обычно, вслед за новостями или другими передачами. Изучив 38 сообщений, которые передавались по всей стране в 1973—1979 гг., они пришли к выводу, что в среднем в первую неделю после передачи среди подростков совершалось на три самоубийства больше.

Гоулд и Д. Шаффер из Колумбийского университета проследили влияние показа по телевидению в пределах центральной части Нью-Йорка четырех фильмов о самоубийствах. Число как совершенных самоубийств, так и попыток к ним в течение двух недель после этих телепередач увеличилось.

SCIENTIFIC AMERICAN

ЯНВАРЬ 1937 г. Теперь водители могут попасть из Атлантик-Сити прямо в Сан-Франциско, не съезжая с автострады Линкольна. Это стало возможно после постройки моста длиной 9,1 мили, связавшего Сан-Франциско с Оклендом. Затраты на строительство моста составили 77 220 тыс. долл. Они должны окупились за счет сбора пошлин на проезд легковых автомобилей, грузовиков, междугородних электропоездов и пассажиров. Автомобильное движение через мост уже открыто, а движение электропоездов начнется не раньше января 1938 г.

Общая протяженность автомобильных дорог в мире составляет 9 268 397 миль, или по 1 миле дорог на каждые 5,3 кв. мили суши, общая площадь которой составляет 49 411 882 кв. мили. В США 1 миля дорог приходится на каждую квадратную милю суши, в Японии — на 0,2 кв. мили, во Франции — на 0,5 кв. мили, в Великобритании — на 0,5 кв. мили, в Германии — на 0,8 кв. мили.

Рекордный подъем на самолете на высоту 49 967 футов совершил командир эскадрильи Королевских военно-воздушных сил Ф. Свейн. Такие полеты — не просто сенсация, они дают научные данные для будущих полетов в стратосфере.

Цветовое решение мультипликационных фильмов может быть гораздо лучше, чем в игровых фильмах. Это связано не с развитием технических средств, а с особенностями создания каждого кадра мультфильма. Ряд целлулоидных пленок с рисунками накладывают на фон, написанный акварелью. Благодаря этому постановщики могут точно контролировать и освещение, и движение персонажей.

За последнее время отмечен ряд случаев, когда научная ценность древних классических сочинений, часто считавшихся не вполне достоверными, была подтверждена тем, что описанные в них тысячи лет назад предметы были найдены современными археологами. Например, древнегреческий писатель Лукиан описал некую статую Аполлона в Афинах. Недавно сотрудники American School Classical Studies в Афинах под руко-

водством профессора Л. Шира из Принстонского университета нашли более 200 фрагментов статуи и соединили их вместе. Вполне вероятно, что это именно та статуя, которую видел Лукиан.



ЯНВАРЬ 1887 г. Возможно, в санитарии и не наблюдалось такого прогресса в течение последних 50 лет, как в развитии транспорта или металлургии, однако она вызывает к себе гораздо больший интерес, поскольку касается жизни людей. То, что путешествие из Лондона в Эдинбург занимает теперь 9 часов вместо 90, важно лишь для немногих, однако каждого интересует тот факт, что в настоящее время можно приобрести иммунитет против оспы, которая раньше была так же распространена, как и корь. Здоровье — это основа счастья, и чем здоровее становятся люди, тем более они счастливы. По этой причине каждый шаг вперед в санитарии приносит пользу всему обществу.

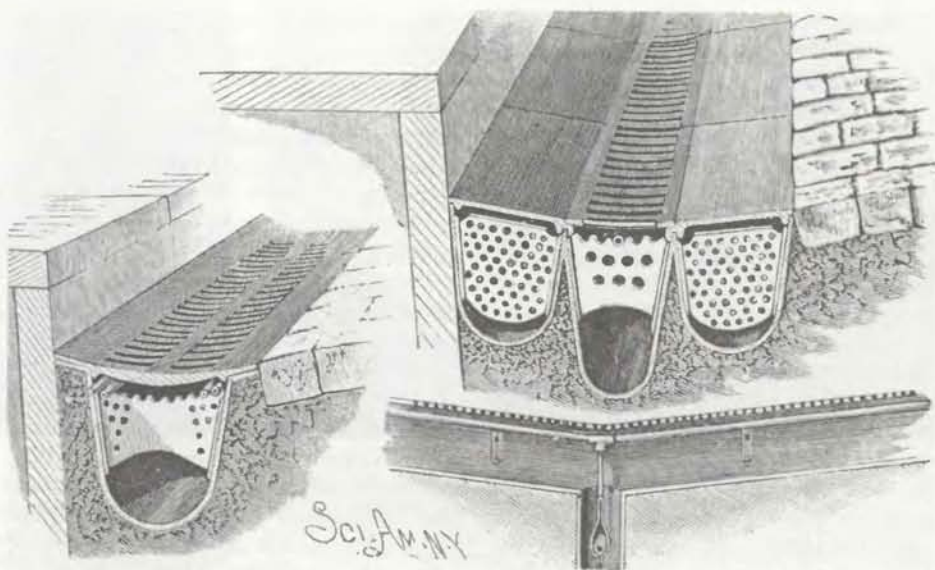
Появление новой подводной лодки, испытания которой были не так давно проведены в Лондоне, должно внести важные изменения в тактику подводной войны. Важнейшей проблемой, которую пришлось решать при создании подводной лодки, была разработка простого и удобного средства для быстрого погружения и всплытия, которые можно выполнять

столько раз, сколько нужно. В новой лодке для этого используется просто принцип вытеснения.

Одним из самых удивительных из существующих механизмов является огромный подъемный кран «Титон», который в настоящее время работает в португалском порту Лейшоиш и поднимает каменные блоки весом 50 т, предназначенные для строительства волнореза. Длина большой стрелы крана достигает 46 м, а малой — 22,75 м, так что полная длина составляет 68,75 м. Вес крана — 450 т.

За один год, с 30 сентября 1885 г. до 30 сентября 1886 г., нью-йоркские трамваи перевезли в общей сложности 325 427 015 пассажиров. Мы полагаем, что пока это своего рода мировой рекорд, хотя Нью-Йорк и не является крупнейшим городом в мире.

Как убрать снег с дорог? Это одна из самых серьезных проблем, связанных с удобством передвижения по улицам большого города в зимнее время. Согласно новому методу, предложенному С. Локом из Гусик-Фоллза (шт. Нью-Йорк), снег может таять под действием пара, который можно будет брать от существующих в больших городах электростанций. Под водосточными канавами изобретатель предлагает поместить другой желоб, соединенный непосредственно с ними и закрытый решеткой, ниже которой будут проложены трубы для пара. С помощью сгребателей на лошадиных повозках и метел снег можно будет сгребать в водосточные канавы через решетки так же быстро, как поливать улицы.



Устройство для удаления снега с помощью пара

Планета Уран

В январе 1986 г. космический аппарат «Вояджер-2» пролетел мимо этой голубовато-зеленой планеты-гиганта. Один из полюсов Урана сейчас направлен к Солнцу, а ось магнитного диполя расположена наклонно. Хотя атмосфера планеты и содержит ледяной аэрозоль, характер ветров на ней напоминает земной

ЭНДРЮ П. ИНГЕРСОЛЛ

В ОТЛИЧИЕ от других планет Солнечной системы Уран вращается как бы лежа на боку, т. е. ось его вращения лежит почти в плоскости орбиты (у остальных планет ось вращения примерно перпендикулярна плоскости орбиты). Как возникла такая необычная ориентация Урана и как она влияет на атмосферную циркуляцию? Есть ли у этой планеты магнитное поле, и если есть, то какова его ориентация? Ответы на эти и другие вопросы должны были дать данные, полученные с космического аппарата «Вояджер-2» в течение нескольких месяцев, включая его встречу с Ураном 24 января 1986 г. (см. статью: Р. Лэзер, У. Маклаффлин, Д. Вулф. Инженерное обеспечение встречи космического аппарата «Вояджер-2» с планетой Уран, «В мире науки», 1987, № 1).

Полученные данные поставили больше новых вопросов, чем дали ответов, хотя и вопросов, и ответов появилось множество. Так и должно быть, однако подобные факты иногда нелегко объяснить нетерпеливой публике. В ходе оживленной пресс-конференции, проведенной 27 января 1986 г. руководителями экспериментов по программе «Вояджер», один репортер выразил беспокойство по поводу того, что новые находки озадачили ученых, и потребовал объяснить, почему их осмысление занимает так много времени. Ему ответил Э. Стоун из Калифорнийского технологического института, научный руководитель проекта «Вояджер». Он сказал: «Мы рады оказаться в таком положении. Больше всего нового мы узнаем тогда, когда наблюдаем что-то, чего не можем сразу объяснить. Если же что-то новое удастся почти сразу объяснить, мы, как правило, узнаем немного. Это означает, что практически почти все уже было известно».

За время, прошедшее с момента

встречи космического аппарата с планетой, первоначальное замешательство было частично преодолено благодаря согласованным усилиям по интерпретации полученных данных. Я расскажу о том, что нового мы узнали об Уране. Основное внимание будет уделено самой планете; «Вояджер-2» передал также множество интересных данных о ее спутниках и кольцах, об этих открытиях расскажут специалисты в соответствующих областях в одном из следующих номеров нашего журнала.

НАИБОЛЕЕ удивительная особенность Урана, которую можно наблюдать с Земли и с выгодной позиции «Вояджера-2», состоит в том, что планета имеет невыразительный облик — это голубовато-зеленый шар без особых «деталей». Когда же в облаках Урана были обнаружены какие-то детали, оказалось, что они намного меньше диаметра планеты, а их яркость больше, чем у окружающих областей только примерно на 5%. При наблюдениях с Земли угловые размеры Урана не превышают 4". Поскольку земная атмосфера «замывает» детали, размеры которых меньше угловой секунды (независимо от размеров телескопа), наблюдения с Земли не позволяют ничего различить на Уране. Невозможно даже непосредственно обнаружить его вращение.

Тем не менее задолго до того, как «Вояджер-2» пролетел на расстоянии 80 000 км от Урана, исследователям было известно о необычной ориентации оси его вращения. Этот факт был обнаружен при наблюдении орбит основных спутников и колец Урана. Все эти орбиты близки к круговым и лежат примерно в одной плоскости. Такие наблюдения свидетельствуют о том, что на раннем этапе своей истории система Урана пришла в состояние с минимальной энергией, когда спутники и кольца планеты вращают-

ся в ее экваториальной плоскости. Это могло произойти при совместном действии различных сил, включающих гравитационное взаимодействие между компонентами системы, столкновения с межпланетными обломками и торможение, обусловленное сопротивлением газа, оставшегося после образования планеты.

Точные измерения показали, что полюс вращения планеты против часовой стрелки (в отличие от Земли у Урана это южный полюс) наклонен на 98° по отношению к полюсу ее орбиты вокруг Солнца. В настоящее время южный полюс направлен почти прямо на Солнце и на Землю.

Масса, радиус, температура и химический состав атмосферы Урана были известны также до полета «Вояджера». Массу удалось определить по орбитальному периоду обращения спутников планеты: она составляет примерно 14,5 земных масс. Радиус — около 25 600 км (что в четыре раза больше радиуса Земли) — был определен по длительности покрытия (затмения) звезд планетой. Температура в областях немного ниже верхней границы облаков, на уровне давления 0,4 земной атмосферы, была найдена на основе измерения интенсивности инфракрасного (теплого) излучения планеты; она оказалась равна 59К (—214°С). Наконец, состав атмосферы у верхней границы облаков был определен по инфракрасному спектру планеты; он включает полюсы молекулярного водорода H₂ и метана CH₄. Именно избирательное поглощение метаном красных лучей придает Урану голубовато-зеленый цвет.

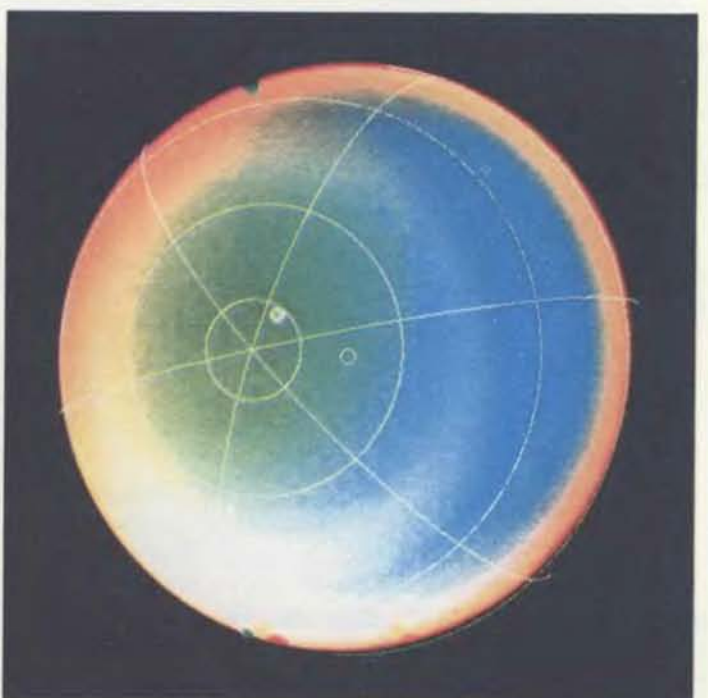
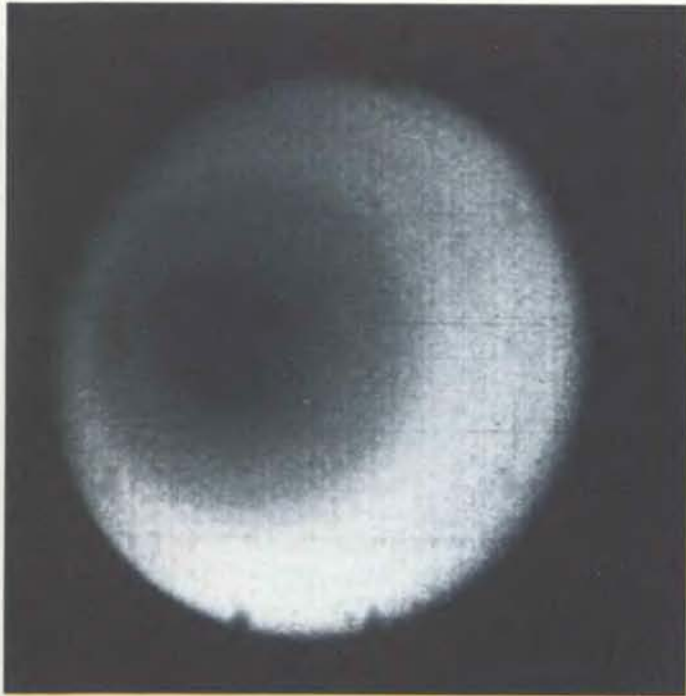
Верхний слой атмосферы состоит в основном из газообразного водорода, однако в составе самой планеты преобладают более тяжелые элементы. Такой вывод основан на средней плотности планеты, которая составляет 1,27 г/см³. Такая плотность ука-

зывает на то, что Уран состоит в основном из «льдов», т. е. из веществ, которые замерзают на поверхности планеты. (Точнее, он должен состоять из воды, аммиака и метана, поскольку это соединения наиболее распространенных и химически активных элементов в природе — водорода, кислорода, углерода и азота.) Это самые распространенные льды в Сол-

нечной системе. При низких температурах у верхней границы атмосферы планеты эти вещества конденсируются и образуют облака из ледяных кристаллов. Самую низкую температуру замерзания имеет метан, поэтому из него образуется верхний слой облаков. Метановые облака закрывают расположенные под ними аммиачные и водяные облака, чем и объясняется

отсутствие линий этих веществ в инфракрасном спектре планеты.

По данным земных наблюдений Уран вместе с Нептуном был выделен в отдельную группу планет, занимающую промежуточное положение между Юпитером и Сатурном, богатыми водородом и гелием, и внутренними планетами Солнечной системы, в которых содержится значительное ко-



УРАН из космоса кажется совершенно однородным, однако на обработанных для значительного увеличения контрастности изображениях, переданных с «Вояджера-2», видны полосы облаков. Черно-белые изображения сделаны с тремя разными фильтрами: фиолетовым (*вверху слева*), оранжевым (*вверху справа*) и «метановым» оранжевым (этот цвет соответствует длине волны света, который поглощает газообразный метан) (*внизу слева*); изображение в

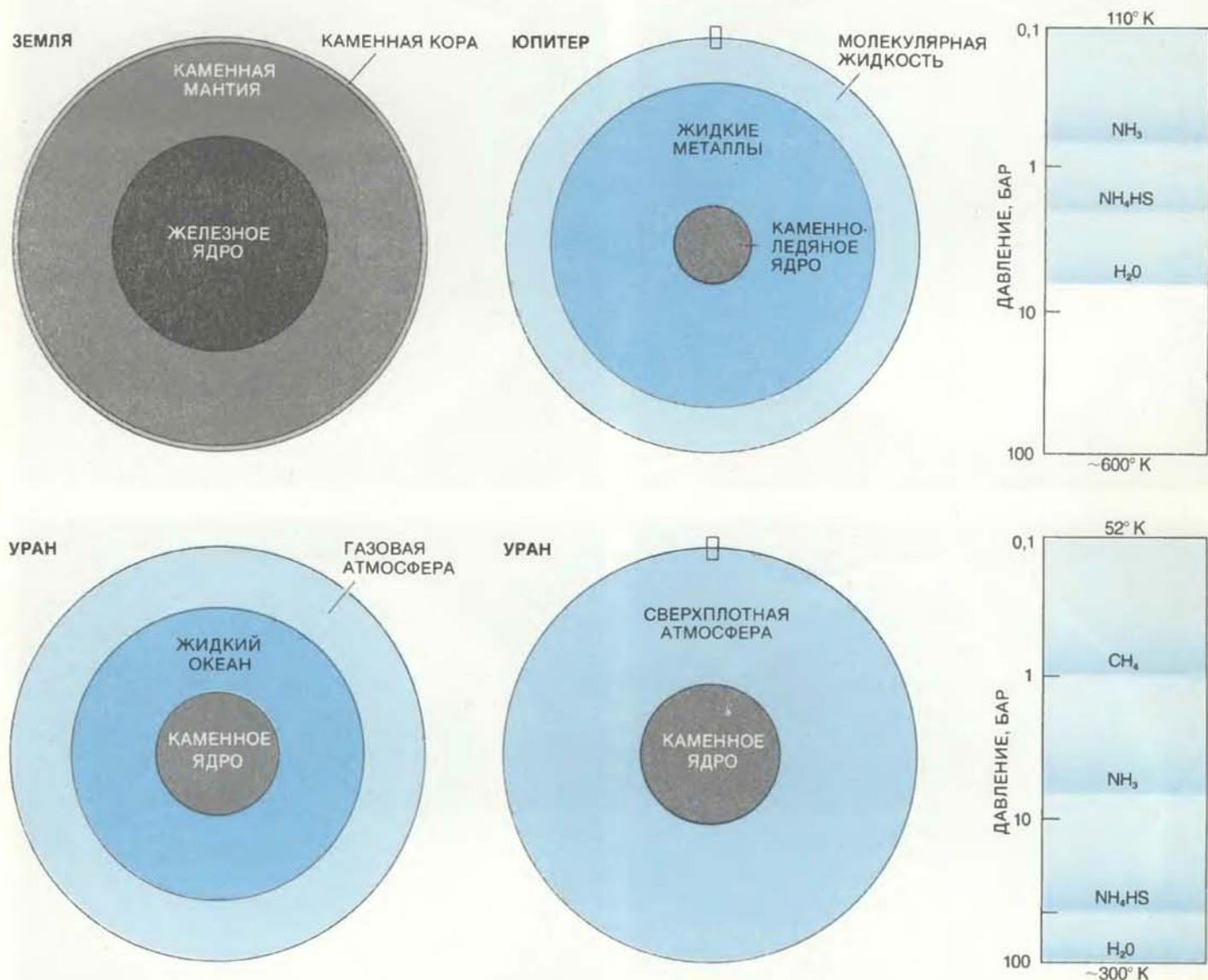
условных цветах получено путем совмещения этих трех изображений. Наложенная на этот снимок широтно-долготная сетка показывает, что облачные пояса расположены концентрически относительно полюса, а не относительно подсолнечной точки (*белая точка*). Белый кружок показывает подаппаратную точку, над которой «Вояджер-2» находился в момент съемки.

личество кислорода, металлов и скальных пород. Необходимо отметить, что такая классификация не согласуется с простейшей моделью образования Солнечной системы. Согласно этой модели, доля легких элементов — водорода и гелия — должна увеличиваться по мере удаления от Солнца в результате испарения этих элементов под воздействием солнечной энергии. Однако Уран с его скоплениями льда содержит больше относительно тяжелых элементов, чем

Юпитер и Сатурн, а Нептун еще тяжелее. Возможно, ледяные компоненты на Уране и Нептуне обязаны своим происхождением кометам, находящимся во внешних областях Солнечной системы, однако окончательного ответа на этот вопрос пока нет.

Существует еще одна характеристика, по которой Уран также занимает промежуточное положение между планетами земной группы и группы Юпитера. По-видимому, эта планета потеряла большую часть внут-

реннего тепла с момента ее образования. Около 30% излучаемой Ураном тепловой энергии может поступать из его недр (в отличие от захваченной Солнечной энергии). Соответствующая величина для Земли составляет 0,01%; для Юпитера и Сатурна, масса которых намного больше, благодаря чему они и сохранили больше внутреннего тепла, эта цифра составляет не менее 70%. Мощность источника внутреннего тепла планеты — важный фактор ее эволюции. Он влияет



ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ Земли, Юпитера и Урана. (Относительные размеры планет искажены; Уран примерно в 4 раза, а Юпитер в 11 с лишним раз больше Земли.) Земля, так же как и Меркурий, Венера и Марс, представляет собой плотную металло-силикатную планету, в состав которой входят в основном твердые металлы, их оксиды и силикаты. Юпитер и Сатурн состоят преимущественно из водорода и гелия, которые во внешних слоях образуют молекулярные жидкости, а в глубоких областях под действием очень высокого давления переходят в жидкие металлы (смесь протонов и свободных электронов). Уран и Нептун занимают промежуточное положение между планетами земной группы и группы Юпитера и состоят в основном из «льдов»

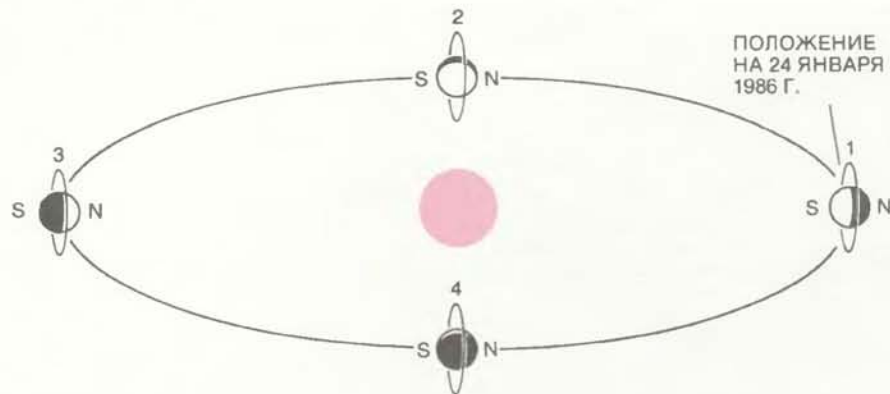
воды, аммиака (NH_3) и метана (CH_4). Согласно «трехслойной» модели строения Урана (внизу слева), расплавленные льды образуют жидкий «океан», расположенный между каменным ядром и водородно-гелиевой атмосферой. Однако полученные с «Вояджера-2» данные скорее подтверждают «двухслойную» модель (внизу справа), согласно которой газы и аэрозоли льдов перемешаны в плотной атмосфере. Предполагают, что вблизи видимой поверхности атмосфер Юпитера и Урана происходит конденсация аммиака, гидросульфида аммония (NH_4HS) и воды. Конденсаты образуют облака из ледяных частиц. Температура на Уране настолько низка, что в самом верхнем слое атмосферы над облаками конденсируется метан.

также на циркуляцию тех слоев атмосферы, которые подогреваются снизу. Одной из целей полета «Вояджера-2» было уточнение довольно неопределенной оценки потока внутреннего тепла Урана. Однако расчеты, основанные на обработке большого числа полученных данных, еще не завершены.

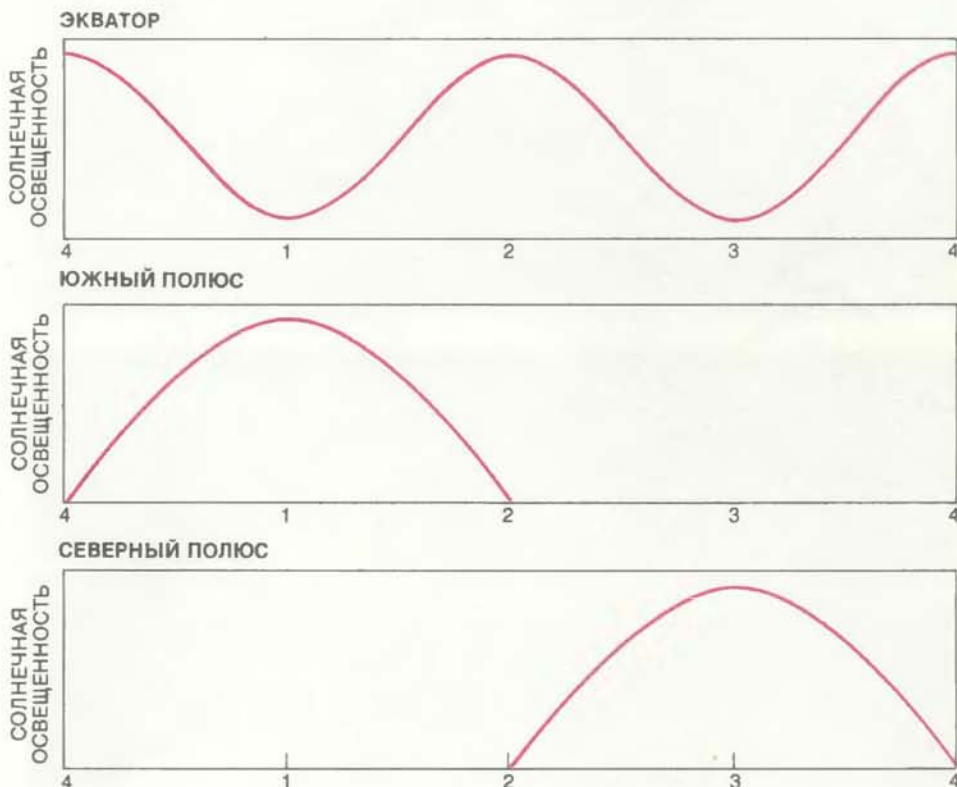
ВМОИ ФУНКЦИИ в рамках программы встречи «Вояджера-2» с Ураном входили планирование и анализ наблюдений его атмосферы, в частности относящиеся к облакам и ветрам. Сначала эта работа вызвала разочарование, поскольку не обнаруживалось никаких деталей. Программа для научных приборов на борту аппарата была составлена задолго до того, когда стало возможным что-либо увидеть на планете. Тем не менее я и другие сотрудники, занимавшиеся изучением атмосферы Урана, предложили, чтобы аппарат передал много телевизионных изображений планеты. Наши коллеги из телевизионной группы изображений (которую тогда в шутку называли «группой воображений»), согласились отчасти просто из любезности, отчасти потому, что до самого кануна встречи планета оставалась единственным достаточно крупным объектом, который мог заполнить поле зрения узкоугольной камеры «Вояджера-2».

На протяжении последних месяцев 1985 г. планета постоянно увеличивалась в поле зрения камеры, однако она оставалась такой же «скучной» и лишенной деталей. Проблема заключалась в том, что геометрия освещенности Солнцем разных областей планеты создавала гораздо большие контрасты, чем отдельные образования на ее диске; они «тонули» в солнечном свете (явление «потемнения к краю»). К счастью, распределение освещенности имеет закономерный характер. Наиболее яркая область — это подсолнечная точка вблизи южного полюса, а в направлении к экватору яркость постепенно уменьшается, что можно представить математической моделью. В начале декабря Ч. Эвис, Р. Браун и Т. Джонсон из Лаборатории реактивного движения получили математическое выражение, описывающее распределение яркости по гипотетической планете, подобной Урану, но полностью лишенной деталей. Когда эта модель была использована для исключения потемнения к краю, на полученных изображениях диска Урана стали видны слабые облачные детали.

Как я уже отмечал, яркость этих деталей всего на несколько процентов выше яркости их окружения, но кон-



ПОЛОЖЕНИЕ
НА 24 ЯНВАРЯ
1986 Г.

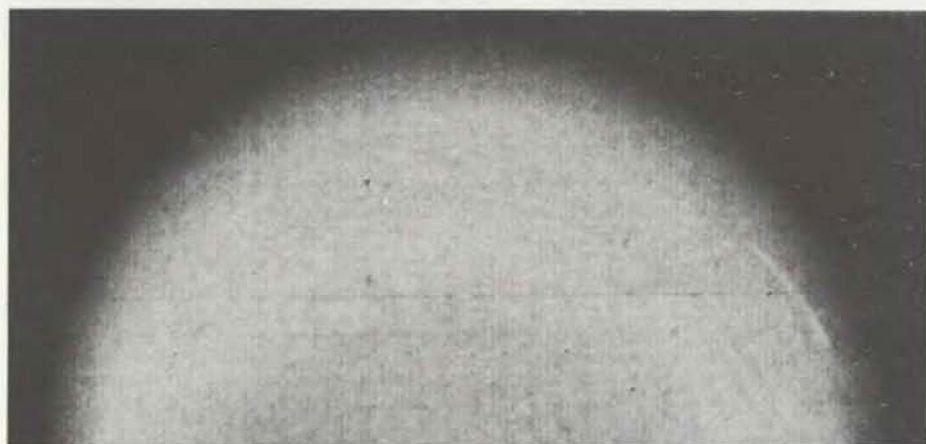
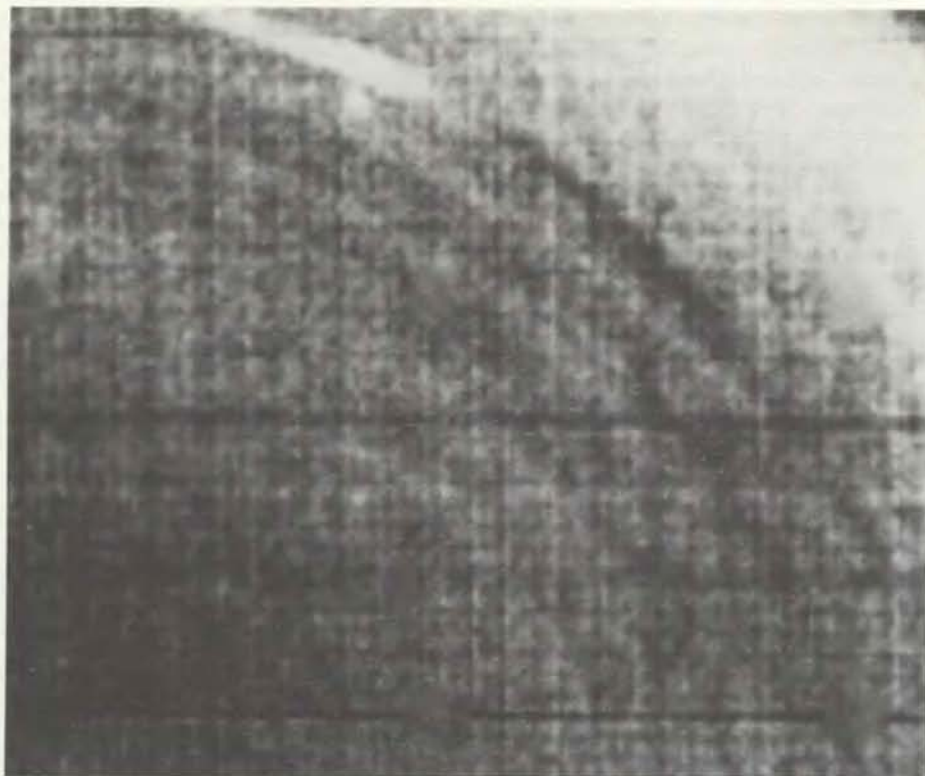


СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ солнечной освещенности на Уране очень сильно отличаются от изменений на других планетах, поскольку Уран «лежит на боку». Продолжительность года на Уране составляет примерно 84 земных года. Сейчас южный полюс планеты направлен к Солнцу, а северный постоянно погружен в темноту. Через 42 земных года они поменяются местами. В экваториальной области Урана, которая ныне погружена в постоянные сумерки, дважды в течение года наступают такие своеобразные зима и лето.

трасты можно увеличить и представить их в условных цветах. На усиленных изображениях стали видны полосы облаков, концентрически расположенных вокруг полюса вращения.

На фоне этих поясов и между ними расположены более мелкие образования, обращаемые вокруг полюса против часовой стрелки, каждое на постоянной широте. Скорости обращения этих образований на разных широтах различны: периоды обращения лежат в пределах от 14 до 17 ч. Отсюда следует, что облака не только вращаются вместе со всей планетой, но наблюдаются также ветры.

Наконец, после многомесячного ожидания был получен научный результат, причем довольно значительный. Во-первых, пояса облаков «не обязаны» были располагаться концентрически вокруг полюса, тем не менее они располагались. Во-вторых, ветры не должны были дуть с востока на запад, но они были направлены именно так. Оба этих явления напоминали процессы на Венере, Земле, Юпитере и Сатурне. До встречи «Вояджера-2» с Ураном можно было предположить, что у него другая система атмосферной циркуляции. На Уране, как и на других планетах,



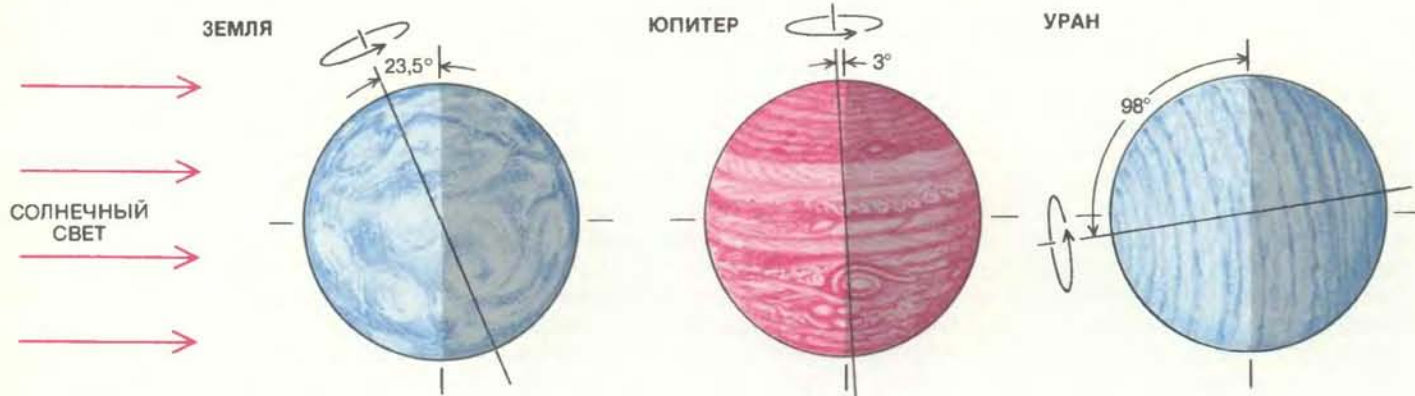
ЯРКИЕ ОБЛАЧНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ на концентрических облачных поясах наблюдались на изображениях, переданных «Вояджером-2». Облака движутся против часовой стрелки вокруг полюса вращения. На различных широтах облачные детали перемещаются с разными скоростями, что свидетельствует о том, что они движутся под действием ветров, дующих с востока на запад, причем интенсивность ветров также меняется с широтой. Образование на переднем плане (верхний рисунок), возможно, представляет собой «султан» восходящего конвективного потока. Измеряя его перемещение на последовательных снимках, можно определить скорость ветра. На средней фотографии положение этого образования соответствует положению цифры «2» на часах, а на нижней фотографии — положению цифры «11».

большая часть энергии, необходимой для возникновения циркуляции, поступает от Солнца. К моменту встречи Солнце светило почти прямо на южный полюс Урана, в то время как северный полюс уже 20 лет пребывает в темноте, а экватор находится в постоянных сумерках. Следовательно, распределение освещенности на Уране полностью отличается от других планет, наклон осей которых гораздо меньше. Тем не менее атмосферная циркуляция оказалась такой же.

По-видимому, Солнце хотя и составляет необходимую энергию для поддержания атмосферных движений, оно не определяет структуру циркуляции. Система циркуляции определяется именно вращением планеты. В результате вращения возникают так называемые силы Кориолиса, которые и направляют ветры вдоль зон постоянных широт. Если какой-либо атмосферный пакет отклоняется от своей широты, то силы Кориолиса возвращают его обратно. Наблюдения планет с космических аппаратов, и в частности наблюдения Урана, показали, какую важную роль играют эти силы. Мы узнали, что на атмосферную циркуляцию планет Солнце влияет не так сильно, как их собственная инерция.

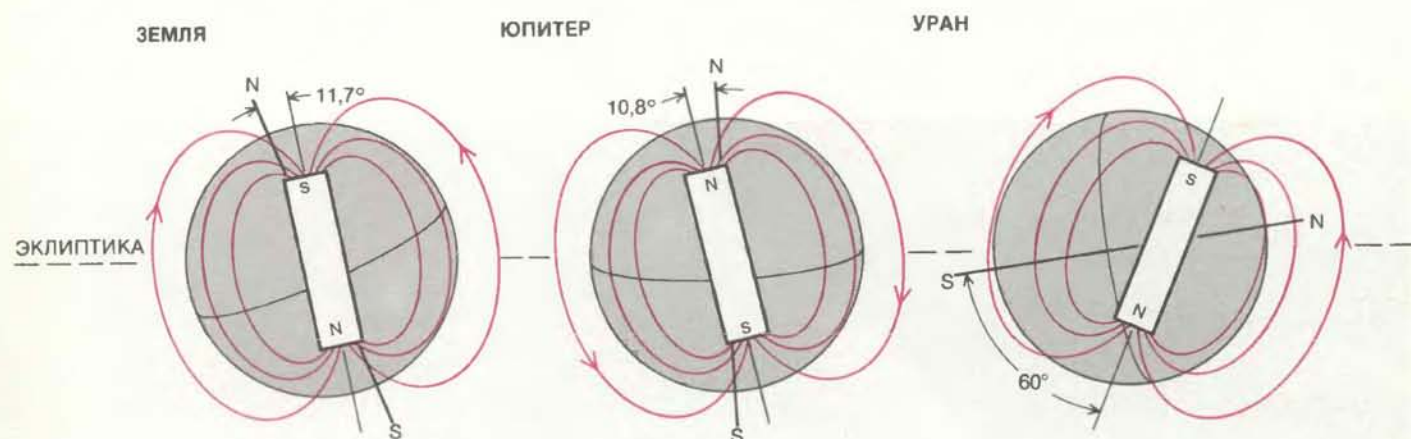
В НАЧАЛЕ января 1986 г., когда данные об облачных образованиях в атмосфере Урана были уже получены, ученые, изучающие с помощью «Вояджера-2» магнитные поля и заряженные частицы, все еще с волнением ждали первых результатов наблюдений. Если бы оказалось, что у Урана нет магнитного поля, то им оставалось бы только наблюдать за солнечным ветром — потоком заряженных частиц, обтекающим планету; единственным проявлением его взаимодействия с Ураном был бы «кильватерный след», возникающий в потоке. Тогда ничего нельзя было бы сказать о планетарном магнитном динамо и электропроводящих областях внутри планеты, кроме того, что их нет. Было бы невозможно также определить скорость вращения внутренних областей планеты; это соображение вызывало беспокойство и у специалистов, занимающихся изучением атмосферы планеты. Для планет-гигантов, таких, как Уран, не имеющих твердой поверхности, их собственное магнитное поле представляет собой единственную фиксированную систему отсчета, относительно которой можно измерить движения атмосферы.

«Вояджер-2» пересекал область, для которой теоретические модели предсказывали появление эффектов, связанных с магнитным полем, а сре-



ВЕТРЫ, дующие с востока на запад, преобладают в атмосферной циркуляции на Уране так же, как на Земле и Юпитере, несмотря на кардинальное отличие распределения солнечной освещенности на Уране, вызванное необычным положением оси вращения планеты, от распределения ос-

вещенности на Земле и Юпитере. Такое сходство предполагает, что силы Кориолиса, возникающие вследствие вращения планеты, оказывают доминирующее влияние на характер атмосферной циркуляции.



МАГНИТНАЯ ОСЬ Урана наклонена под углом 60° по отношению к оси вращения планеты, а гипотетический магнитный диполь, магнитное поле которого дает наиболее близкую модель магнитного поля планеты, должен быть сме-

щен в сторону от ее центра. (На южный конец диполя всегда показывает стрелка компаса.) Напротив, наклон осей дипольных полей Земли и Юпитера к оси их вращения незначителен и они не смещены относительно центров планет.

ди исследователей нарастало уныние. Затем, всего за пять дней до наибольшего сближения с планетой, космический аппарат зарегистрировал испускаемые Ураном потоки заряженных частиц и радиоизлучение. По аналогии с другими планетами можно предположить, что это излучение испускается заряженными частицами, движущимися по спиральным траекториям вдоль силовых линий магнитного поля. Модуляция зарегистрированного излучения свидетельствовала о том, что ось магнитного поля планеты наклонена относительно оси ее вращения и описывает конус в процессе вращения планеты.

Однако даже в этой точке «Вояджер-2» все еще не вошел в магнитосферу Урана. Дело в том, что на подсолнечной стороне солнечный ветер «прижимает» сравнительно небольшой район магнитосферы к поверхности планеты, а на противоположной стороне, наоборот, растягивает его так, что образуется «хвост». В области, где магнитное поле урав-

новешивает давление солнечного ветра, перед магнитосферой на подсолнечной стороне образуется головная ударная волна. (Она напоминает ударную волну, движущуюся впереди летящего со сверхзвуковой скоростью самолета, с той разницей, что ударная волна у планеты представляет собой электромагнитное возмущение, а не волну давления.) «Вояджер-2» пересек головную ударную волну 24 января 1986 г., всего за 10 ч до максимального сближения с планетой. Группа, занимавшаяся магнитометрическим экспериментом во главе с Ф. Нессом из Годдардовского центра космических полетов НАСА вскоре уже строила карту формы и напряженности магнитосферы Урана.

Его структура оказалась значительно сложнее, чем ожидалось. В магнитных полях других планет доминирует дипольная компонента, т. е. поле имеет такое строение, как будто в центре планеты находится небольшой, но мощный магнитный «брусок». У Земли, Юпитера и Сатурна

этот воображаемый магнит примерно параллелен оси вращения планеты. (Отклонение его магнитного диполя максимально у Земли и составляет $11,7^\circ$.) Отклонения от дипольной структуры, описываемые квадрупольной и октупольной компонентами, заметны в основном во внутренних областях планет-гигантов, вблизи жидкого проводящего ядра, движенье вещества в котором считается причиной возникновения магнитных полей планет. У Урана же ось дипольного поля образует угол 60° с осью вращения планеты, а напряженность других составляющих сравнима с дипольной. Если же представить поле чисто дипольной моделью, то для совпадения с наблюдаемым полем диполь необходимо сместить от центра планеты в сторону на расстояние, составляющее 30% ее радиуса.

Связано ли необычно большое отклонение магнитной оси Урана от оси вращения планеты с непривычно большим углом между последней и осью орбитального вращения плане-

ты? Это маловероятно, поскольку тогда недра Урана, где находится магнитное динамо, должны «знать» направление на Солнце, так как именно Солнце определяет орбиту планеты. Такая ситуация могла бы возникнуть за счет приливных эффектов — различий в поле тяготения Солнца, которые немного больше на дневной стороне планеты, чем на ночной. Однако Д. Стивенсон — мой коллега из Калифорнийского технологического института — показал, что подобный приливный эффект на Уране очень слаб (поскольку Уран находится в 19 раз дальше от Солнца, чем Земля) и не может оказывать заметного влияния на область магнитного динамо внутри планеты.

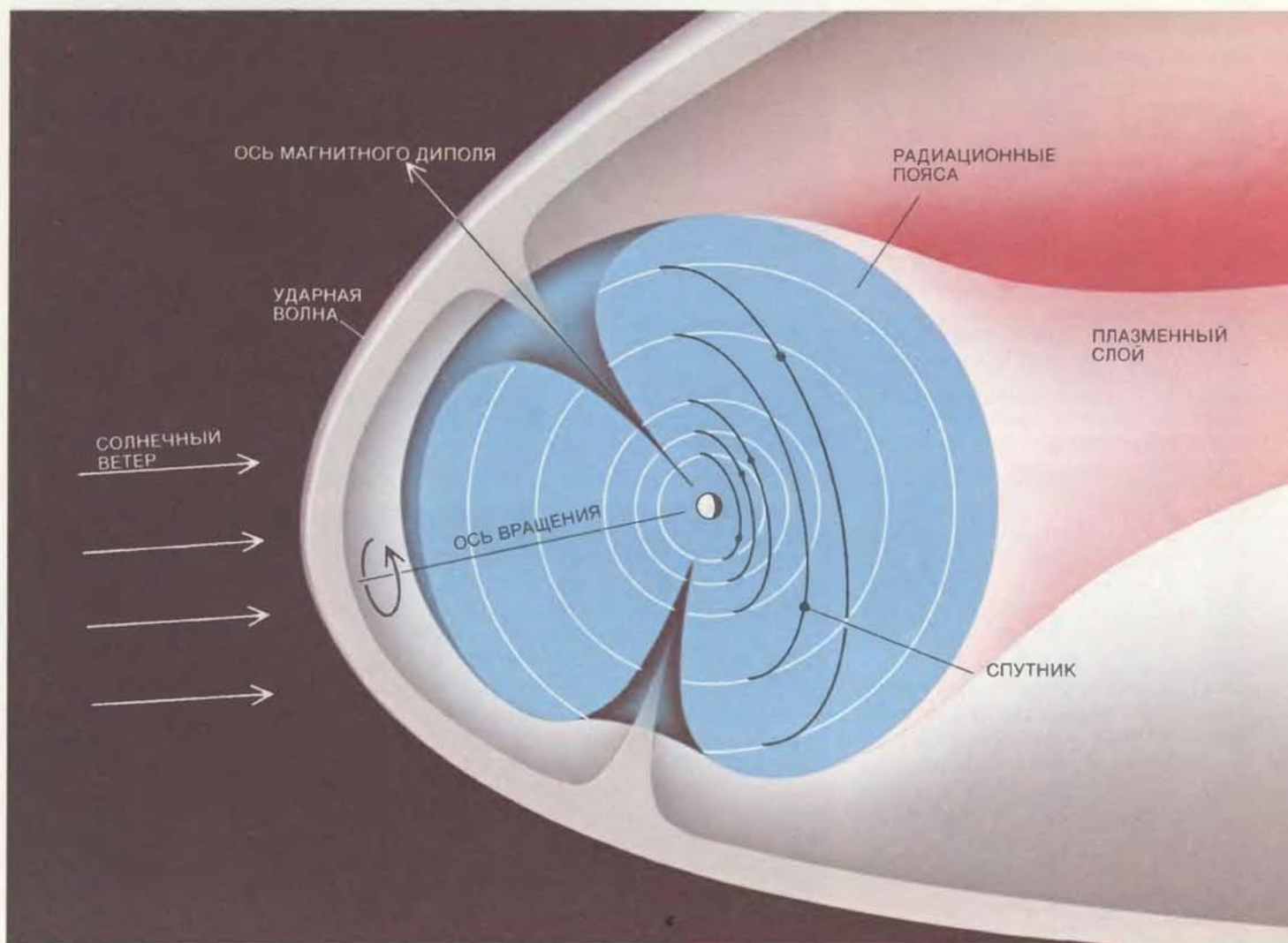
Несс и его сотрудники предположили, что как наклон магнитной оси, так и смещение диполя могут объясняться тем, что сейчас на Уране происходит инверсия магнитного поля, т. е.

изменение его направления на обратное. (На Земле имеется геологическое свидетельство многочисленных инверсий магнитного поля, хотя промежутки времени, за который полюса меняются местами, очень короткий.) Однако смещение диполя может свидетельствовать также о том, что область динамо на Уране расположена ближе к поверхности, чем на других планетах. В состав Урана входит значительное количество воды и аммиака, которые становятся хорошими проводниками электричества при меньших давлениях (и, следовательно, на меньших глубинах), чем водород и гелий, которые преобладают на Юпитере и Сатурне.

Однако достоверного объяснения наклона магнитной оси и сдвига диполя пока еще не найдено. Это и не удивительно, если учесть, что до сих пор не ясен механизм планетарного динамо даже для Земли, прежде всего из-за

сложности получения информации о строении внутренних областей планет. Магнитное поле Урана кажется нам странным. Но если бы в нашем распоряжении было бы очень много планет, возможно, у многих из них наклон магнитной оси составлял бы 60° и более.

МАГНИТОСФЕРА Урана простирается на расстояние не менее 590 000 км с дневной стороны планеты и примерно на 6 млн. км с ночной стороны. Как и магнитосферы остальных планет, она заполнена ионизованным газом — плазмой, состоящей из равного количества положительных ионов (в основном протонов) и электронов. Эти частицы захвачены магнитным полем и совершают колебания между северным и южным магнитными полюсами. Их средняя энергия возрастает по мере приближения к планете. Группа, занимавшаяся экс-



МАГНИТОСФЕРА Урана образуется в результате взаимодействия его магнитного поля с солнечным ветром. С той стороны планеты, куда воздействует солнечный ветер, образуется головная ударная волна, аналогичная ударной волне впереди сверхзвукового самолета. Начинающаяся за фронтом волны магнитосфера заполнена плазмой из протонов и электронов, одна часть которых попадает ту-

да, вероятно, из солнечного ветра, а другая образуется из водорода, поступающего из верхних слоев атмосферы. Заряженные частицы захватываются магнитным полем; высокоэнергетические частицы совершают колебания между магнитными полюсами планеты, образуя тороидальные радиационные пояса. Низкоэнергетические частицы преобладают в плазменном слое, отделяющем северное маг-

периментом по заряженным частицам на «Вояджере-2» во главе с С. Кримигисом из Университета Джона Гопкинса, обнаружила у Урана радиационные пояса (области, заполненные частицами высоких энергий), аналогичные земным поясам Ван Аллена.

Уровень радиации в поясах Урана настолько высок, что она может вызвать разрушение поверхности какого-либо объекта уже через несколько миллионов лет. Именно этим эффектом можно объяснить темный цвет колец планеты и темные пятна на поверхностях ее спутников. Орбиты спутников и колец расположены внутри радиационных поясов, поэтому они постоянно подвергаются бомбардировке высокоэнергетическими частицами. Если, как считают, они отчасти покрыты метановым льдом, можно предположить, что протоны высоких энергий разрушают молеку-

лы метана и превращают его в сложные углеводороды, которые в замерзшем состоянии имеют тусклый темный цвет.

«Вояджер-2» находился в магнитосфере Урана больше двух дней. Поскольку магнитное поле «привязано» к планете, по флуктуациям его напряженности можно было определить скорость ее вращения. Эту скорость можно было бы определить также по радиоизлучению, послужившему первым сигналом о наличии у планеты магнитного поля. Радиоизлучение приходит из приполярных областей, и его интенсивность также колеблется периодически вследствие прецессии магнитной оси относительно оси вращения. Занимавшаяся планетной радиоастрономией группа во главе с Дж. Уорвиком из Radiophysics, Inc. (Боулдер, шт. Колорадо) наблюдала более 10 циклов изменения радиоизлучения. Согласно их расчетам, согласующимся с данными о напряженности магнитного поля, Уран совершает один оборот вокруг своей оси за 17,24 ч. Лучшие оценки, сделанные до сближения с планетой, давали немного более быстрое вращение.

Внутренняя скорость вращения гигантской планеты и величина ее экваториального вздутия чувствительны к внутреннему устройству планеты. Чем быстрее вращение, тем больше центробежная сила, действующая на планету, тем больше масса вещества, смещенного к экватору и больше экваториальное вздутие. Его величина зависит также от распределения вещества в недрах планеты: среди двух планет с одинаковыми массой, радиусом и скоростью вращения меньшее вздутие будет иметь та, у которой большая часть массы сконцентрирована в центре. Величину вздутия можно определить из визуальных наблюдений или по гравитационному возмущению орбит спутников и колец планеты, вызванному отклонением ее формы от сферической. Оказалось, что экваториальный диаметр Урана на 2,4% больше полярного.


Еще до встречи «Вояджера-2» с Ураном У. Хаббард и Дж. Макфарлейн из Аризонского университета использовали эти значения и лучшие оценки периода вращения и провели расчеты различных моделей внутреннего строения планеты. Модели различались по относительному содержанию и степени перемешивания трех основных компонентов: скальных пород (состоящих из металлов и их оксидов), льда (водяного, аммиачного и метанового) и газа (водорода, гелия и неона). Согласно одной из наиболее популярных моделей, все три компонента разделены и образуют три

слоя: газовая атмосфера покрывает глубокий «океан» из льдов, расплавленных при высоких температурах в недрах планеты, океан окружает каменное ядро. Хаббард и Макфарлейн установили, что такая модель не может объяснить довольно сильное экваториальное вздутие Урана, поскольку в этом случае слишком большая доля массы должна быть сконцентрирована в центре планеты.

Когда в этой «трехслойной» модели была учтена несколько меньшая скорость вращения (по данным «Вояджера-2»), было получено еще меньшее экваториальное вздутие, т. е. расхождение с наблюдениями увеличилось. Экспериментальные данные «Вояджера» свидетельствуют скорее в пользу «двухслойной» модели, согласно которой газ и льды перемешаны в плотной атмосфере, простирающейся от ядра до видимой поверхности планеты. Основная часть атмосферы, по-видимому, состоит из воды. По мере приближения к верхней границе атмосферы, где температура падает до минимальной (52 К), вода, аммиак и метан (именно в таком порядке) конденсируются и образуют толстые слои облаков из ледяного аэрозоля. Верхний слой, образованный метановым льдом, виден на полученных с «Вояджера-2» изображениях. Над ним находится тонкий верхний слой атмосферы — газовая смесь, состоящая преимущественно из водорода с небольшими количествами гелия и неона.

СКОРОСТЬ вращения глубоких слоев Урана, определенная по измерениям магнитного поля, оказалась сюрпризом для метеорологов, поскольку период обращения (17,24 ч) больше периода вращения облачных образований, обнаруженных на полученных изображениях. Другими словами, слои атмосферы на уровне верхней границы облаков вращаются быстрее глубоких слоев планеты, по крайней мере для широт от 25 и 70°, где были обнаружены детали облаков. Эта разница максимальна в высоких широтах, где облака завершают оборот вокруг полюсов за 14 ч, и уменьшается по мере приближения к экватору. Есть основания считать, что в экваториальной области, напротив, облака вращаются медленнее, чем внутренние области планеты.

Распределение интенсивности ветров вызывает удивление по той же причине, что и преобладание ветров, дующих с востока на запад: такая картина очень напоминает атмосферную циркуляцию на Земле. Например, атмосферная циркуляция в средних широтах Земли определяется струй-



нитное полушарие от южного. Поскольку естественные спутники планеты вращаются в ее экваториальной плоскости, они оставляют в магнитосфере «следы» без частиц (белые линии).

ными течениями, направленными к востоку (ветрами, господствующими на большой высоте). Это обусловлено более высокой температурой на экваторе, чем на полюсах: широтный градиент температуры порождает градиент давления в верхних слоях атмосферы, который уравнивается силами Кориолиса, вызывающими западные ветры. Поскольку Уран вращается «лежа на боку», можно предположить, что температура на его полюсах выше, чем на экваторе. Тем не менее быстрое вращение облачных образований на высоких широтах свидетельствует о том, что ветры Урана похожи на струйные течения в атмосфере Земли.

Это противоречие можно объяснить двумя способами. Во-первых, можно предположить, что система циркуляции на Уране определяется не температурными градиентами, а градиентами плотности, связанными с конденсацией и осадением конденсатов. При конденсации водяных паров в какой-либо области земной атмосферы ее плотность изменяется здесь меньше чем на 2%. Однако плотная атмосфера Урана может состоять на 50% из воды. Если по какой-то причине значительная часть воды над экватором конденсируется, то возникающий градиент плотности создаст эффект, аналогичный земному градиенту температур, и вызовет появление атмосферных потоков, направленных к полюсам. (Похожее явление на Земле представляют океанские течения, направления которых определяются в основном различиями в солености воды, а не температурными градиентами.)

Второе объяснение состоит в том, что на полюсах Урана температура не выше, чем на экваторе, несмотря на то, что они получают больше солнечной энергии. Группа ученых во главе с Р. Хэннелом из Годдардовского центра космических полетов НАСА, работавшая с инфракрасным спектрометром на «Вояджере-2», измерила температуру вдоль меридиана планеты, от полюса до полюса, непосредственно над верхней границей облаков на уровне постоянного давления, равного 0,6 земного. (Давление у верхней границы облаков равно примерно 1 атм.) Обнаружено, что на обоих полюсах и на экваторе температура одинакова и составляет 64 К; в средних широтах обоих полушарий она на 1-2° ниже.

Теоретические модели действительно предсказывали, что оба полюса будут иметь примерно равные температуры. Солнечная освещенность на Уране настолько слабая, что сезонные колебания температуры не дол-

жны превышать 2 К. Дж. Фридсон из Калифорнийского технологического института и я рассчитали, что ветры могут ограничивать сезонные колебания за счет переноса тепла из одного полушария в другое; сезонное охлаждение темного полюса может компенсироваться также усиленным переносом тепла из недр планеты. Однако ни одна из моделей не объясняет, почему температура на экваторе такая же, как и на полюсах. По-видимому, истинная схема теплопереноса на Уране сложнее всех предложенных моделей.

ВИДИМАЯ поверхность Урана — это еще не граница его атмосферы. Над облаками расположен разреженный верхний слой атмосферы, состоящий в основном из молекулярного водорода. (Возможно, что распад молекул водорода этого слоя под действием ультрафиолетовой радиации и заряженных частиц может быть важным источником протонов и электронов, из которых состоят радиационные пояса.) Этот слой достаточно горячий (его температура достигает 750 К), вследствие чего горячий водород поднимается на высоту до 6000 км над границей облаков. Одной солнечной энергии недостаточно, чтобы объяснить столь высокую температуру; должен быть какой-то дополнительный источник энергии.

Этот же неизвестный источник энергии, возможно, служит причиной необычных свечений, которые наблюдала группа ученых во главе с Л. Бродфут из Аризонского университета, с помощью ультрафиолетового спектрометра на «Вояджере-2». Свечения были обнаружены только на дневной стороне планеты, следовательно, для их возникновения необходим солнечный свет. Аналогичное явление наблюдалось на Юпитере и Сатурне. Оно было названо электросвечением, поскольку его происхождение теоретики объясняют возбуждением электронами молекул водорода в верхних слоях атмосферы всех трех планет. Откуда берется энергия у этих электронов — неизвестно.

Столь же неясен ответ на основной вопрос физики Урана: почему он вращается на боку? Хотя «Вояджер-2» не обнаружил «дымящихся пушек» на Уране, космический аппарат уже в течение нескольких лет находит многочисленные свидетельства катастрофических столкновений, относящихся к ранней истории Солнечной системы. Спутники Юпитера, Сатурна, Урана покрыты «шрамами» от ударов, почти достаточных, чтобы их разрушить. Когда обломки, вращавшиеся вокруг только что образовав-

шегося Солнца, объединялись в тела планетарных размеров, заключительные столкновения могли быть наиболее мощными. По крайней мере одно тело размерами с Землю могло столкнуться с тем, что теперь называется Ураном. Такой мощный удар, смещенный относительно центра, вполне мог «положить» планету набок. В настоящее время именно эту гипотезу разделяет большинство специалистов. Она должна быть подтверждена или опровергнута следующими полетами космических аппаратов.

Издательство МИР предлагает:

Дж. Адомиан СТОХАСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Перевод с английского
Монография известного американского ученого посвящена изложению теории стохастических систем и ее применению в решении практических задач.

Основное содержание: Функции Грина и теория систем. Общий обзор теории стохастических процессов. Стохастические операторы и стохастические системы. Линейные и нелинейные стохастические дифференциальные уравнения. Ускорение сходимости итерационного процесса. Приближение решения нелинейных стохастических уравнений. Сравнительный анализ метода разложения и метода Пикара. Стохастические уравнения в частных производных. Стохастические системы и общая теория стохастических уравнений.

Для специалистов в области проектирования систем и комплексов автоматического управления.

1987, 22 л. Цена 2 р. 30 к.



Наука и общество

Аппарат «видит» сквозь стену

НА СРЕДСТВА, выделенные военно-морским ведомством США, специалисты Технологического института шт. Джорджия и Университета шт. Мичиган в Лэнсинге разработали несколько типов радаров, способных дистанционно улавливать биение сердца и дыхание. Один из видов такой системы может определить, что за бетонной стеной находится человек.

Принцип действия таких установок, разрабатываемый на протяжении последних 4 лет, основан на том, что микроволновое излучение, отраженное от живого человека, модулируется движением его сердца и грудной клетки. Процессор, обрабатывающий принятые сигналы, может выделить этот ритмически изменяющийся сигнал слабой мощности на фоне отраженной энергии. Как сообщают исследователи, в условиях невозмущенной среды им удалось зафиксировать биение сердца и дыхание людей на расстоянии до 100 м при излучении на частоте 10 ГГц (Университет шт. Мичиган) и 35 ГГц (Технологический институт шт. Джорджия).

Разработанные системы пока не совершенны и в эксплуатационных условиях могут оказаться неэффективными. Даже слабые колебания стебельков травы создают электронный шум, которые может «затмить» полезный сигнал. Руководитель проекта в Технологическом институте Дж. Силс заявил, что он намерен провести эксперимент с более узким лучом и использовать технически более совершенную аппаратуру для обработки сигналов, чтобы снизить уровень шума и расширить рабочий диапазон радара.

Представитель управления медицинских исследований и разработок при военно-морском ведомстве Э. Посту, курирующий работу, проводимую упомянутыми организациями, сообщил, что его ведомство предполагает использовать создаваемые системы для специальных целей — они должны служить вспомогательным средством медикам, работающим в экстремальных боевых условиях, например, там, где был применен газ нервно-паралитического действия, чтобы можно было быстро определить, кто из пострадавших еще жив и тем самым повысить оперативность спасательных работ.

Система, испытанная в Универси-

тете шт. Мичиган и работающая на более низких частотах, может найти применение и в других областях. Как сообщил руководитель проекта Кун-Му Чен, при помощи излучения на частоте 2 ГГц, удалось идентифицировать нахождение людей за бетонной или кирпичной стеной толщиной до 1 м. При такой чувствительности радар мог бы оказаться полезным при поиске под руинами живых людей, пострадавших во время землетрясения или взрыва. Его могла бы использовать и полиция для поиска преступников, скрывающихся в зданиях или других постройках.

Как Силс, так и Чен убеждены, что разрабатываемые ими системы могли бы с успехом найти применение и в медицинской практике. Посту заявил, что после проведения полевых испытаний, намеченных на весну этого года, в военно-морском ведомстве решат, будет ли продолжено финансирование проводимых в данной области работ.

Не чувствуя боли

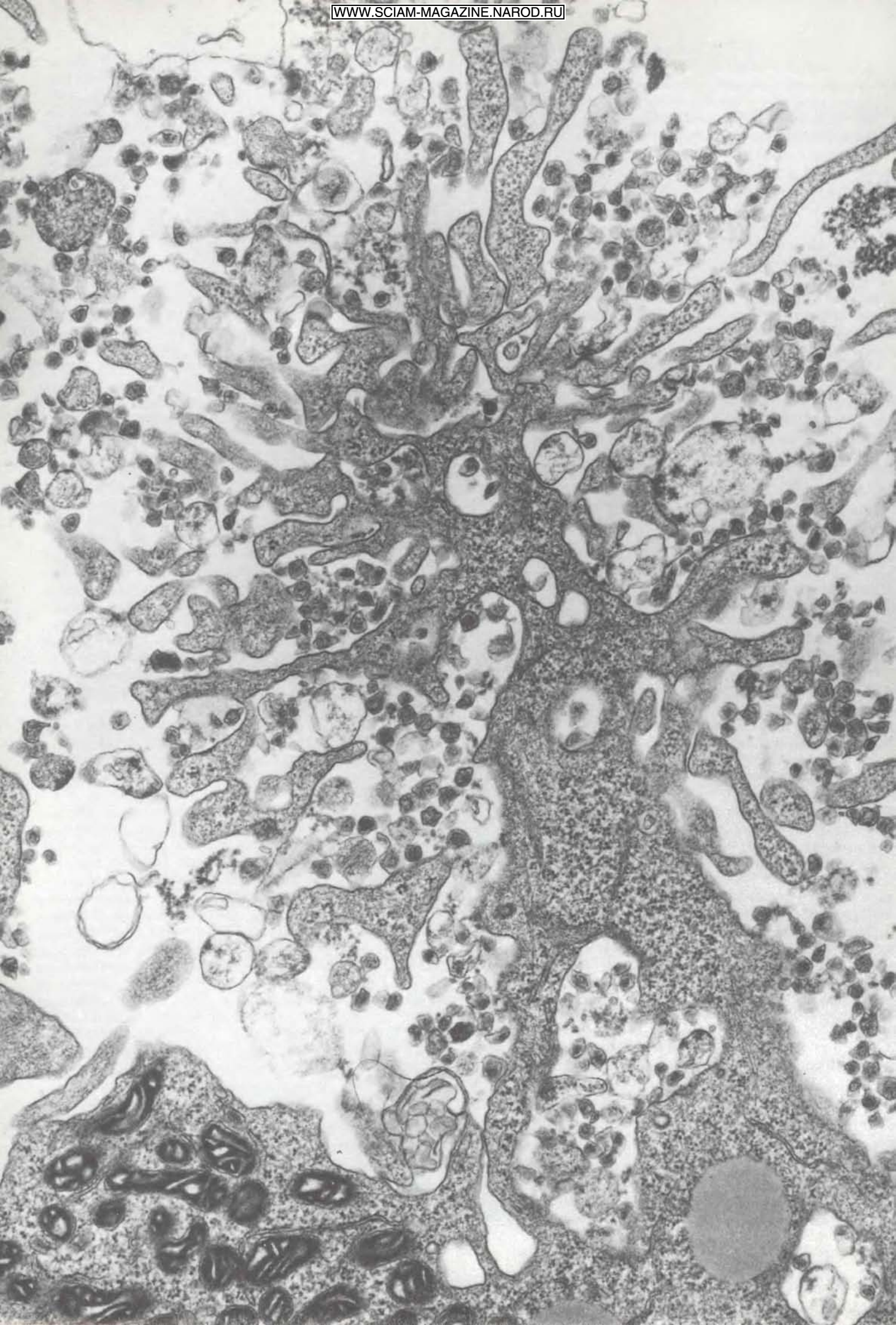
ВАЖНЫЕ НОВОСТИ — и хорошие, и плохие — прозвучали с трибуны ежегодного съезда Американского кардиологического общества. К хорошим новостям можно отнести сообщение о том, что для людей, которых считают предрасположенными к сердечным приступам в связи с несдержанностью и повышенной агрессивностью поведения (этот тип обозначается А), вероятность второго инфаркта на самом деле не выше, чем для всех остальных. Новость, которую, видимо, следует считать плохой, состоит в том, что эндорфины, образующиеся в организме человека (с этими веществами связана, в частности, «эйфория стайера»), могут заглушать болезненные симптомы сердечного заболевания.

О результатах анализа сердечных заболеваний у людей группы А сообщил Ч. Деннис из Медицинской школы Станфордского университета. Он и его коллеги обследовали 303 человека в возрасте около 50 лет, которые перенесли инфаркт и находились в стадии выздоровления. На основании соответствующих тестов 61 из них был отнесен к типу А; остальные оказались более спокойными в своем поведении и восприятии жизненных обстоятельств, что по принятой классификации соответствует типу В. Между этими двумя группами не было обнаружено никакой разницы по харак-

теру и частоте событий в сердечно-сосудистой системе, происшедших в течение 6 месяцев после инфаркта.

Роль эндорфинов изучал Д. Шепс из Медицинской школы Университета Северной Каролины и его коллеги. Они обследовали 25 человек с диагнозом ишемии (проявляется в ослаблении кровоснабжения сердечной мышцы). Каждого из них просили активно работать педалями на велотренажере до тех пор, пока он не почувствует стенокардические боли в сердце (этот симптом характерен для ишемической болезни) или слишком сильную усталость, не позволяющую продолжать упражнение. После этого измерялось содержание β -эндорфинов в крови. У 10 человек, у которых при такой физической нагрузке не было болезненных ощущений, оно оказалось на 35—40% выше, чем у остальных. Поскольку уровень эндорфинов при физической нагрузке возрастает, можно предположить, что некоторые больные ишемией могут и не подозревать о том, что больны, из-за отсутствия болезненных ощущений во время нагрузки или после нее. По мнению Шепса, интерпретировать полученные данные следует с осторожностью. Во-первых, число испытуемых было невелико. Во-вторых, в эксперименте не учитывались тренированность испытуемых и привычный для каждого уровень физической нагрузки. Шепс с коллегами планируют широкое обследование, чтобы получить определенные результаты.

Гораздо более однозначны результаты Дж. Стэмлера и его сотрудников из Северо-Западного университета о связи между концентрацией холестерина в крови и смертностью. В статье этих исследователей, опубликованной в "Journal of the American Medical Association", сообщается, что 80% людей среднего возраста угрожает преждевременная смерть из-за высокого (более 1,8 мг/мл крови) содержания холестерина. Выводы Стэмлера основываются на данных обследования 361 662 человек в возрасте от 35 до 57 лет, проведенного Национальным институтом сердца, легких и крови. Известно, что избыток холестерина может привести к атеросклерозу. В одном из представленных на съезде докладов для уменьшения уровня холестерина предлагается использовать зарекомендовавший себя в экспериментах препарат, названный ловостатином. Года через два это лекарство станет общедоступным.



Вирус синдрома приобретенного иммунного дефицита

Этот вирус — один из трех известных на сегодняшний день ретровирусов человека — был открыт и приобрел печальную известность в связи с тем, что вызываемое им опаснейшее заболевание в последнее время быстро распространяется, угрожая стать пандемией. Хотя о нем известно уже довольно много, пока нет оснований для оптимизма

РОБЕРТ К. ГАЛЛО

ЭТА БОЛЕЗНЬ — поистине бич нашего времени. Впервые она была описана в 1981 г., а сейчас угрожает приобрести характер пандемии — первой пандемии второй половины XX в. Заболеванию присвоено длинное название «синдром приобретенного иммунного дефицита», которое всем известно ныне в ледяющей душе аббревиатуре AIDS (от англ. acquired immune deficiency syndrome). AIDS представляет собой новое инфекционное заболевание человека; оно возникло, по-видимому, в Центральной Африке не ранее 1950-х годов и, вероятно, оттуда распространилось в страны Карибского региона, а затем в США и Европу. К настоящему моменту в США заражено, судя по всему, около 2 млн. человек. В районах Африки и Карибского бассейна, где заболевание эндемично, ситуация и того хуже. В некоторых районах, очевидно, уже невозможно предотвратить гибель удручающе большого числа людей.

На фоне этой мрачной эпидемиологической картины резким контрастом выглядит поразительно быстрое на-

копление знаний о причине болезни. Всего через три года после первых описанных случаев AIDS было показано, что его возбудителем является ретровирус человека HTLV-III (от англ. human T-lymphotropic virus III), который называют также вирусом иммунного дефицита человека (HIV, от англ. human immunodeficiency virus). Подобно другим ретровирусам, HTLV-III содержит в качестве генетического материала РНК. Когда такой вирус попадает в клетку-хозяина, вирусный фермент, называемый обратной транскриптазой, по этой РНК как по матрице синтезирует соответствующую ей молекулу ДНК. Затем вирусная ДНК проникает в ядро клетки, встраивается в хромосомную ДНК и впоследствии служит основой для репликации вируса, т. е. для образования новых вирусных частиц.

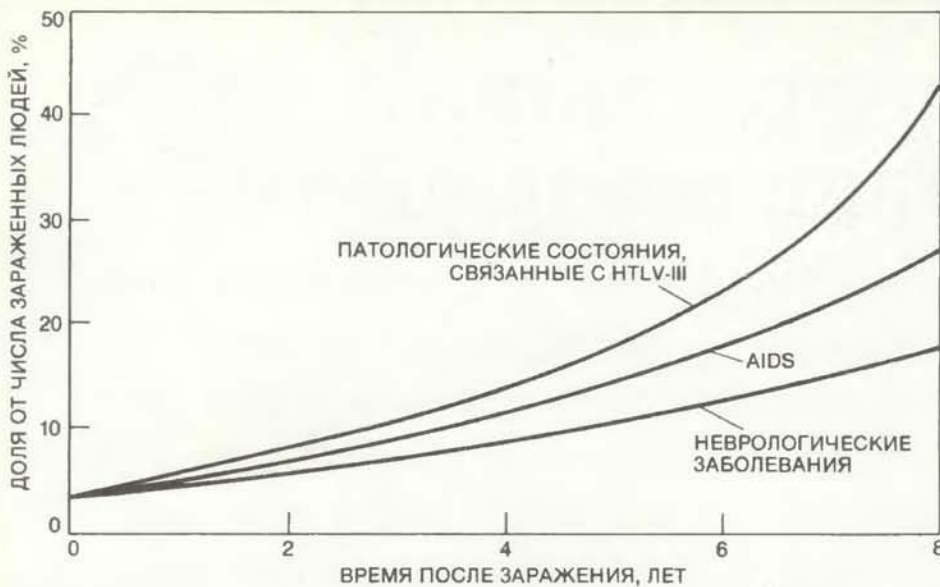
В случае HTLV-III в роли хозяина чаще всего выступают Т4-лимфоциты — белые клетки крови, которые играют важную роль в регуляции иммунной системы. Попав в Т4-клетку, вирус может оставаться в латент-

ном состоянии до тех пор, пока в связи со вторичной инфекцией не начнется иммунологическая стимуляция Т-лимфоцитов. Тогда вирус бурно активизируется и размножается так стремительно, что вирусные частицы, покидая клетку, буквально изрешечивают клеточную мембрану, что и приводит к гибели лимфоцита. Разрушение Т4-лимфоцитов — характерный симптом AIDS — оставляет пациента беззащитным перед случайными инфекциями, которые были бы безвредными для здорового человека.

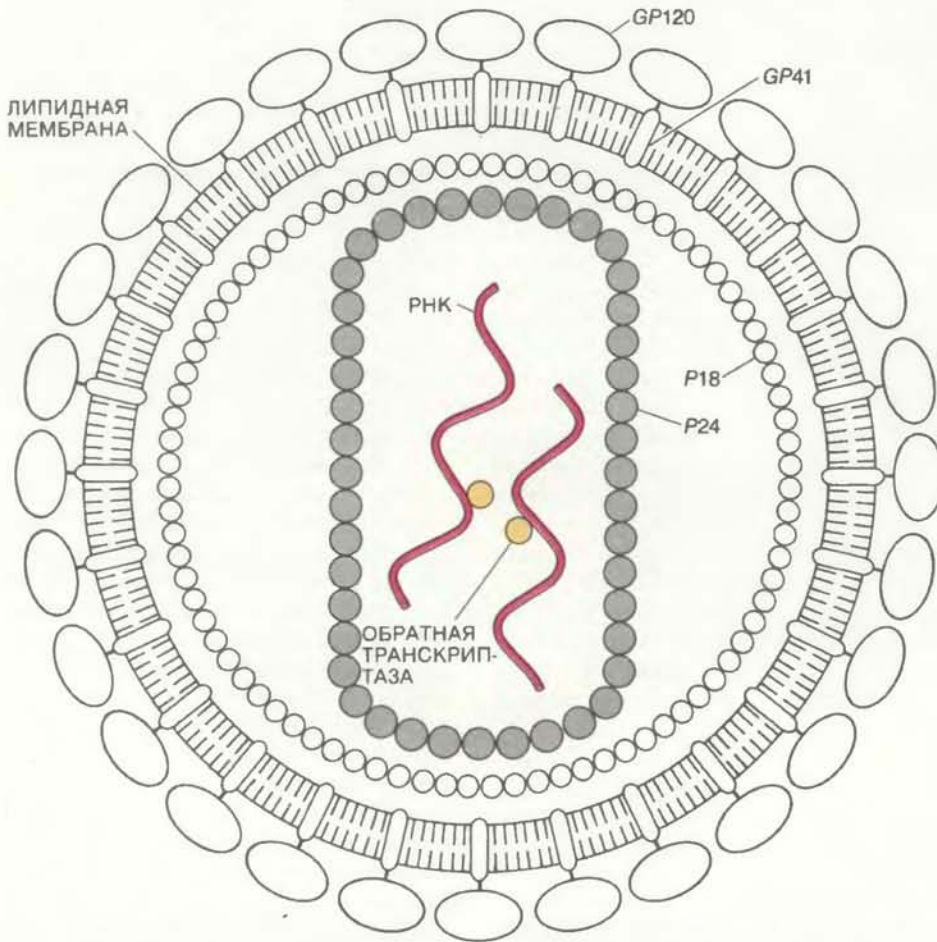
Каким образом HTLV-III, оставаясь латентным в течение нескольких лет, начинает реплицироваться после единичного импульса? Вот один из самых существенных вопросов, стоящих перед исследователями AIDS. Важным аспектом представляется также широта спектра болезней, которые вызывает HTLV-III. Пристальное внимание, которое ему уделяется, касается в основном AIDS, но этот вирус связан также с заболеванием головного мозга и некоторыми видами рака. Хотя на эти грустные вопросы нет ответа до сих пор, о вирусе AIDS известно больше, чем о любом другом ретровирусе. Изучение AIDS пошло так быстро отчасти в связи с тем, что в 1978 г. был открыт первый ретровирус человека — HTLV-I, вызывающий лейкоз. В свою очередь новые знания делают возможными исследования, крайне необходимые для лечения AIDS и предотвращения его распространения.

ГИБНУЩИЙ Т4-ЛИМФОЦИТ, из которого выходит множество новых частиц вируса, вызывающего AIDS. Возбудитель этого заболевания называется «Т-лимфотропный вирус человека III» (HTLV-III), а также «вирус иммунного дефицита человека» (HIV). На этом снимке (увеличение $\times 15\,000$) клетка имеет неправильную древовидную форму, вирусные частицы выглядят маленькими черными крапинками. HTLV-III — ретровирус; его генетическим материалом является РНК. Внутри зараженной клетки по вирусной РНК как по матрице синтезируется ДНК-копия. Эта ДНК встраивается в хромосомную ДНК клетки и никак не проявляет себя до тех пор, пока не произойдет активация, и тогда начинается репликация вируса. В случае HTLV-III образуется одновременно так много новых вирусных частиц, что клетка-хозяин может погибнуть. Основным хозяином вируса являются Т4-лимфоциты — белые клетки крови, участвующие в регуляции иммунного ответа; поэтому HTLV-III может вызвать иммунный дефицит.

ПЕРВЫМ свидетельством наступления новой болезни было появление редкого вида рака, называемого саркомой Капоши, в определенном



СПЕКТР БОЛЕЗНЕЙ, возникающих вследствие заражения HTLV-III, кроме иммунного дефицита, включает также неврологические расстройства и рак. Кривые показывают гипотетические шансы заболеть для зараженных людей в зависимости от времени, прошедшего с момента заражения. Причиной неврологических патологических изменений является, по-видимому, непосредственное поражение мозга HTLV-III, и они не зависят от вторичных инфекций, обусловленных иммунным дефицитом. Злокачественные заболевания, сопровождающие инфекцию HTLV-III, могут и не быть связаны с иммунным дефицитом.



ВИРУСНАЯ ЧАСТИЦА HTLV-III имеет сферическую форму; ее диаметр около 1000 Å. Оболочка частицы образована двойным слоем липидов, «утыканным» гликопротеинами. Липидная мембрана происходит из внешней мембраны клетки-хозяина. В каждой гликопротеиновой молекуле имеются две субъединицы: gp41, пронизывающая мембрану, и gp120, находящаяся снаружи. Внутри оболочки заключена сердцевина вируса, образованная белками p24 и p18. В сердцевине находятся вирусная РНК и несколько молекул фермента обратной транскриптазы, который катализирует синтез ДНК-копии вирусной РНК.

контингенте больных. Саркома Капоши — это опухоль ткани кровеносных сосудов в коже или внутренних органах, которая встречалась ранее главным образом у пожилых людей, как белых, так и африканцев. Однако в конце 70-х годов такие опухоли, причем в более агрессивной форме, стали появляться также и у молодых людей, среди которых саркома Капоши прежде была крайне редкой. Как выяснилось, многие новые жертвы саркомы Капоши были гомосексуалистами.

Эти случаи и дали основания для первых сообщений о новом синдроме, которые были сделаны в 1981 г. М. Готтливом из Медицинской школы Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе, Ф. Сигалом из Медицинского центра Маунт-Синай и Г. Мазуром из Нью-Йоркской больницы. Описанный ими синдром, наблюдавшийся у молодых мужчин-гомосексуалистов, проявлялся как случайные инфекции на фоне гибели Т4-лимфоцитов, а в некоторых случаях как саркома Капоши. Вскоре эпидемиологи из системы Центров по изучению болезней США отметили значительное увеличение числа случаев пневмонии, вызываемой *Pneumocystis carinii* — широко распространенным, но, как правило, не приносящим вреда простейшим. Стало ясно, что возникла инфекционная форма иммунного дефицита, которую и назвали AIDS. Вскоре оказалось, что AIDS распространен среди тех, кто злоупотребляет внутривенными инъекциями (в первую очередь наркоманов), кому часто переливают кровь, а также среди уроженцев Гаити. Такова история загадочной смертельной болезни, которая казалась частично связанной с образом жизни ее жертв.

Высказывалось множество различных гипотез о причине AIDS. Предполагалось, например, что болезнь развивается в результате воздействия на организм спермы или же амилонитрата — стимулятора, применяемого некоторыми гомосексуалистами. Существовало даже мнение, что AIDS не имеет специфического этиологического агента: просто иммунная система больного приходит в упадок вследствие хронического воздействия чужеродных белков, которые несут белые клетки крови других людей или инфекционные агенты. Однако казалось более вероятным, что болезнь имеет какую-то одну причину. Некоторые исследователи предположили, что AIDS вызывается уже известными вирусами — такими, как вирус Эпштейна — Барр или цитомегаловирус, которые относятся к группе герпесвирусов. Но оба этих вируса изучаются довольно давно, тогда как AIDS пред-

ставлялся новой болезнью. Более того, ни один из них не имел сродства к Т4-клеткам.

Дж. Курран из системы Центров по изучению болезней и его коллеги, которые следили за возникновением эпидемии, отдавали явное предпочтение гипотезе о новом инфекционном агенте. В конце 1981 г., прослушав сообщение Куррана об эпидемиологии AIDS, я уже был согласен с ним. Указание на природу возбудителя можно было усмотреть в том факте, что многие больные гемофилией заболели AIDS после вливания им препарата, называемого фактор VIII, который получают из плазмы крови большого числа доноров. В процессе приготовления фактора VIII плазма проходит через тонкие фильтры, которые задерживают грибки и бактерии, но пропускают вирусы. Это наблюдение свидетельствовало, что возбудителем AIDS является вирус. Но как же искать этот вирус, если он отличается от всех уже изученных? В любом случае требовалось соответствие имеющимся данным, а именно: возбудитель должен присутствовать в цельной крови, плазме, сперме, а также в препарате фактора VIII. Судя по эпидемиологической картине, он должен передаваться при сексуальном контакте и через кровь; возможна также врожденная инфекция. Наконец, заражение прямо или косвенно должно приводить к гибели Т4-лимфоцитов.

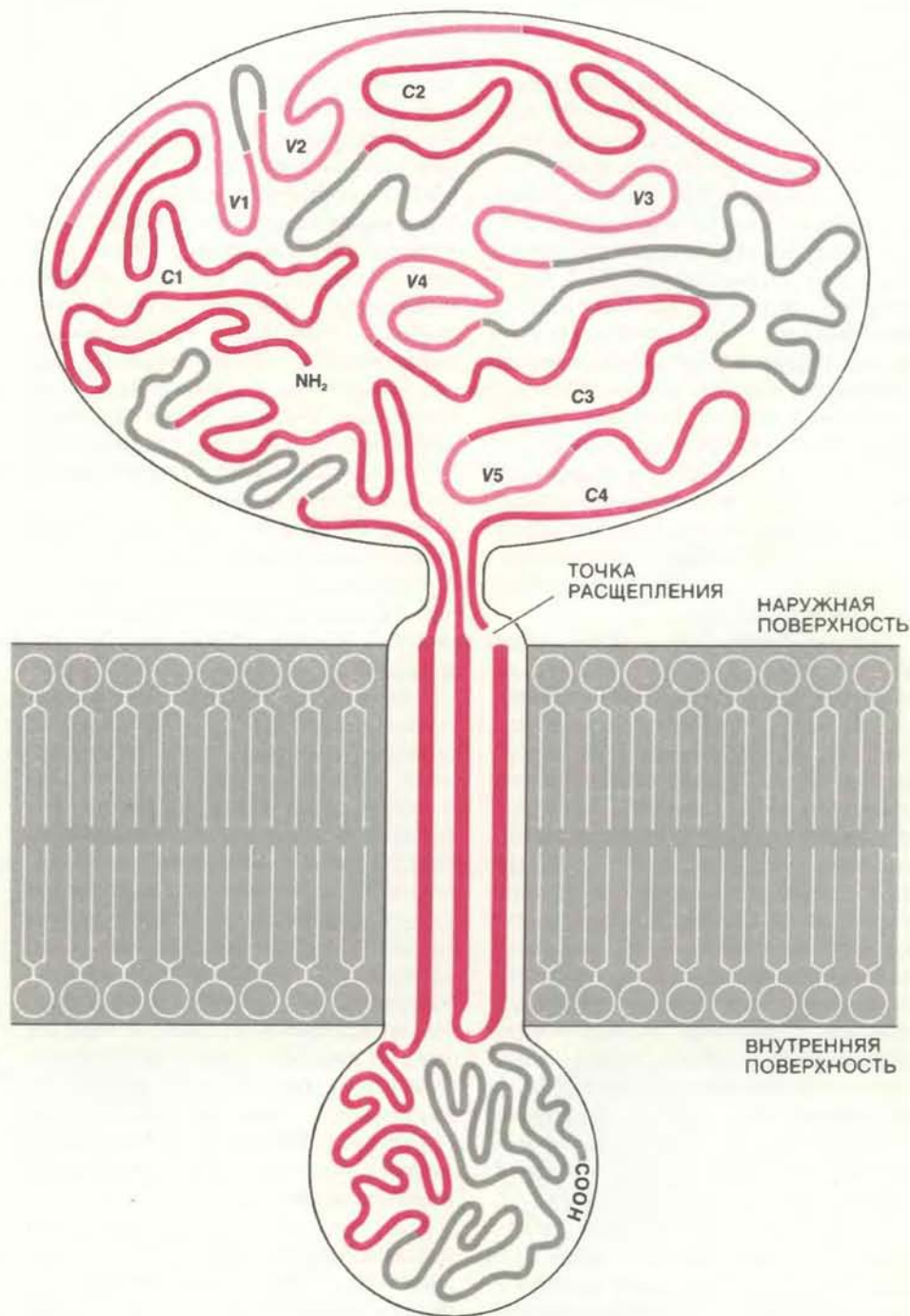
Эта эпидемиологическая картина оказалась знакомой мне и моим сотрудникам, так как еще в 1978 г. мы выделили сходный инфекционный агент — HTLV-I (см.: Р. Галло, Первый ретровирус человека, «В мире науки», 1987, № 2). HTLV-I тоже может передаваться через кровь, при половом контакте и от матери плоду. Имеет он и сильное сродство к Т-клеткам. Более того, хотя главным следствием заражения HTLV-I является лейкоз, у некоторых больных он вызывает небольшой иммунный дефицит. Учитывая все это, весной 1982 г. я предположил, что причиной AIDS является новый ретровирус человека.

ЧТОБЫ РАЗВИТЬ и проверить гипотезу, я собрал немногочисленную исследовательскую группу, объединив ученых различных специальностей, каждый из которых должен был решать свою задачу. Вместе с клиницистами, эпидемиологами, иммунологами и молекулярными биологами работали специалисты по ретровирусам животных. Один из этих вирусологов — М. Эссекс из Медицинской школы Гарвардского университета — ранее опубликовал результаты, которые свидетельствовали в пользу пред-

положения о ретровирусной природе возбудителя AIDS. Эссекс обнаружил, что ретровирус, называемый вирусом кошачьего лейкоза (FeLV, от англ. feline leukemia virus), у зараженных кошек может вызывать либо лейкоз, либо иммунный дефицит. Как было показано позднее, путь развития инфекции — раковое заболевание или подавление иммунитета — зави-

сит от особенностей внешней оболочки вируса, которая может несколько варьировать.

В совокупности имевшиеся данные позволяли предположить, что возбудителем AIDS является разновидность HTLV-I или же близко родственного ему HTLV-II, выделенного в 1982 г. В конце 1982 г. группа Эссекса и моя начали поиски такого вируса.



ГЛИКОПРОТЕИН ОБОЛОЧКИ играет важную роль как в проникновении HTLV-III в клетку-хозяина, так и в ее гибели. В молекуле белка есть участки, одинаковые у разных штаммов вируса (цветные темные), сильно варьирующие (цветные светлые) и промежуточные (серые). По-видимому, проникновение вируса в клетку зависит от взаимодействия между одной или несколькими константными областями гликопротеина и молекулами клеточной мембраны. Белки оболочки участвуют также в процессе выхода новых вирусных частиц из клетки, в результате которого нарушается целостность клеточной поверхности. Здесь изображена одна из моделей структуры вирусного гликопротеина, разработанная Г. Вольфом и его коллегами из Института Макса фон Петтенкоффера в Мюнхене в сотрудничестве с группой автора статьи.

Через некоторое время этим занялась еще одна группа, возглавляемая Л. Монтанье из Института Пастера в Париже, который тоже заинтересовался ретровирусной гипотезой. Все три группы использовали методы, разработанные моими коллегами и мною применительно к HTLV-I: вирус культивировали в Т-клетках, стимулированных фактором роста, называемым интерлейкином-2 (IL-2), а присутствие вируса определялось по активности вирусной обратной транскриптазы.

Вскоре эта работа дала первые результаты. В 1982 — 1983 гг. мои коллеги и я получили предварительные доказательства того, что в тканях людей, страдающих выраженным AIDS или находящихся в предвещающем заболевании состоянии, содержится ретровирус, отличный от HTLV-I и HTLV-II. В мае 1983 г. Монтанье и его коллеги Ф. Барре-Синусси и Ж.-К. Шерманн опубликовали первое сообщение о новом ретровирусе, полученном из тканей больного лимфоаденопатией, которая типична для некоторых состояний, предвещающих AIDS. Позднее французские исследователи назвали открытый ими инфекционный агент вирусом лимфоаденопатии (LAV, от англ. lymphadenopathy-associated virus).

Первое сообщение о LAV было весьма интригующим, однако до окончательной идентификации возбудителя AIDS было еще далеко. Дело в том, что методы, которыми пользовались в то время исследователи (определение активности обратной транскриптазы и электронная микроскопия), хотя и надежно выявляли присутствие ретровируса в образце ткани, не позволяли однозначно его идентифицировать. Это возможно лишь тогда, когда имеются реагенты (например, антитела), взаимодействующие с белками только одного определенного вируса. Чтобы получить такие реагенты, требуется большое количество очищенного вирусного белка, для чего в свою очередь нужно много вирусных частиц, т. е. необходимо как-то накапливать вирус.

К сожалению, первые попытки размножить обнаруженный вирус (или вирусы) в культуре были неудачными: зараженные Т-клетки погибали. Поэтому и не удавалось получить специфические реагенты к новому вирусу. Ранее мы научились культивировать HTLV-I и HTLV-II, так что специфические реагенты на эти вирусы уже имелись. С их помощью удалось показать, что вирус, поражающий больных AIDS, не идентичен ни HTLV-I, ни HTLV-II. Однако вплоть до конца 1983 г. идентифицировать

вирус AIDS не было возможности из-за отсутствия специфических для него реагентов. Более того, нельзя было даже сравнивать разные препараты вируса, а это необходимо для доказательства того, что AIDS вызывается единственным возбудителем, иными словами, имеет одну причину.

Выход из создавшегося положения могло бы обеспечить только создание метода накопления вируса. В конце 1983 г. мой сотрудник М. Попович нашел несколько линий клеток, сохраняющих жизнеспособность после заражения вирусом AIDS. Получены эти клетки были так. Клетки крови больного лейкозом разделили и вырастили из них отдельные клоны (группы генетически идентичных клеток, являющихся потомками одной клетки). Обследовав множество клонов, у некоторых из них Попович обнаружил нужную комбинацию свойств. Наиболее продуктивным оказался клон, обозначенный H9. Все устойчивые линии были получены из лейкозных Т4-лимфоцитов, которые живут в культуре сколь угодно долго и потому могут служить неисчерпаемым источником вируса.

Важный вопрос о том, почему некоторые линии Т4-лимфоцитов обладают устойчивостью к цитопатическому воздействию вируса, не решен до сих пор. Зимой 1983/84 г. мои коллеги и я им не занимались, так как все усилия были сосредоточены на культивировании вируса. К декабрю удалось выделить уже осязаемое его количество, и вскоре мы приступили к получению специфических реагентов. Располагая ими, мы могли возвратиться назад и сравнить между собой хранившиеся у нас препараты выделенного вируса. Первоначальная проверка показала, что 48 препаратов вируса из крови людей, больных AIDS или относящихся к какой-либо из групп риска, принадлежали к одному и тому же типу. И наоборот, идентифицированный таким образом вирус не был обнаружен ни у кого из контрольной группы, состоявшей из 124 здоровых людей, ведущих гетеросексуальную половую жизнь.

Достигнутое продолжительное воспроизведение вируса в культуре лейкозных Т-клеток уже могло обеспечить достаточное количество вирусных белков для массовой проверки крови. В настоящее время существует несколько методов определения вируса AIDS в крови; все они основаны на реакции между вирусными белками и антителами, содержащимися в крови зараженного человека. Первое такое обследование провел мой сотрудник М. Сарнгадхаран. Проверявшиеся образцы сыворотки крови были обозна-

чены только кодовыми номерами. Так — «вслепую» — Сарнгадхаран обнаружил вирус у 88-100% больных AIDS и у большой, но значительно варьирующей доли людей из групп повышенного риска. В то же время почти ни у кого из здоровых индивидумов, не входящих ни в одну группу риска, вирус не был выявлен.

Итак, причина возникновения AIDS была, наконец, установлена. Мои коллеги и я сообщили об этих результатах в серии статей, опубликованных в мае 1984 г. Открытый нами ретровирус имел сродство к Т4-лимфоцитам и убивал эти клетки. В соответствии с общепринятой номенклатурой вирусов он получил общее родовое название HTLV-III, а различные штаммы были обозначены инициалами больных, из тканей которых они получены. Позднее было показано, что LAV является отдельным штаммом того же самого вируса. Однако позднее в связи с неудобствами и путаницей, порожденными употреблением нескольких названий одного и того же биологического объекта, было решено назвать вирус AIDS HIV.

Открытие причины AIDS было фундаментальным шагом. С точки зрения здравоохранения, пожалуй, не менее важно, что культивирование вируса давало основу для практической проверки крови. Линия клеток H9, зараженных вирусом AIDS, была передана нескольким биотехнологическим компаниям, которые использовали ее как источник вирусных белков для массовых обследований. Первые коммерческие наборы для определения вируса появились в продаже в 1985 г.; они фактически устранили риск заражения AIDS при переливании крови.

Хотя причина AIDS установлена всего три года назад, удалось узнать уже довольно много о том, каким образом заражение вирусом приводит к развитию заболевания. Когда вирус попадает в организм человека, его иммунная система отвечает образованием антител. Однако для прекращения инфекции этого явно недостаточно, и вирусные частицы сохраняются. Далее чаще всего начинается аномальное размножение лимфоцитов в лимфатических узлах, и через какое-то время структура лимфатических узлов патологически изменяется, после чего число лимфоцитов в них падает. Вскоре уменьшается число лимфоцитов в крови, и больной становится беззащитным перед случайными инфекциями (см. статью: Дж. Лоренс. Иммунная система при синдроме приобретенного иммунного дефицита, «В мире науки», 1986, № 2).

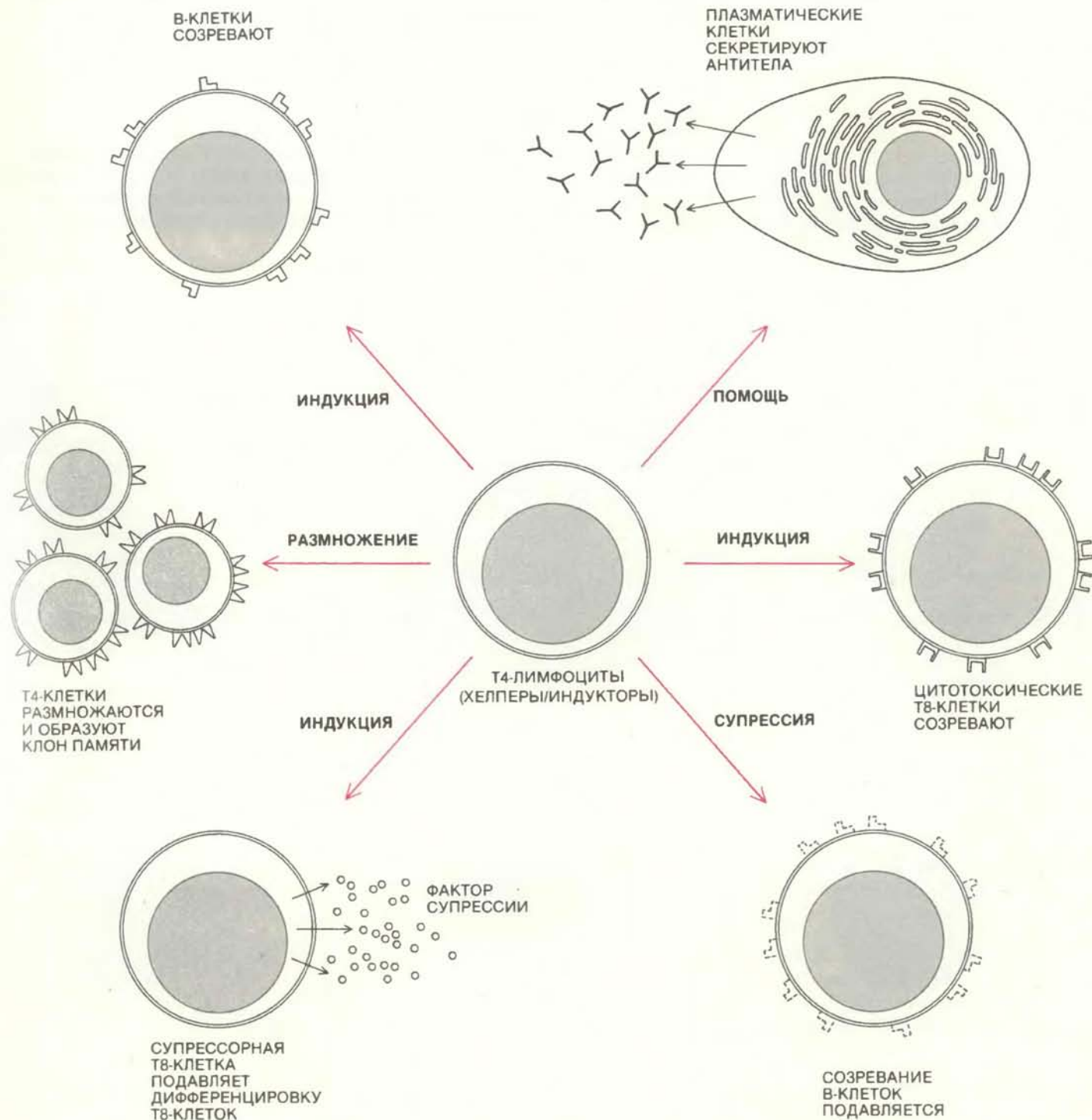
Какие же события на клеточном

уровне приводят к столь тяжелой клинической картине? По-видимому, инфекция может быть вызвана как свободными вирусными частицами, так и вирусом, находящимся в зараженных клетках. Как только вирус оказывается внутри организма, его мишенью становятся клетки, несущие на своей внешней мембране специфические молекулы, обозначаемые T4.

Они характерны для T4-лимфоцитов, но имеются и на некоторых других клетках, а именно на моноцитах и макрофагах. Вероятно, эти клетки тоже поражаются в числе первых.

Моноциты и макрофаги происходят от тех же клеток-предшественников костного мозга, что и лимфоциты, но в иммунном ответе они играют другую роль. Среди функций, вы-

полняемых макрофагами, — взаимодействие с T4-лимфоцитами, стимулирующее последние и дающее им сигнал к выполнению их задач. Некоторые из этих взаимодействий происходят в лимфатических узлах. Наблюдения П. Биберфельда из Королевского института в Стокгольме и К. Барони из Римского университета позволяют полагать, что многие



T4-ЛИМФОЦИТЫ играют очень важную роль в иммунном ответе. Эти клетки выделяют вещества, ускоряющие созревание других основных клеток иммунной системы — В-лимфоцитов. В результате дифференцировки В-клетки превращаются в плазматические клетки, продуцирующие антитела; T4-клетки стимулируют этот процесс. Иные сигналы от T4-лимфоцитов инициируют созревание T8-лимфоцитов, которые атакуют и убивают зараженные патоген-

ном клетки. Когда инфекция уже прекращена, T4-клетки участвуют в супрессии (подавлении) дальнейшего образования зрелых В- и T8-клеток. T4-лимфоциты обеспечивают также гарантию от повторной инфекции: T4-клетка, специфичная к данному антигену, дает начало клону клеток «памяти», которые циркулируют в крови, готовые в любой момент узнать «свой» патоген и привести в действие процессы иммунного ответа.

T4-лимфоциты заражаются вирусом AIDS именно в лимфоузлах при контакте с макрофагами. Через какое-то время (длительность латентного периода сильно варьирует) лимфоцит может погибнуть из-за размножения вируса.

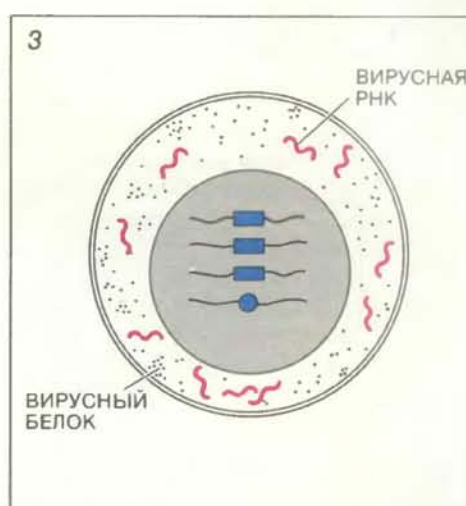
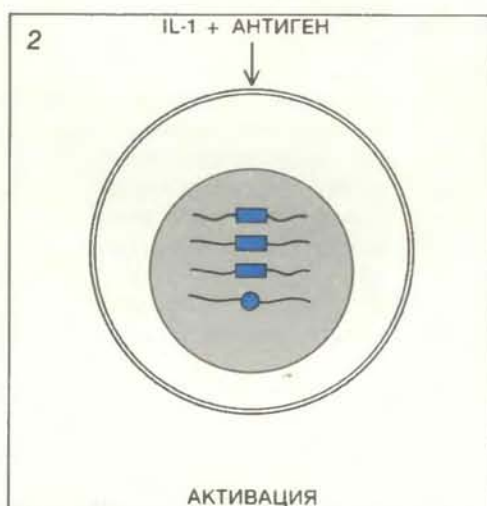
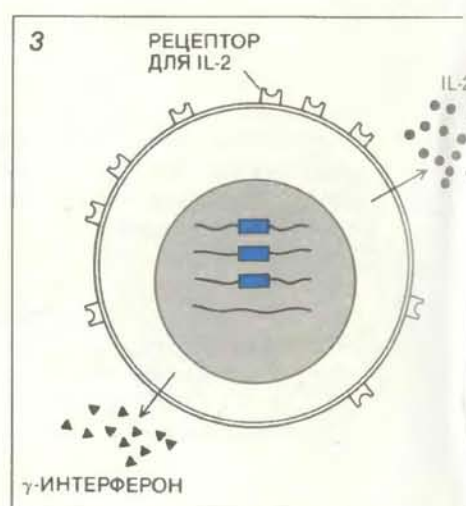
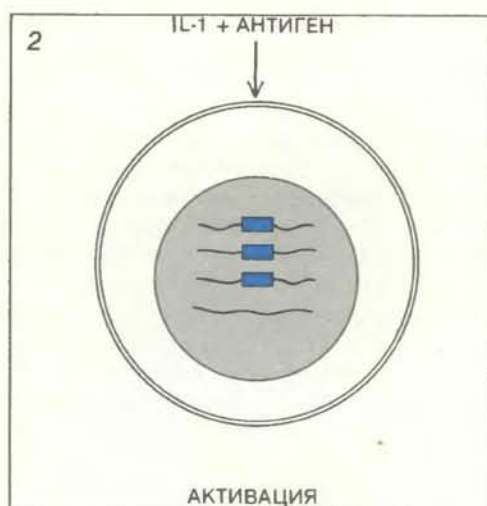
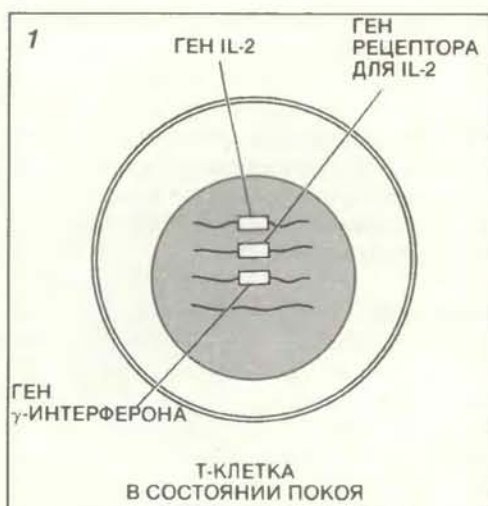
Ясно, что популяция T4-лимфоцитов сокращается вследствие гибели зараженных клеток. Ситуация осложняется еще и тем, что гибель лимфоцитов нивелирует их размножение, которое в норме сопровождается выполнением их функций. При взаимодействии с макрофагом T4-лимфоцит не только получает сигнал, побуждающий его к ответу на определенный белок, но и активируется. Факторы роста, выделяемые макрофагом, заставляют лимфоцит делиться, так что в итоге образуется клон приблизительно

но из 1000 клеток-потомков, «запрограммированных» для ответа на один и тот же антиген (белок). Эти клетки циркулируют в крови и, встречаясь с антигеном, на который они «запрограммированы», вызывают созревание других клеток — В-лимфоцитов и цитотоксических T8-клеток, которые непосредственно атакуют антиген. Такой клон «памяти» частично обеспечивает длительный иммунитет.

Однако, как показали мы в сотрудничестве с Д. Загури из Парижского университета, если активируются T4-лимфоциты, зараженные вирусом AIDS, результат оказывается совсем другим. Клон, которому дает начало зараженный T4-лимфоцит, состоит не из 1000, а едва ли из 10 клеток. А когда эти лимфоциты-потомки попадают в кровотоки и подвергаются стимуляции

антигеном, в них начинается размножение вируса, после чего клетки гибнут. Я полагаю, что непосредственная гибель зараженных T-лимфоцитов и неполноценное развитие клонов «памяти» обуславливают глубокое истощение популяции T4-лимфоцитов, наблюдаемое при AIDS (на этот счет высказывались и другие мнения).

ЧТО ЛЕЖИТ в основе этих клеточных процессов на молекулярном уровне? Одним из важнейших действующих лиц при развитии инфекции HTLV-III являются молекулы T4. Действительно, взаимодействуя с внешней оболочкой вируса, T4-рецептор может обеспечивать его проникновение в клетку. Оболочка вируса представляет собой двуслойную липидную мембрану, усеянную молеку-



ОСЛАБЛЕНИЕ ИММУНОЛОГИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ — результат инфекции HTLV-III. Вверху изображено образование нормального клона T4-лимфоцитов «памяти». До инфекции T-клетки находятся в состоянии покоя (1). Когда в организме появляется патоген, клетка, называемая макрофагом, встретив антиген, выделяет белок интерлейкин-1 (IL-1) и поглощает антиген. Антиген перерабатывается и в измененном виде появляется на поверхности макрофага, где с ним взаимодействует T4-лимфоцит. В результате T-клетка

активируется: в ней начинает функционировать ряд генов, в том числе ген фактора роста IL-2 и его рецептора (2). Активированная T-клетка выделяет IL-2, и на ее поверхности появляются рецепторы для этого белка (3). Связывание IL-2 с рецептором инициирует деление клетки (4), и в итоге образуется клон «памяти» из примерно 1000 клеток, каждая из которых нацелена на взаимодействие с данным антигеном (5). Внизу показано, что происходит, когда активируется клетка, зараженная HTLV-III. В составе хромосом-

лами гликопротеинов (белков, ковалентно связанных с углеводными молекулами). Каждая из них имеет две субъединицы, обозначаемые *gp41* и *gp120*. При контакте HTLV-III с Т-лимфоцитом *gp120*, по-видимому, реагирует с молекулой Т4 на поверхности клетки. В этом месте во внешней клеточной мембране может появиться ямка, которая затем углубляется, и участок мембраны, связавший вирусную частицу, образует замкнутую везикулу (пузырек), которая отпочковывается внутрь клетки, доставляя тем самым туда вирус. (Этот процесс — опосредуемый рецепторами эндоцитоз — в норме обеспечивает проникновение в клетку различных крупных молекул и частиц, необходимых для ее жизнедеятельности.)

Участие Т4-рецептора в процессе

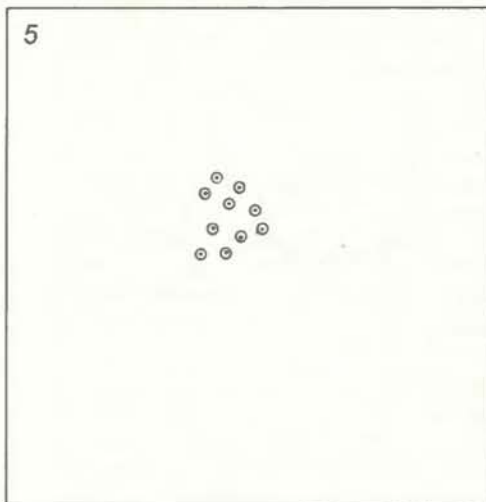
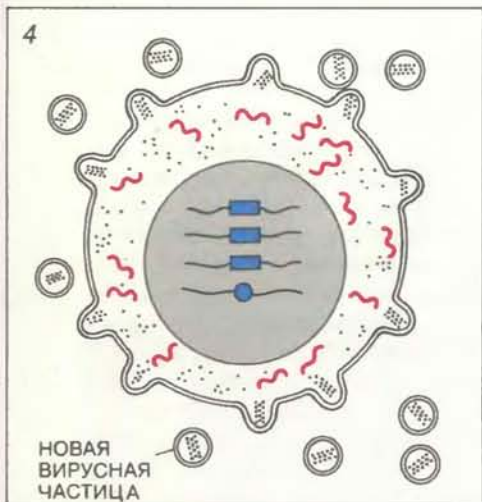
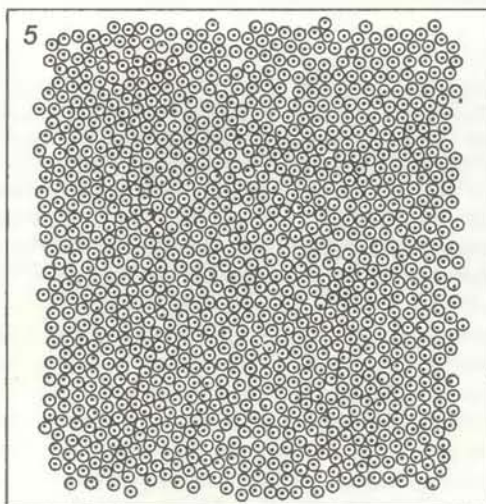
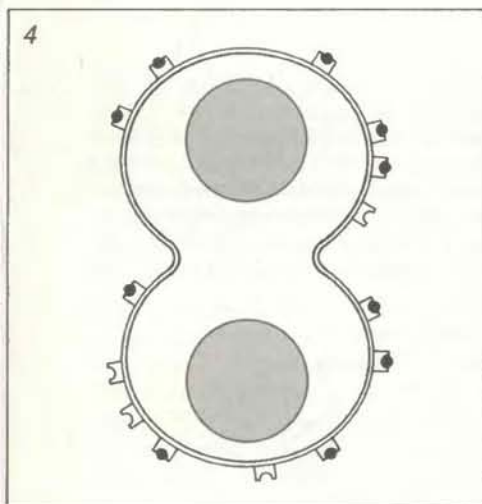
инфекции сейчас уже не вызывает сомнения; доказано оно было в нескольких этапах. Во-первых, имелись клинические наблюдения, свидетельствовавшие, что зараженными клетками являются Т4-лимфоциты. Затем Р. Вейсс из Лаборатории Честера Битти в Лондоне, А. Далглиш из Медицинского колледжа Лондонского университета и Д. Клацман из Больницы Сальпетриер установили, что антитела к молекулам Т4, экранирующие часть их структуры, блокируют инфекцию HTLV-III. Затем я и мои коллеги обнаружили зараженные вирусом моноциты и макрофаги, несущие Т4-рецепторы. Наиболее содержательные результаты получили Вейсс и Р. Аксель из Колледжа терапии и хирургии Колумбийского университета. Они ввели ген Т4-рецепто-

ра в клетки, которые обычно его не имеют и не поражаются HTLV-III, и показали, что экспрессии гена, обеспечивающего синтез этого маркерного белка и включение его в клеточную мембрану, достаточно для заражения вирусом любой клетки человека.

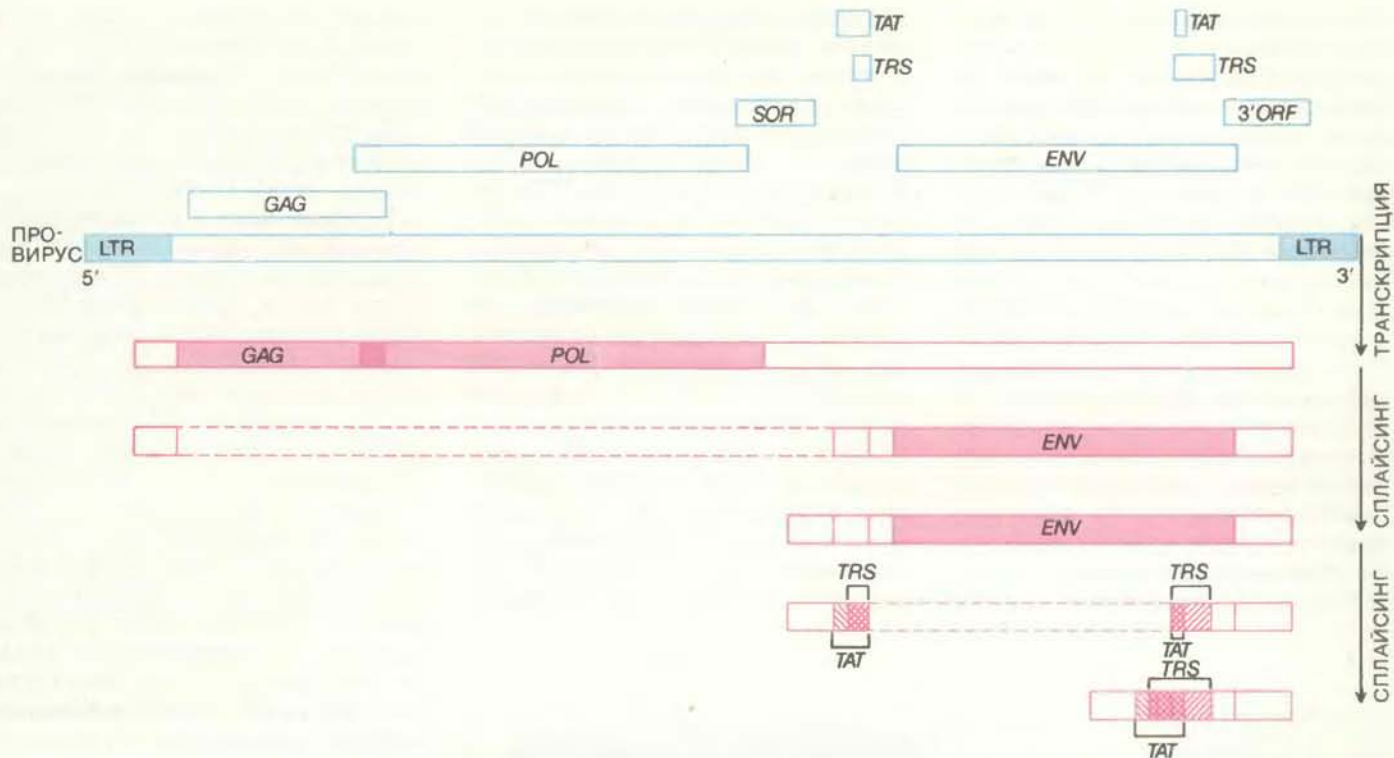
Сходный, хотя и не столь внушительный, ряд данных свидетельствует об участии молекул Т4 в процессе гибели клеток. В этом случае первые указания также были получены в клинических наблюдениях: было замечено, что при заражении HTLV-III истощается популяция Т4-лимфоцитов. Однако в отличие от самого процесса заражения одного присутствия Т4-рецептора не достаточно для гибели клетки. Хотя моноциты и макрофаги могут быть заражены HTLV-III, они погибают не так легко, как лимфоциты. Причина этого различия, возможно, заключается в том, что на их поверхности меньше Т4-рецепторов. Вероятно, такого небольшого количества молекул рецептора достаточно для проникновения вируса, но не достаточно для проявления цитопатического эффекта. Как предполагает У. Хазелтайн из Института рака Дана — Фарбера, скорость гибели зараженных клеток пропорциональна концентрации Т4-рецепторов на их поверхности.

Почему гибель клеток зависит от молекул, характерных для Т4-лимфоцитов, неизвестно, но некоторые наблюдения дают возможность сформулировать следующую гипотезу. Для гибели клетки имеет значение не только Т4-рецептор, но и оболочка вируса. Мои коллеги Ф. Вонг-Стааль и А. Фишер показали, что мутантный вирус, у которого отсутствует фрагмент внутренней части *gp41*, вызывает значительно меньший цитопатический эффект. Значит, так же, как и проникновение вируса в клетку, ее последующая гибель, вероятно, зависит от взаимодействия между вирусной оболочкой и клеточной мембраной. Такое взаимодействие имеет место при выходе новых вирусных частиц из клетки; возможно, что при этом в мембране образуются «дырки». Поскольку вирусные частицы отпочковываются от клетки в большом количестве, клетка не успевает восстанавливать целостность мембраны, ее содержимое вытекает наружу и клетка гибнет.

ной ДНК такой клетки находится провирус — ДНК-копия вирусной РНК (1). При взаимодействии с макрофагом (2) провирус активируется вместе с генами клетки. Синтезируются вирусная РНК и вирусные белки (3), из которых путем самосборки формируются новые вирусные частицы. Когда они во множестве покидают клетку, та нередко погибает (4). Вследствие гибели Т-клеток клон «памяти» очень мал, он может состоять всего лишь из 10 клеток (5). Эта схема объясняет потерю Т-клеточного иммунитета у людей, зараженных HTLV-III.

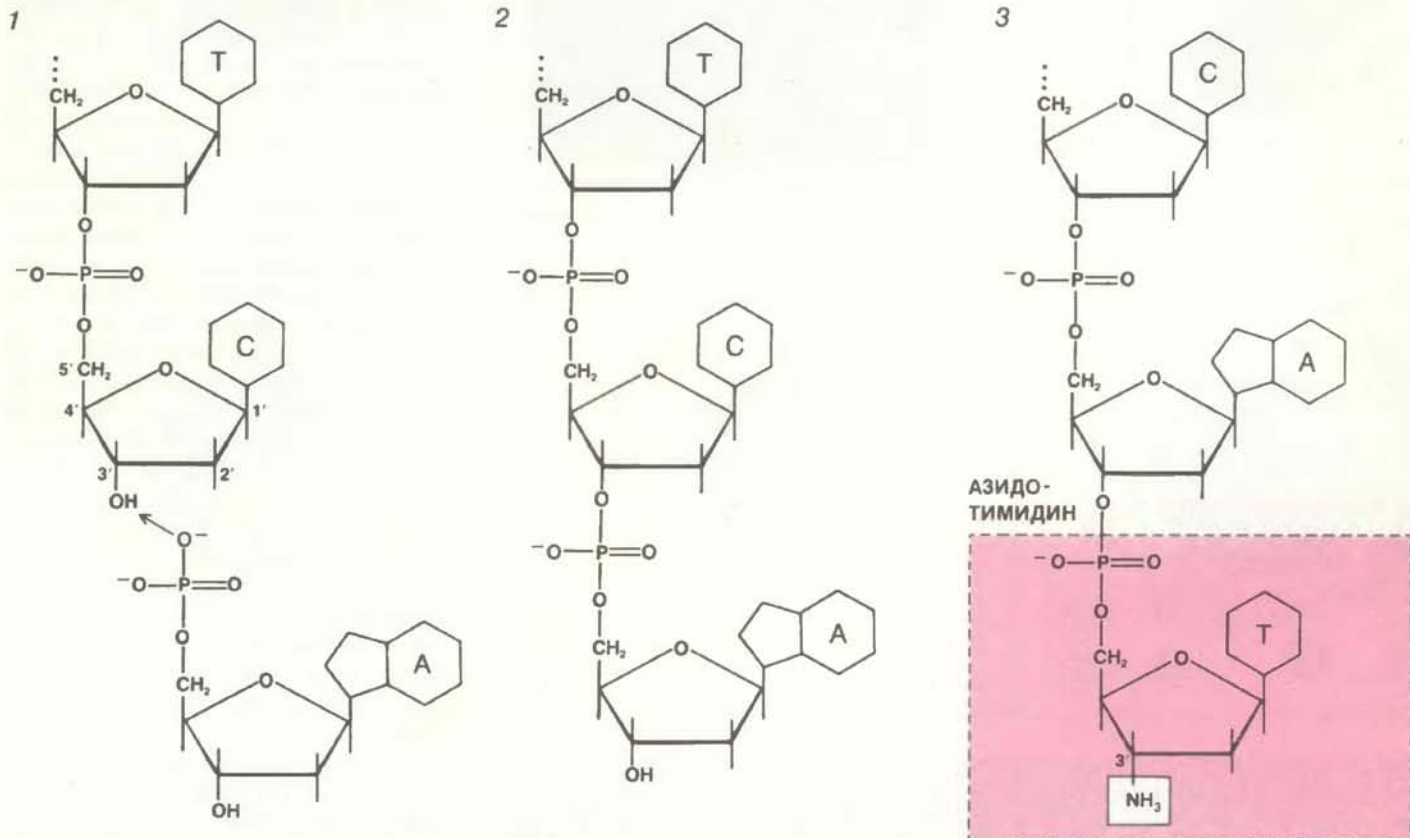


Если эта гипотеза (на сегодняшний день всего лишь гипотеза) правильна, в центре внимания оказывается вопрос: каким образом скорость репликации вируса возрастает от нуля до уровня, приводящего к гибели клетки-хозяина? В свою очередь этот вопрос фокусирует внимание на геноме виру-



ГЕНОМ HTLV-III, т. е. полный комплект его генетической информации, сложнее, чем у любого другого известного ретровируса. На концах провируса (голубой) расположены последовательности ДНК, называемые длинными концевыми повторами (LTR), которые выполняют регуляторные функции. Между ними имеется по крайней мере семь генов. Три из них кодируют компоненты вируса: *gag* — белки сердцевины, *pol* — обратную транскриптазу, *env* — белки оболочки. Четыре необычных гена — *tat*, *trs*, *sor* и *3' orf* —

кодируют белки, участвующие в регуляции экспрессии вирусных генов. РНК (красная), образующаяся при транскрипции провируса, подвергается сплайсингу, в результате чего получается ряд матричных РНК (мРНК) для синтеза вирусных белков. Белки сердцевины и обратная транскриптаза синтезируются с мРНК, соответствующей полностью вирусному геному. Один акт сплайсинга дает мРНК, кодирующую белки оболочки, а другой — короткую мРНК для синтеза белков *tat* и *trs*.



АЗИДОТИМИДИН — первый препарат, принеший успех в лечении AIDS. Это вещество останавливает синтез вирусной ДНК. ДНК состоит из мономеров, называемых нуклеотидами; каждый из них содержит пятиуглеродный остаток сахара. Обычно при 3'-углеродном атоме сахара имеется

ОН-группа (1); при синтезе ДНК к ней и присоединяется следующий нуклеотид (2). Азидотимидин — это аналог обычного нуклеотида, и он включается в синтезируемую ДНК (3). Но в азидотимидине нет 3'-ОН, удлинение нуклеотидной цепи обрывается и образуется неактивный провирус.

са (полном комплекте генетической информации, содержащейся в вирусной частице). Вирусный геном в форме ДНК, синтезированной по проникшей в клетку вирусной РНК и включившейся в состав хромосомной ДНК, называется провирусом. В провирус входят гены компонентов вирусной частицы; для репликации вируса эти гены должны экспрессироваться. Как же регулируется их экспрессия? Этот вопрос сейчас интенсивно изучается; ответ на него может дать исследование группы регуляторных генов, из-за наличия которых геном HTLV-III гораздо сложнее генома любого из известных ретровирусов. У многих из них имеется только три основных гена, кодирующих компоненты вирусной частицы: *env* (кодирует белки оболочки), *gag* (кодирует белки сердцевинки) и *pol* (обратная транскриптаза). Эти три гена фланкированы участками ДНК, называемыми длинными концевыми повторами или LTR (от англ. long terminal redundancies). В LTR входят последовательности ДНК, участвующие в регуляции экспрессии вирусных генов.

Геном же HTLV-III содержит еще по меньшей мере четыре других гена, называемых *tat*, *trs*, *sor* и *3'orf*. Эти гены кодируют не компоненты вируса, а небольшие белки, которые участвуют в регуляции экспрессии генов. Ген *tat* (открыт Хазелтайном и его коллегой Дж. Содроски, а независимо от них — Вонг-Стааль и С. Ария в моей лаборатории) имеет двойную функцию. Как и аналогичные последовательности у HTLV-I и HTLV-II, ген *tat* у HTLV-III, по-видимому, регулирует транскрипцию вирусных генов — образование матричной РНК. Кроме того, белок — продукт гена *tat* влияет на события, происходящие после транскрипции, возможно, на трансляцию мРНК, т. е. синтез вирусных белков. Ген *trs* (открыт Хазелтайном), скорее всего, контролирует равновесие между различными мРНК при их синтезе. Функции генов *sor* и *3'orf* еще не известны.

В этой сложной системе многое неясно, и пока рано говорить уверенно о том, как она работает. Однако выдвинуть гипотезу вполне можно. В качестве предпосылки имеет смысл взять тот факт, что вирус не реплицируется до тех пор, пока не произойдет иммунологическая активация Т-клетки. LTR вируса AIDS похожи на некоторые последовательности ДНК в клеточных генах, начинающие функционировать во время такой активации. Я думаю, что химические сигналы, активирующие Т-лимфоциты, одновременно действуют и на вирусные LTR. Каким-то образом небольшие



АФРИКАНСКАЯ ЗЕЛЕНАЯ МАРТЫШКА *Cercopithecus aethiops*, возможно, являлась источником предшественника вируса AIDS — обезьяньего Т-лимфотропного вируса III (STLV-III). Обычно STLV-III не вызывает заболевания у своего хозяина, но, может быть, он как-то попал в организм человека и, претерпев ряд генетических изменений, дал начало HTLV-III. Обезьяний вирус был выделен в 1985 г. М. Эссексом и Ф. Канки. (Фотография сделана Канки.)

регуляторные белки взаимодействуют с провирусом, и в результате быстро повышается скорость синтеза вирусных компонентов. Из этих компонентов путем самосборки формируются вирусные частицы. Их множество, и они отпочковываются от клетки так бурно, что это может убить ее.

Вот кратко и все, что известно о механизме ослабления иммунной системы под влиянием HTLV-III. И хотя вирус в основном изучался именно в этом аспекте, сейчас становится ясно, что иммунный дефицит — всего лишь одно из последствий заражения возбудителем AIDS. Другим важным проявлением заболевания, вызываемого HTLV-III, является патология центральной нервной системы. В 1984 г. мои коллеги Дж. Шоу, Б. Хан, Вонг-Стааль и я впервые обнаружили HTLV-III в тканях головного и спинного мозга больных AIDS. Выявленные нами зараженные клетки по некоторым свойствам похожи на моноциты и макрофаги. Последние, по-видимому, способны проникать через гематоэнцефалический барьер, который отделяет центральную нервную систему от кровотока. Возможно, макрофаги приобретают вирус в крови и оттуда переносят его в мозг.

В головном и спинном мозгу вирус оказывает, по-видимому, непосредственное патогенное воздействие, не зависящее от иммунного дефицита. В головном мозгу наблюдаются аномальное размножение глиальных кле-

ток, окружающих нейроны, и поражения, возникающие из-за потерь белого вещества. Непонятно, каким образом вирус вызывает такие анатомические изменения. Неясно также, как довольно ограниченные структурные нарушения, вызванные вирусом, приводят к очень разнообразным симптомам, включая слабоумие и состояния, напоминающие другие неврологические заболевания, наподобие рассеянного склероза.

В ТО ВРЕМЯ как неврологическое воздействие HTLV-III, по всей видимости, не зависит от иммунного дефицита, третья группа вызываемых им патологических состояний — раковые заболевания — более тесно связана с поражением иммунной системы. Для людей, зараженных вирусом, повышен риск развития рака по меньшей мере трех типов: саркомы Капоши, карциномы (включая рак кожи, часто наблюдающийся в ротовой полости и прямой кишке у зараженных гомосексуалистов) и В-клеточной лимфомы (которая возникает из-за злокачественного перерождения В-лимфоцитов).

В некоторых случаях злокачественный рост, похоже, не зависит от иммунного дефицита; это следует из того факта, что для гомосексуалистов вероятность заболеть саркомой Капоши больше, даже если они не заражены вирусом AIDS. Возможно, в таких случаях развитие рака вызывают

иные, чем HTLV-III, патогенные агенты, передающиеся половым путем. И все же заражение HTLV-III сильно увеличивает риск возникновения саркомы Капоши. Разумно думать, что подавление иммунного ответа дает возможность каким-то вторичным канцерогенным агентам проникать в организм и свободно размножаться. Что они собой представляют, неизвестно, но на этот счет есть некоторые предположения. Такую роль мог бы сыграть, например, В-лимфотропный вирус человека (HBLV, от англ. human B-lymphotropic virus); этот ДНК-содержащий вирус из группы герпесвирусов выделен недавно моими коллегами З. Салахудином, Д. Аблаши, Биберфельдом и мной.

ЛАВИНА РАЗЛИЧНЫХ патологических состояний, вызванных HTLV-III, выглядит устрашающе, но то, что сейчас известно об этом вирусе, уже можно использовать для лечения и предупреждения заболевания. Наиболее обнадеживающие из разрабатываемых ныне методов лечения основаны на подавлении обратной транскриптазы, которая синтезирует вирусную ДНК, внедряющуюся затем в клеточный геном в виде провируса. Препараты такого рода являются аналогами нуклеотидов, входящих в состав ДНК. Если в зараженную клетку попадет такое вещество, оно включится в синтезируемую вирусной обратной транскриптазой ДНК, но, поскольку к нему не может присоединиться следующий нуклеотид, удлинение цепи ДНК останавливается. Укороченная вирусная ДНК не способна встроиться в хромосомную ДНК или стать основой для репликации вируса, и, таким образом, распространение инфекции прекращается.

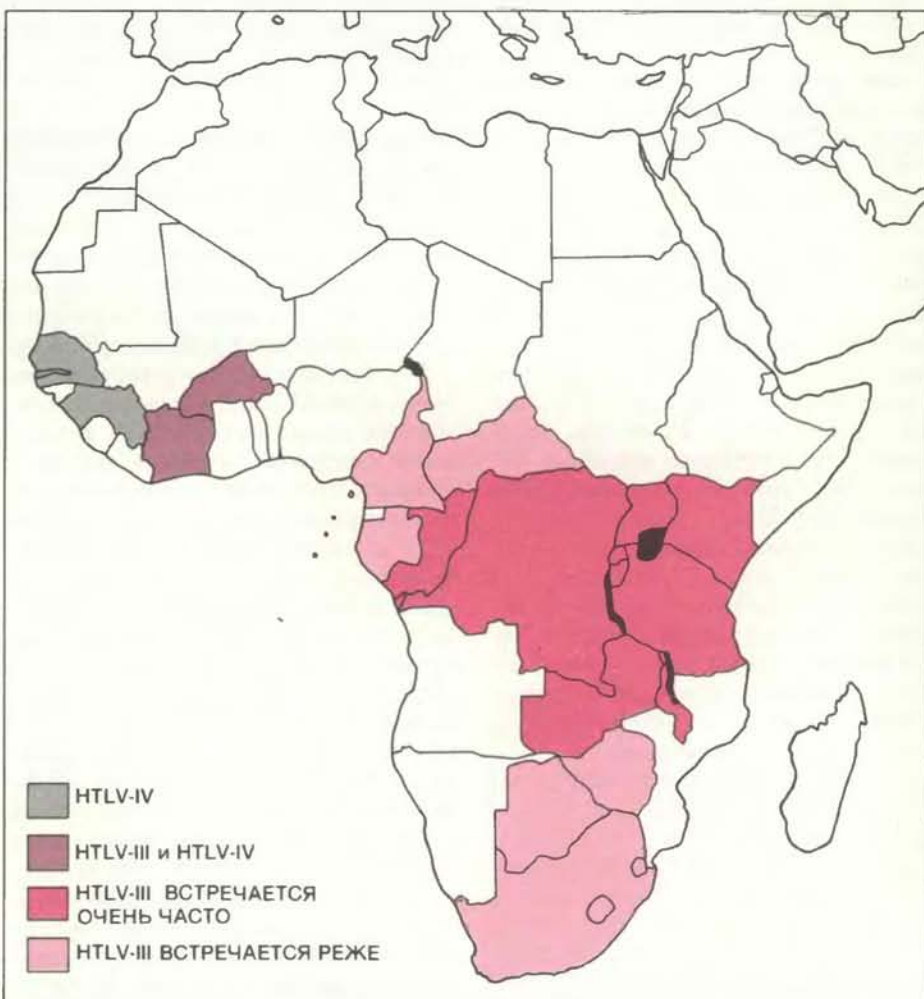
Проверка одного из аналогов нуклеотидов — азидотимидина — показала, что таким путем действительно можно снизить смертность среди людей, уже заболевших AIDS или страдающих от предшествующих ему состояний, а также облегчить течение болезни. Азидотимидин был предложен 20 лет назад как противораковый препарат. Хотя в этой роли он себя не оправдал, в 1984 г. его стали применять вновь — уже для лечения AIDS. После предварительных исследований взаимодействия азидотимидина с вирусной обратной транскриптазой его использовали в первых клинических испытаниях, осуществленных С. Бродером и Р. Ярканом из Национального института рака. Проверка этого препарата велась во многих учреждениях, и результаты оказались столь успешными, что испытания

остановлены, чтобы начать широкое распространение лекарства. Правда, до сих пор не ясно, какова токсичность азидотимидина при длительном употреблении.

ПОЖАЛУЙ, самая важная из ведущихся сейчас работ по борьбе с AIDS — это создание вакцины. Для того чтобы вакцина была эффективной, она — при условии, конечно, полной безопасности применения — должна вызывать иммунный ответ двух разных типов. Во-первых, необходима стимуляция В-клеток, в результате чего должны синтезироваться нейтрализующие антитела, которые свяжутся с оболочкой вируса и предотвратят его проникновение в клетки. Во-вторых, система клеточного иммунитета, основным звеном которой являются Т-лимфоциты, должна обрести способность атаковать и разрушать клетки, уже зараженные вирусом. Хотя, как я уже отмечал, у людей, зараженных HTLV-III, и образуются антитела к

вирусу, количество эффективных нейтрализующих антител удручающе мало. Кроме того, клеточный иммунитет подорван из-за гибели Т4-лимфоцитов. Эффективная вакцина должна значительно усилить оба этих ответа.

Решение этой задачи осложняется помимо всего прочего из-за высокой генетической вариабельности вируса AIDS. В отличие от многих других вирусов, представленных всего несколькими штаммами, HTLV-III существует в очень большом числе различных вариантов, образующих едва ли не непрерывное множество родственных штаммов. Некоторые штаммы отличаются друг от друга всего лишь на 80 из 9500 нуклеотидов, составляющих вирусный геном, некоторые — более чем на 1000 нуклеотидов. Так как в последовательности нуклеотидов вирусной РНК закодирована последовательность аминокислот вирусных белков, такие различия отражаются в их структуре. В свою очередь, различия в структуре белков оборачивают-



ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ показали, что HTLV-III и родственные ему ретровирусы первоначально распространились в Африке. На карте представлены результаты массовой проверки крови, проведенной в 1985 г. и начале 1986 г. HTLV-IV — это непатогенный вирус человека, близкородственный STLV-III; он один из представителей группы вирусов, которые, возможно, являются промежуточными формами между STLV-III и HTLV-III. Вирус AIDS, прежде встречавшийся в основном в Центральной Африке, появился теперь во всей остальной Африке, Европе и обеих Америках.

ся вариациями биологической активности вируса. Например одни штаммы HTLV-III поражают преимущественно Т4-лимфоциты, а другие — макрофаги.

У. Паркс из Университета Майами (в сотрудничестве с моими сотрудниками Шоу и Хан) показал, что в организме одного и того же человека, зараженного HTLV-III, может существовать сразу несколько штаммов вируса, причем очень сходных между собой по генетическим особенностям. Поскольку все сосуществующие штаммы близкородственны, можно предположить, что их присутствие, наподобие вакцины, каким-то образом предохраняет зараженного от повторной инфекции более отдаленными штаммами. Это позволяет надеяться, что синтетическая вакцина могла бы действовать так же. Однако ни одна из искусственно изготовленных вакцин не обеспечивает защиту от всего разнообразия природных штаммов. Ряд исследовательских групп, в том числе моя, разрабатывают несколько различных подходов к созданию вакцины, и некоторые из полученных препаратов приводят к образованию нейтрализующих антител. Однако все эти вакцины остаются типоспецифическими, т. е. эффективны против далеко не всех вариантов HTLV-III.

Достигнутый всего за 3 года прогресс в изучении AIDS — установление причины заболевания, создание метода проверки на зараженность, первые успехи в лечении, разработка вакцин — особенно поразителен потому, что AIDS — это вирусное заболевание, которые, как правило, вообще плохо поддаются лечению. Но даже если вакцины и лечебные средства войдут в употребление так быстро, как только возможно, все же ущерб от AIDS будет очень велик, поскольку у многих из миллионов уже зараженных людей заболевание начнется раньше, чем станет возможно его излечить.

Не исключено, что среди зараженных людей доля тех, которые непременно заболеют, значительно больше, чем до сих пор полагали. Для того чтобы со всей полнотой рассмотреть инфекцию HTLV-III, М. Каплан из университетской больницы Норт-Шор на Лонг-Айленде, а также Р. Редфилд из Армейского научно-исследовательского института Уолтера Рида разработали определение клинических картин, отличных от классического AIDS. Редфилд предложил систему классификации, включающую шесть стадий заболевания, начиная от положительной реакции при проверке крови на зараженность и кончая полностью выраженным

AIDS. Недавно он применил свою систему в процессе наблюдения за группой больных, которое велось в течение 36 месяцев, и обнаружил, что приблизительно у 90% из них за это время наступила следующая стадия болезни. Его результаты позволяют полагать, что в противоположность установившемуся мнению число зараженных людей, у которых симптомы болезни не проявляются, может быть совсем невелико.

Пока трудно предсказать итоговый ущерб от распространения AIDS. Каков бы он ни был, ясно, что основная тяжесть падет на Африку. Эпидемиологические обследования, проведенные в некоторых африканских странах, показали, что значительная часть ведущего половую жизнь населения уже заражена HTLV-III. Широкое распространение инфекции в Африке в какой-то мере обусловлено тем, что большинству африканских стран всеобщая проверка донорской крови все еще недоступна по экономическим причинам. В результате вирус по-прежнему передается с зараженной кровью. К тому же в Африке HTLV-III начал распространяться, по-видимому, раньше, чем в других районах мира.

КАК ВОЗНИК ВИРУС AIDS? Недавно полученные данные позволяют строить правдоподобные предположения. В 1985 г. Эссекс и его коллега Ф. Канки обнаружили вирус, родственные HTLV-III, у африканских зеленых мартишек, ареал которых охватывает почти всю экваториальную Африку. Этот вирус, названный обезьяньим Т-лимфотропным вирусом-III (STLV, от англ. simian T-lymphotropic virus III), вполне может быть предшественником возбудителя AIDS. Но хотя STLV-III ближе к HTLV-III, чем любой другой ретровирус животных, родство между ними не столь уж велико. Кроме того, обезьяньи вирус не патогенен для своего обычного хозяина.

Теперь пробел между вирусом обезьян и вирусом человека заполнился: открыта группа промежуточных форм. Первый из таких вирусов, названный HTLV-IV, близкородствен STLV-III и непатогенен, однако способен заражать человека. Этот вирус выделен Эссексом и Канки в Западной Африке в 1985 г. Позднее в том же районе были обнаружены два вируса, близкородственных HTLV-IV и вызывающих иммунный дефицит. Один из них, названный LAV-2, выделен группой сотрудников из Пастеровского института, другой, вирус SBL, — шведскими исследователями. Вполне вероятно, что STLV-III каким-то образом попал в организм человека, где

претерпел ряд мутаций, в результате чего возникли промежуточные формы вируса, а затем и опаснейший патоген — HTLV-III.

Обследование консервированных сывороток крови из многих регионов мира свидетельствует, что высокопатогенным вирус, вызывающий AIDS, стал недавно. В сыворотках, полученных в 1960-1970 гг. независимо от их географического происхождения, не обнаружено антител к HTLV-III. Исключение составляет только небольшой район Центральной Африки, где первые признаки инфекции выявлены в образцах, относящихся еще к 1950-м годам. По-видимому, вирус некоторое время оставался узко локализованным, но в начале 1970-х годов распространился по всей Центральной Африке. Несколько позже он попал на Гаити, а уже оттуда, вероятно, — в Америку и Европу.

Анализ происхождения и распространения HTLV-III приводит к печальному выводу: AIDS не является «прерогативой» гомосексуалистов или наркоманов, или вообще какой-то особой группы населения. Вирус передается при половом контакте, причем, по всей видимости, форма этого контакта не так важна. Распространение вируса зависит от наличия зараженных людей: если их достаточно много, то инфекция передается все дальше и дальше. Совершенно не обязательно, чтобы эти люди были гомосексуалистами или наркоманами. В Африке болеют люди, ведущие гетеросексуальную половую жизнь. Редфилд, Каплан и другие показали, что и в США вирус передавался при обычных половых контактах. Пока не появится эффективная вакцина, разумные меры предосторожности и тщательное изучение вируса — вот лучшее оружие против него.

Есть ли в этой страшной истории какая-нибудь мораль? Безусловно, да. В последние двадцать пять лет главным предметом гордости медицинской науки, по крайней мере в благополучных индустриальных странах, была победа над инфекционными заболеваниями. Нашествие ретровирусов, способных вызвать необычно сложную смертельно опасную болезнь, говорит о том, что эти претензии — только плод человеческого тщеславия. Природу покорить невозможно. Ретровирусы человека, вступающие в сложнейшие взаимодействия с клетками организма-хозяина, — всего лишь одна из иллюстраций этого факта. В самом деле, «покорение» — это явно неудачная метафора нашего отношения к природе, которая не только окружает человека, но — в глубочайшем смысле — и входит в его сущность.

Научение на основе инстинкта

Научение и инстинкт, обычно противопоставляемые друг другу, на самом деле взаимосвязаны: процесс научения у животных, находящихся на всех уровнях мыслительной организации, возникает на основе инстинкта и находится под его контролем

ДЖЕЙМС Л. ГУЛД, ПИТЕР МАРЛЕР

НАУЧЕНИЕ ЧАСТО рассматривают как альтернативу инстинкту, представляющему собой информацию, передаваемую генетически от поколения к поколению. Большинство из нас полагает, что способность к научению есть показатель умственных способностей. Говорят, что разница между научением и инстинктом отличает людей от «низших» животных, например насекомых. Самонаблюдение, этот часто вводящий нас в заблуждение авторитет, убеждает нас, что научение в отличие от инстинкта, как правило, включает в себя сознательное принятие решения о том, когда и чему учиться.

Исследования, проведенные в последние десятилетия, показывают, что невозможно провести столь резкую грань между инстинктом и научением, равно как между ведущими механизмами, лежащими в основе поведения человека и животных. Было обнаружено, например, что насекомые являются прекрасными «учениками». С другой стороны, мы знаем теперь, что процесс научения у высших животных, так же как и у насекомых, находится под контролем врожденных механизмов, т. е. под контролем информации, наследуемой генетическим аппаратом животного. Другими словами, процесс научения часто находится под контролем инстинкта.

Создается впечатление, что многие, если не все, животные «запрограммированы» к научению определенными вещами определенными способами. С эволюционной точки зрения, научение, контролируемое врожденными механизмами, — это вполне допустимая вещь: очень часто нетрудно заранее определить в общих чертах, чему может научиться животное, даже если ничего нельзя сказать о конкретных деталях. Например, пчелы должны обладать врожденной способностью к приобретению навыка различать форму различных цветков,

но было бы невозможно вооружить каждую пчелу при рождении механизмом для различения всех цветков, которые она могла бы посетить.

Научение, управляемое врожденными механизмами, т. е. научение, опирающееся на инстинкт, свойственно животным, находящимся на разных уровнях мыслительной организации. В этой статье мы приводим примеры, прежде всего касающиеся поведения пчел и птиц, т. е. объектов наших собственных исследований, но полученные нами результаты могут быть распространены и на других животных, включая приматов и даже человека. Имеются, например, достоверные данные о том, что процесс научения речи у людей в значительной степени управляется врожденными способностями и склонностями.

Два научных подхода

Разница между научением и инстинктом иллюстрируется существованием двух научных подходов к изучению поведения, из которых один представлен этологией, а другой — психологией поведения (или бихевиоризмом). Этологию обычно определяют как изучение инстинкта. С точки зрения этологии, поведение животных в большинстве случаев управляется четырьмя основными факторами; это — знаковые стимулы (ин-

стинктивно узнаваемые сигналы), комплекс двигательных реакций (врожденные ответы на сигналы), побуждение, или драйв (контролирующие мотивационные импульсы), и запечатление, или импринтинг (узко ограниченная и внешне аберрантная форма научения).

Три из перечисленных выше факторов были обнаружены в реакции закатывания яйца у серого гуся, которая была изучена К. Лоренцем и Н. Тинбергеном, являющихся вместе с К. фон Фришем основателями этологии. Для насиживания яиц гуси строят на земле холмообразные гнезда, и иногда случается, что насиживающая гусыня случайно выкидывает яйцо из гнезда. Поведение гусыни вслед за таким событием представляет большой интерес. Садясь вновь на гнездо, она в конце концов замечает откатившееся яйцо. Она вытягивает шею и внимательно смотрит на яйцо, затем поднимается и закатывает яйцо обратно в гнездо, используя для этого клюв. На первый взгляд все это может показаться продуманным решением. Однако, как выясняется, это поведение имеет в высшей степени стереотипный и врожденный характер. Любой выпуклый предмет, независимо от цвета и почти независимо от размера, вызывает такую же поведенческую реакцию — особенно хорошо «работают» бутылки из-под пива.

НАУЧЕНИЕ, УПРАВЛЯЕМОЕ ИНСТИНКТОМ, позволяет кукушке (*крупная птица слева*) паразитировать на других видах птиц (в данном случае — на лесной завирушке). Кукушки откладывают яйца в гнезда других птиц. Когда кукушонок вылупляется из яйца, его вид и издаваемый им просящий крик вводят этих птиц в заблуждение, и они принимают его за своего собственного птенца. Как видно на фотографии, приемные родители продолжают кормить кукушонка, даже когда он вырастает и становится больше их самих. Пока он находится в гнезде, кукушонок (если это самка) должен как-то научиться узнавать видовую принадлежность своих приемных родителей, так чтобы откладывать собственные яйца в гнезда птиц этого вида. Процесс научения кукушки контролируется инстинктом, который обуславливает способность птицы игнорировать огромное количество отвлекающей информации вокруг нее и сосредотачивать свое внимание на вещах, которые нужно запомнить.

В данном примере выпуклая форма предмета, возбуждающая специальную поведенческую реакцию животного, — это знакомый стимул для этологов. Сам процесс закатывания яйца является комплексом двигательных реакций. Поведение в целом контролируется побуждением, появившимся примерно за две недели до начала яйцекладки у гусей и присутствующим у них еще около двух недель после вылупления птенцов. В поведении гусей имеет место и импринтинг: в течение некоторого «чувствительного» периода сразу после вылупления гусята следуют практически за любым удаляющимся от них предметом, имитирующим врожденно распознаваемый зов «кум-кум», и обращаются с этим предметом, как с одним из родителей.

Бихевиористский взгляд на мир существенно отличается от этологического. Бихевиористов прежде всего интересует исследование научения в

строго контролируемых условиях, и они рассматривают инстинкт как не имеющий никакого отношения к научению. Бихевиористы полагают, что почти все поведенческие реакции высших животных можно разделить на две формы научения — выработку классического условного рефлекса и выработку инструментального (оперантного) условного рефлекса.

Классический условный рефлекс был открыт у собак русским физиологом И. П. Павловым. В своем классическом опыте он показал, что, если звонок всегда звонит непосредственно перед едой, собака, в конце концов, научается выделять слюну при звуке звонка. Важными факторами в классическом условном рефлексе являются безусловный стимул (врожденно узнаваемый сигнал, эквивалентный знаковому стимулу в этологии, т. е. в данном случае пища), безусловный ответ (врожденная поведенческая реакция, эквивалентная комплексу дви-

гательных реакций в этологии, в данном примере слюноотделение) и условный стимул (тот, на который по условиям опыта должно реагировать животное, в описываемом случае звонок). Первые бихевиористы полагали, что любой стимул, который животное физически способно ощущать, может быть использован как условный стимул для вызывания любой безусловной поведенческой реакции.

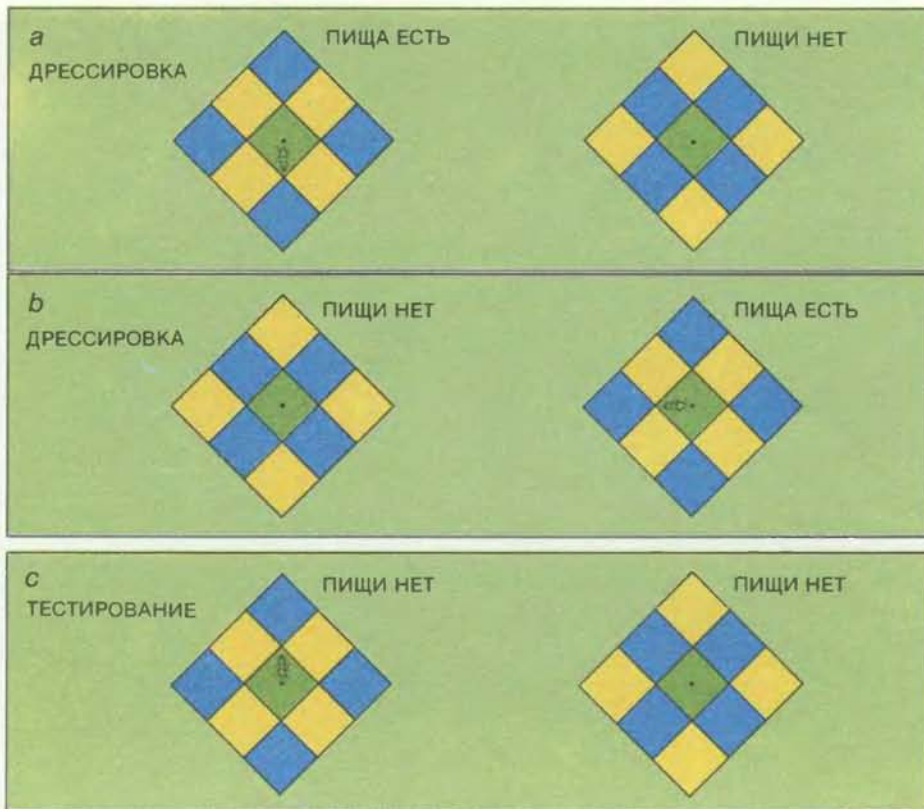
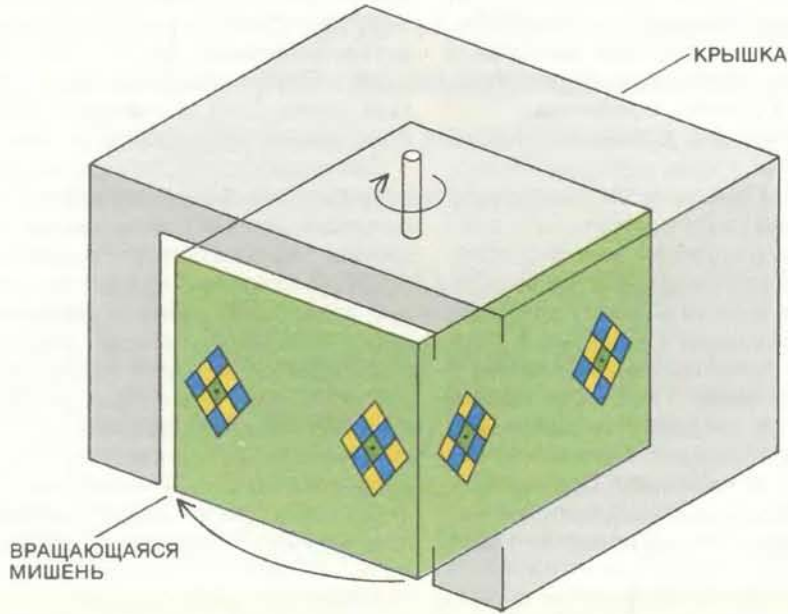
При выработке инструментального условного рефлекса — второй из двух основных форм научения, рассматриваемых большинством бихевиористов — животные научаются тому или иному поведению в результате проб и ошибок, которые они совершают, стремясь получить награду или избежать наказания. Классическим примером инструментального научения является опыт, в котором крыса должна нажимать на рычаг для получения пищи. Экспериментатор добивается нужного поведения, давая на-



граду крысе сначала даже при частичном выполнении требуемой поведенческой реакции. Например, на начальном этапе крыса могла бы получить награду, только направив свой взгляд

в ту часть клетки, где находился рычаг. В последующем экспериментатор добивается более точного поведения, пока оно не становится абсолютно удовлетворительным. Первые бихе-

виористы считали, что любая поведенческая реакция, которую животное способно выполнять физически, может быть достигнута с помощью инструментального научения как ответ на любой сигнал или ситуацию.



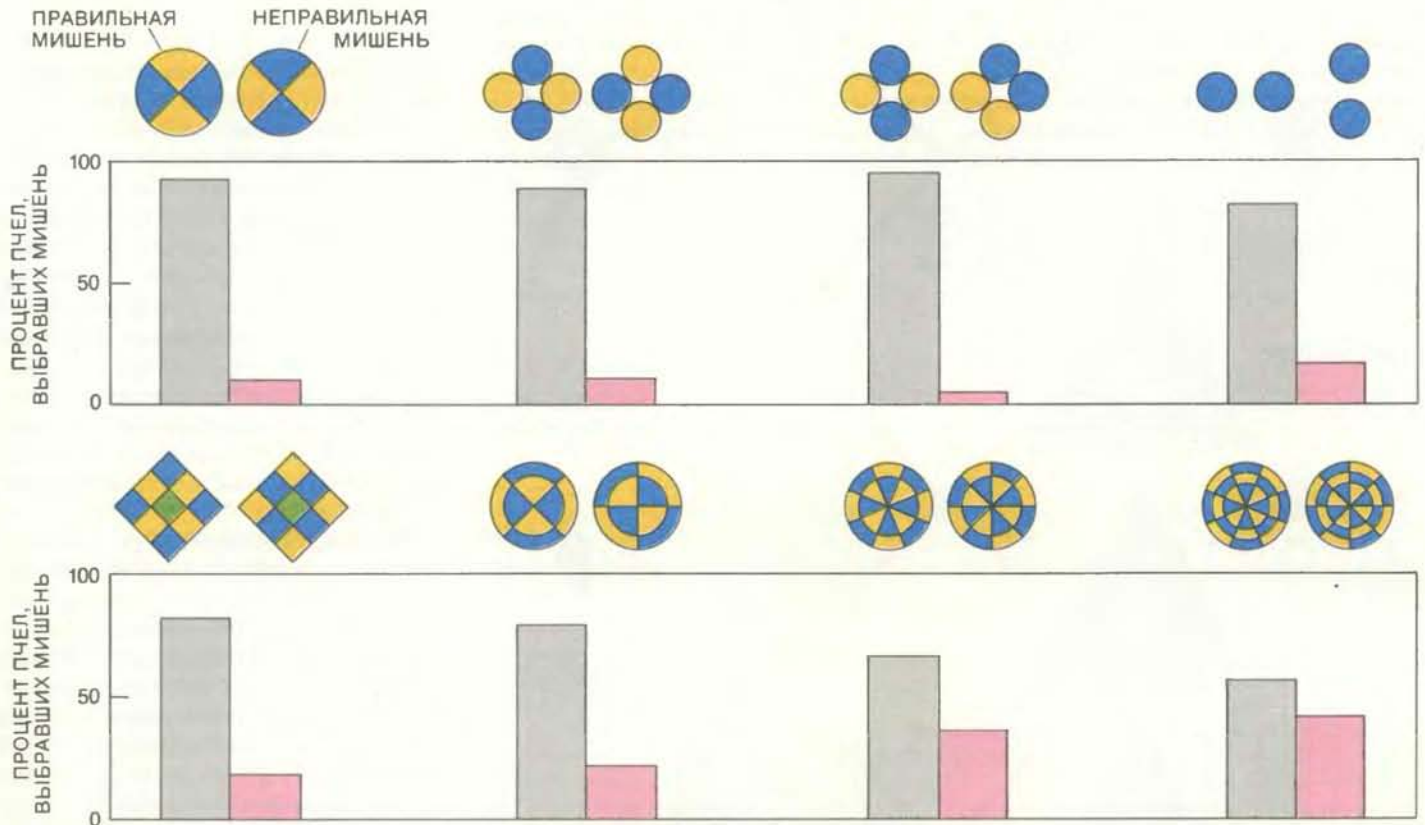
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДРЕССИРОВКИ И ТЕСТИРОВАНИЯ приучает пчел садиться на определенные мишени и проверяет их способность запоминать эти мишени. Мишени расположены парами на каждой из сторон вращающегося ящика (вверху). Ящик накрывается так, что в каждый данный момент только одна пара мишеней остается видимой. В центре каждой мишени находится кормушка, которую можно наполнять сахарным раствором. Дрессируя пчелу, экспериментатор помещает пищу только на одну из мишеней и дает возможность пчеле кормиться из этой кормушки (внизу, а). Чтобы помешать пчеле просто запомнить местоположение мишени с пищей, ящик вращается так, что пчела дрессируется на узнавание второй пары мишеней, представляющей зеркальное отражение первой (b). После того как пчела получит пищу примерно 10 раз, ее тестируют: ящик вращается так, что пчела получает доступ к паре мишеней, не содержащих пищу (c), а экспериментатор наблюдает, какую из них выберет пчела. Устройство позволяет проверять способность пчел запоминать основные характеристики мишени — ее цвет, рисунок, форму и запах.

Возражения против бихевиоризма

К 1970 г. появилось несколько серьезных возражений против высказываемых бихевиористами положений. Идея о том, что при выработке классического условного рефлекса любой воспринимаемый сигнал может быть использован в качестве условного стимула, была подвергнута резкой критике со стороны Дж. Гарсиа, работающего ныне в Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе. Он показал, что крысы не могли ассоциировать зрительные и звуковые сигналы с пищей, вызывающей у них болезненные ощущения, хотя они могли ассоциировать с этой пищей обонятельные сигналы. С другой стороны, он установил, что перепел мог ассоциировать с опасной пищей зрительные (цветовые) сигналы, но не слуховые или обонятельные. В дальнейшем благодаря исследованиям других ученых подобные результаты умножились. Было, например, показано, что голуби легко научаются связывать с опасностью звуки, а не цвета, а с пищей — цвета, но не звуки. Очевидный вывод состоял в том, что эти животные были предрасположены к образованию определенных ассоциаций в одних условиях легче, чем в других.

Сходные результаты были получены в опытах по инструментальному научению. У крыс легко вырабатывается рефлекс нажатия на рычаг для получения пищи, но они не могут научиться нажимать на рычаг для того, чтобы избежать электрошока. И наоборот, они научаются прыгать, чтобы избежать шока, но не могут научиться делать это для получения пищи. Точно так же голубям для получения пищи легко научиться клевать пятно, но очень трудно научиться вспрыгивать на перекладину; они легко научаются вспрыгивать на перекладину, чтобы избежать шока, но научиться тому же путем клевания они не могут. И снова создается впечатление, что при определенных поведенческих ситуациях животные вроденно подготовлены к научению одним вещам в большей степени, чем другим.

Те ассоциативные связи, которые в процессе научения устанавливаются наиболее быстро, имеют приспособительный характер. Так, для крыс, ведущих ночной образ жизни, запах в



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИШЕНЕЙ позволило получить данные о том, что пчелы запоминают цветок как целостную картину, а не как набор признаков. Мишени в каждой паре отличаются одна от другой только расположением их компонентов (часто одна просто соответствует повернутой другой), т. е. набор признаков у них один и тот же. Пчелы дол-

жны различать парные мишени как целостную картину. Пчелы запоминали предложенные им мишени за исключением тех случаев, когда последние были чересчур сложными; по-видимому, их память не обладает достаточно высокой разрешающей способностью, чтобы различить такие мишени. Показана лишь часть использованных мишеней.

естественных условиях является более надежным признаком, чем цвет, когда нужно установить возможную опасность пищи. Для голубя же более полезным запоминающимся признаком является цвет семечек, а не звуки, каким-то образом возникающие вокруг них. Аналогично этому голубь скорее научится есть новые для него семечки, знакомясь с ними при помощи клюва, чем используя для этой цели ноги. Животные, обладающие врожденным знанием того, на какие внешние стимулы следует полагаться и какие действия следует пытаться совершить, скорее будут игнорировать ложные сигналы и быстрее научиться, по сравнению с животными, лишенными таких врожденных качеств. Идея о том, что животные врожденно запрограммированы к восприятию специфических сигналов в специфических условиях и к определенным способам поисков решения в других условиях, предполагает наличие взаимовыгодных отношений между научением и инстинктом. Наличие таких отношений помогает объяснить казавшееся когда-то аномальным явление импринтинга и примирить бихевиористскую и этологическую точки зрения.

Инстинктивная основа научения у пчел

Конвергенцию этих двух взглядов можно проиллюстрировать на примере того, как пчелы научаются различать цветки. Пчелы обладают врожденной способностью легче научиться узнавать одни признаки цветков, по сравнению с другими. И что, по-видимому, еще более важно, пчелы, научившись однажды отличать какой-нибудь цветок, используют в дальнейшем это умение «на практике» исключительно инстинктивно.

Пчелы живут, собирая нектар и пыльцу. Оба этих важных для пчел пищевых компонента имеются в цветках, которые используют их в качестве «взятки» для привлечения насекомых-опылителей. Пчелы узнают предметы, похожие на цветки инстинктивно — они спонтанно садятся на мелкие ярко окрашенные объекты, имеющие множество повторяющихся деталей (как в том случае, когда у объекта есть лепестки), и центры, которые (подобно центру цветка) поглощают ультрафиолетовые лучи и таким образом кажутся пчелам темными.

Хотя пчелы распознают предметы,

похожие на цветки, инстинктивно, они должны научиться узнавать, какие из них являются более вероятными носителями пищи. Изначальные признаки цветка представляют собой безусловный стимул — набор знаковых стимулов. Они «запускают» безусловные реакции, заключающиеся в том, что пчела садится на объект и касается его хоботком — эти действия представляют собой два врожденных комплекса двигательных реакций. Если этот объект «наградит» пчелу пищей, то специфические признаки цветка могут сохраниться в ее памяти (они будут запечатлены) как условные стимулы.

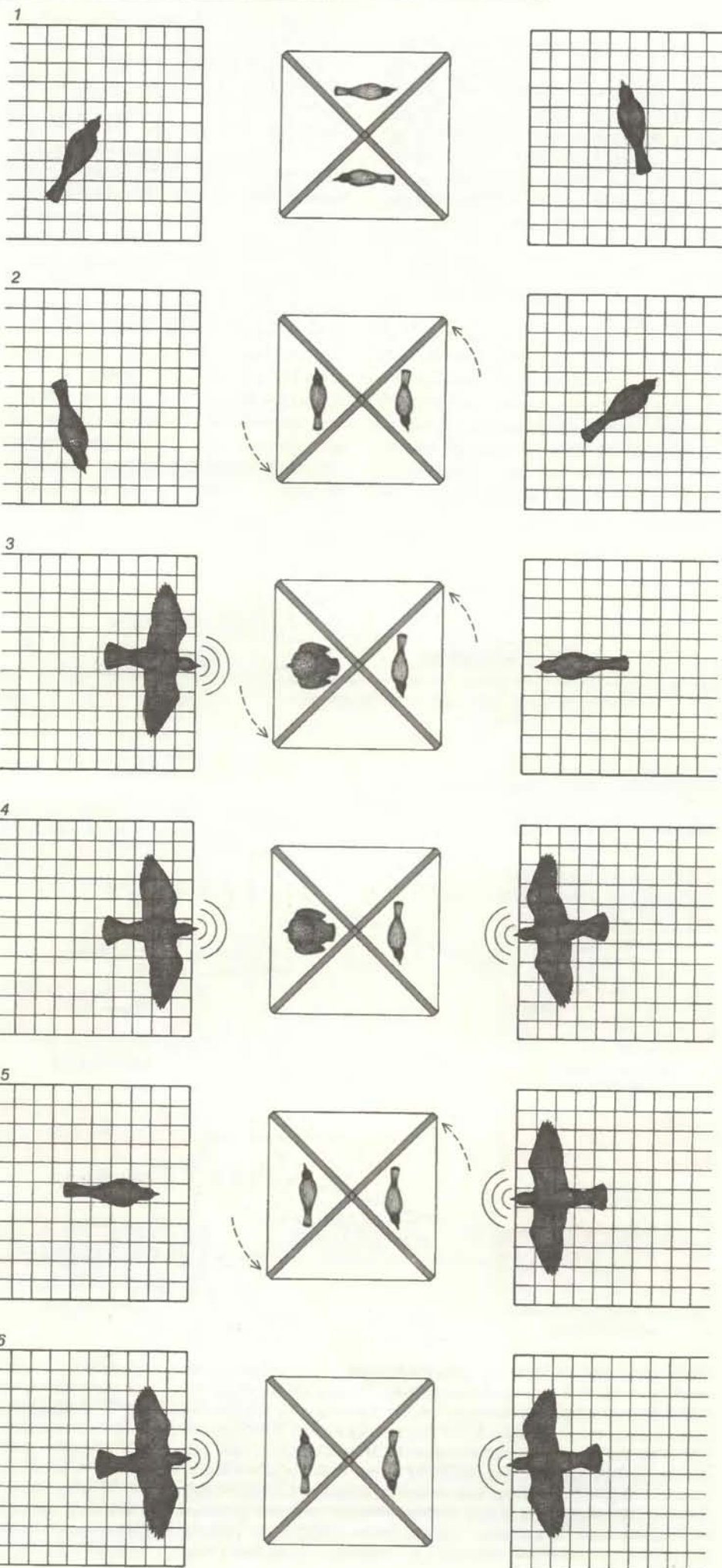
Первое, что медоносная пчела запоминает о цветке, — это его запах. Фриш в своих ранних исследованиях показал, что если пчелу дрессировать, давая ей пищу из кормушки, имеющей определенный запах, то она впоследствии будет выбирать цветки с похожим запахом из сотен предлагаемых ей вариантов. Р. Менцель из Свободного университета в Западном Берлине показал, что даже одного тренировочного посещения достаточно, чтобы научить пчелу выбирать тот же самый запах в 90% случаев при последующих посещениях. После

также прекрасно знают, куда обращен улей (вплоть до того, что после разворота улья на 90° большинство фуражиров не может найти вход до тех пор, пока другие пчелы не обеспечат необходимых химических ориентиров), но они не могут определить, куда ориентирован свободно стоящий цветок.

Организация памяти у пчел

Даже признаки цветков, которые пчелы способны запомнить, такие, как запах, цвет и форма, запоминаются ими неодинаково. Например, если пчеле, которую дрессировали на получение пищи при посещении голубого треугольного предмета с запахом перечной мяты, предоставить выбор между голубым треугольным предметом с запахом апельсина и желтым округлым предметом с запахом перечной мяты, она неизменно выберет этот последний, даже если этот предмет не имеет ни цвета, ни очертаний того предмета, по отношению к которому пчелу дрессировали. Лишь в том случае, когда два предмета имеют один и тот же запах, пчелы обращают достаточное внимание на цвет или на форму, причем в этих случаях цвет имеет преимущество перед формой. Подобная иерархия соответствует относительной надежности признаков в природе. Запах цветков обычно постоянен, тогда как цвет может бледнеть или меняться в зависимости от освещения, а очертания цветка могут изменяться под влиянием ветра или от повреждения травоядными животными и даже от угла зрения.

СПЕЦИФИЧЕСКИЙ ВИД реакции на хищника (моббинг) у черного дрозда свидетельствует об инстинктивной способности этих птиц научиться распознавать хищников. Между клетками, в которых содержатся птицы, находится вращающийся ящик с 4 отделениями (1). Каждая птица может видеть только одно отделение ящика, а также клетку другой птицы. Сначала каждой птице показывают чучело медососа — абсолютно не опасной для нее птицы (2); ни одна из птиц не проявляет к нему никакого интереса. Затем одной из птиц показывают чучело совы (хищника мелких птиц), а другой — медососа. Птица, которой показывают сову, старается прогнать ее и издает при этом характерный «моббинг-крик» (3). Другая птица поначалу наблюдает за первой, а затем (4) также начинает проявлять реакцию моббинга. Она привыкает нападать на медососа. Когда медососа показывают обеим птицам (5), она обучает первую так же нападать на медососа (6).



Иерархия признаков — очень важный фактор в формировании памяти у пчел, но еще более важный элемент этого процесса — время дня, когда каждый цветок может предоставить свой нектар. Время, когда можно получить пищу в цветках, пчелы учатся распознавать значительно медленнее, чем запах, цвет или очертания цветка, но как только пчелы «овладели» этим признаком, именно он начинает служить в качестве элемента, организующего память у пчел в отношении других признаков.

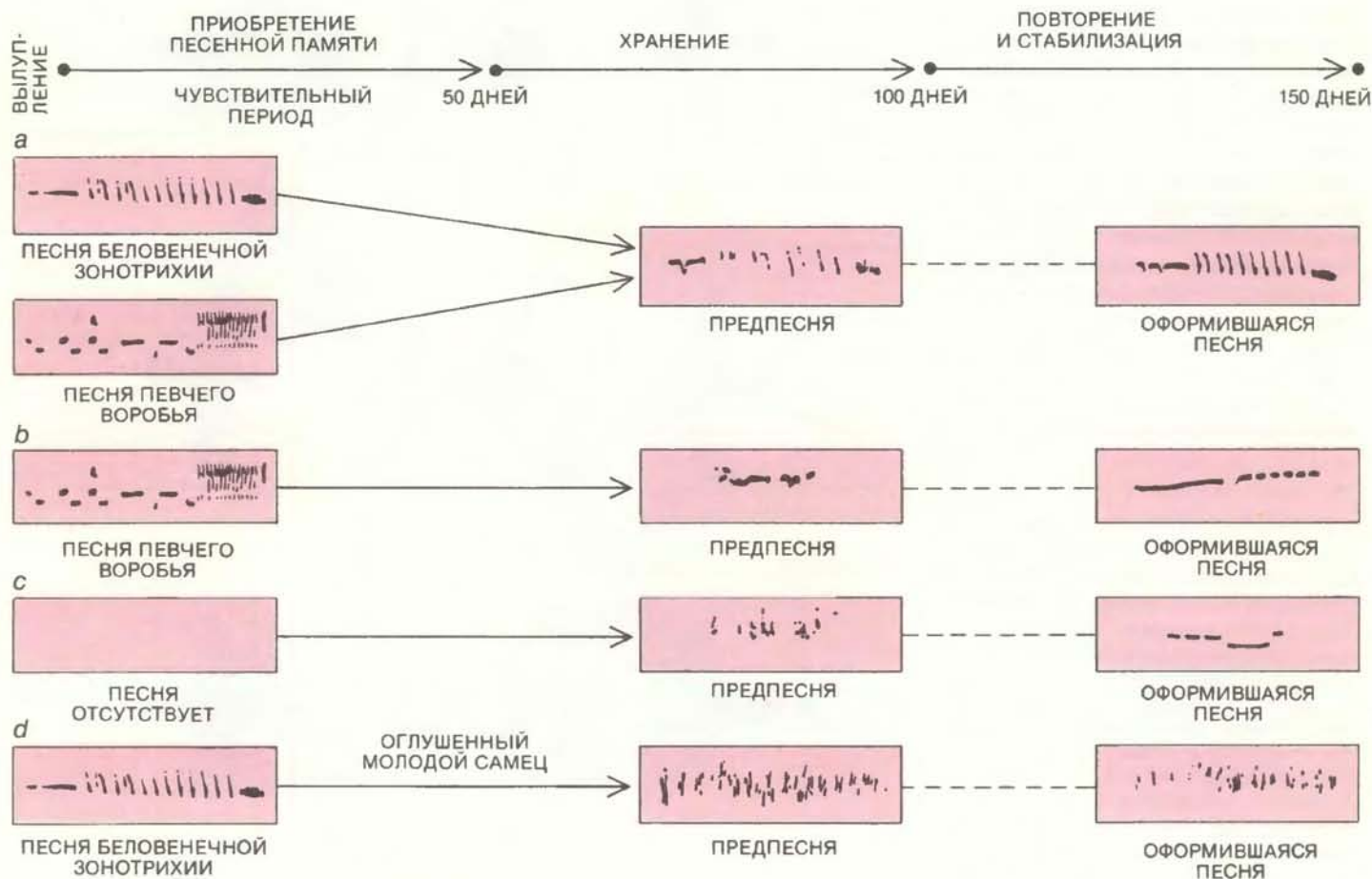
Организирующая роль временного фактора была четко показана Ф. Богданы из Вюрцбургского университета. В течение нескольких дней он дрессировал группу фуражиров, обучая их кормиться из двух различных кормушек в разное время дня. Например, с 10 до 11 ч утра он кормил их из голу-

бой треугольной кормушки с запахом перечной мяты, а с 11 ч до полудня — из круглой желтой кормушки с запахом апельсина, которая ставилась на место прежней голубой кормушки. Однажды он выставил обе кормушки в 9 ч и наблюдал интересное явление. Дрессированные фуражиры начали появляться у голубой кормушки около 9 ч 45 мин. Примерно в течение часа они кормились исключительно из этой кормушки. Приблизительно в 10 ч 45 мин некоторые фуражиры начали посещать желтую кормушку, и к 11 ч 15 мин голубая кормушка, которая все еще была полна пищи, оказалась полностью покинутой.

Пчелы ведут себя так, как будто у них расписано, по какой схеме распределять свои посещения, причем каждому определенному моменту времени может соответствовать

только одна запись. Разрешающая способность этого расписания составляет примерно 20 мин, т. е. пчелы не могут отделить друг от друга двух посещений, если между ними проходит менее 20 мин. Пчелы были способны запомнить такое число посещений, какому их пытался научить экспериментатор. Абсолютный рекорд, поставленный Р. Кольтерманном из Франкфуртского университета, составляет 9 посещений на протяжении 8 часов.

Другой опыт, поставленный Богданы, демонстрирует более тонкие детали в структуре памяти медоносной пчелы. После многодневной дрессировки на голубую треугольную кормушку с запахом перечной мяты пчелам была предложена такая же кормушка, но с запахом апельсина. Фуражиры выучили этот запах за одно по-



РАЗУЧИВАНИЕ ПЕСНИ у беловенечной зонотрихии отличается большой специфичностью. Молодые самцы инстинктивно идентифицируют и разучивают по преимуществу песню своего вида. Если молодому самцу зонотрихии проигрывают магнитофонные записи песни взрослой особи того же вида и песни взрослого певчего воробья (а), он какое-то время тренируется (период, известный под названием «предпесня»), а затем воспроизводит окончательный («оформленный») вариант песни, очень сходный с песней взрослой зонотрихии, которую он слышал. Если ему прои-

грывают только запись песни певчего воробья (б), он ее не запоминает: он долго находится на стадии предпесни, но окончательный вариант не похож ни на песню певчего воробья, ни на песню беловенечной зонотрихии. Птица, которой не проигрывали никакой песни (с), также ничему не научается. Если молодая птица слышит песню зонотрихии, но ее оглушают до начала периода предпесни (д), она не способна научиться воспроизводить песню, которую слышала; она воспроизводит некую аморфную песню, лишенную мелодической основы.

сещение, но они совершенно не помнили цвет и форму кормушки, хотя эти признаки были сохранены. С другой стороны, когда пчел дрессировали на голубой треугольник без запаха, а затем предлагали им голубой треугольник с запахом перечной мяты, они запоминали новый запах, не забывая при этом цвет и форму. По видимому, в их расписании есть «запись» о каждом признаке; эти записи построены таким образом, что пробелы между ними всегда можно заполнить, но если даже одна запись изменена, вся совокупность записей стирается.

Эти результаты говорят о том, что медоносные пчелы ориентирующиеся среди определенных объектов по врожденно узнаваемым признакам, запоминают некоторые специфические черты этих объектов и сохраняют память о них в некоем предварительно структурированном иерархическом множестве. Признаки, полав-

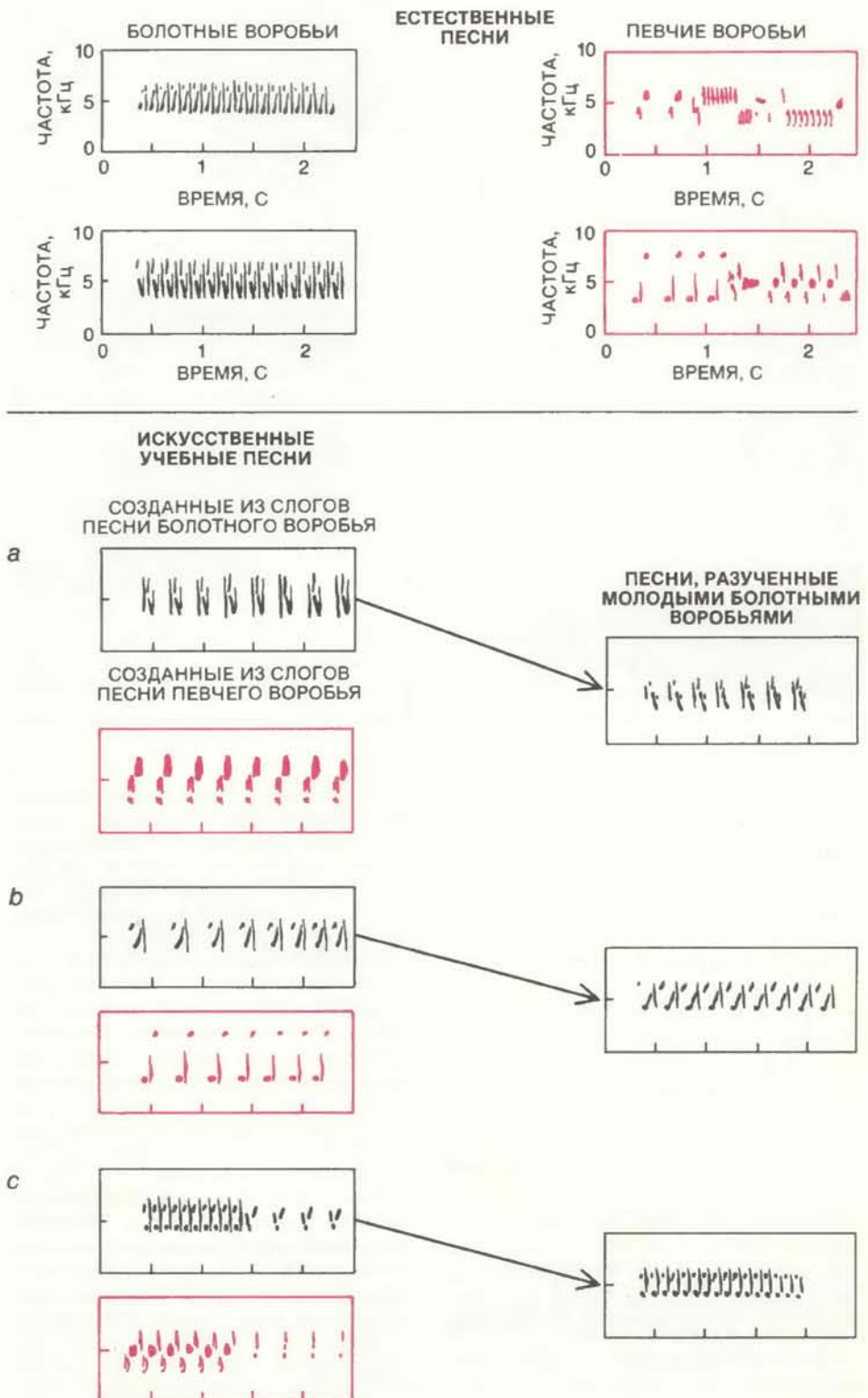
шие в память, скорость, с которой запоминается каждый признак, и способ сохранения данных в памяти — все это относится к врожденным способностям пчелы.

Навыки, относящиеся к распознаванию врагов

Помимо умения находить пищу, животным нужно знать и много других вещей. Например, они должны знать, как распознавать и как реагировать на различных хищников и вра-

гов. Для некоторых животных вполне достаточно просто установить в самом общем виде, к какой группе принадлежит хищник. Так, летающие бабочки и сверчки начинают автоматически совершать спасательные маневры, как только услышат высокие звуки, характерные для охотящихся летучих мышей. Другим животным нужно уметь проводить более тонкие различия между друзьями и потенциальными врагами. Здесь наиболее подходящим примером могут служить гнездящиеся птицы. Они долж-

ИСКУССТВЕННО СОЗДАННЫЕ ПЕСНИ помогают обнаружить те сигналы, которыми руководствуются молодые болотные воробьи при идентификации песни их собственного вида. Естественная песня болотного воробья (вверху слева; показаны две песни, так как у каждой птицы существует своя «манера исполнения») состоит из одного слога, повторяемого в постоянном темпе. Песня певчего воробья (вверху справа) содержит несколько слогов, начинающихся с ускоряющейся трели. В одной паре искусственных песен (а) обе они имели постоянный темп песни болотного воробья, но одна из них состояла из слогов его же песни, а другая — из слогов песни певчего воробья. Как и ожидалось, болотные воробьи разучивали песню, составленную из слогов песни, свойственной этому виду. В другой паре (b) каждая песня также состояла из одного слога, но слоги повторялись в убыстряющемся темпе; в одной песне был использован слог из песни болотного воробья, в другой — слог из песни певчего воробья. Болотные воробьи разучили слог из собственной песни и изменили темп таким образом, что он стал соответствовать естественному. Еще в одной паре (c) каждая песня состояла из двух слогов, расположенных так, как в песне певчего воробья; и в этом случае одна состояла из слогов песни болотного воробья, а другая — из слогов песни певчего воробья. Молодые болотные воробьи разучивали один из слогов песни, созданной из слогов, свойственных этому виду, и исполняли этот слог с характерным для них темпом. Опыт показывает, что молодые болотные воробьи при определении песни, которую им следует разучить, полагаются на сигналы, содержащиеся в отдельных слогах.



ны уметь отличать безвредных птиц, таких как малиновки, от птиц, подобных воронам или сойкам, которые охотятся за яйцами и птенцами. В этом случае вполне применима стратегия «заполнения пробелов», используемая пчелами, когда они научаются распознавать цветки.

Когда гнездящиеся птицы обнару-

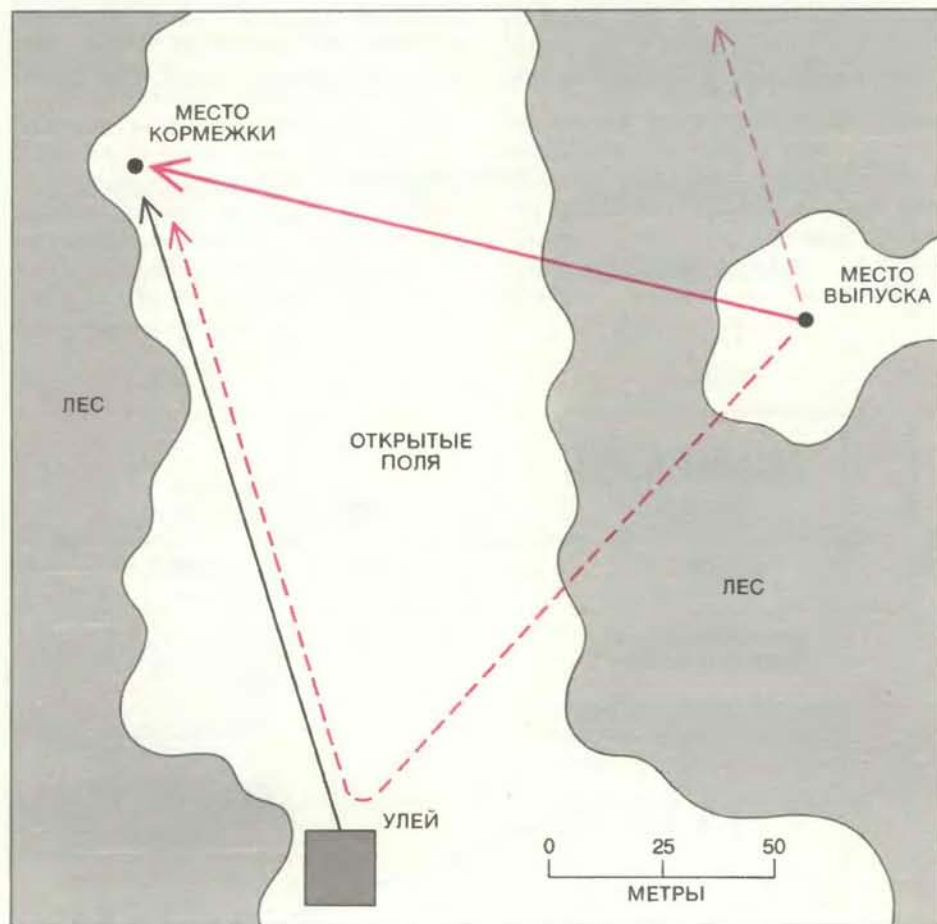
живают хищников, они набрасываются на них все вместе — явление, известное под названием моббинга (mobbing). Как птицы узнают, на кого нужно нападать, а на кого не стоит обращать внимания? Э. Курио из Рурского университета показал, что процесс научения тому, на какой вид следует нападать, контролируется

врожденными механизмами.

В опытах Курио группы птиц (чаще всего — черные дрозды) содержались в изолированных клетках. Между клетками был помещен вращающийся ящик с 4 отделениями. В каждый момент птицы в одной клетке могли видеть только одно отделение вращающегося ящика, а птицы в другой клетке видели другое отделение (см. рисунок на с. 43). Птицы могли видеть также клетки друг друга.

Курио начинал вращать центральный ящик, и перед птицами в клетках представало чучело медососа — абсолютно не опасной для них птицы. Живые птицы на это никак не реагировали. Затем он помещал в одно отделение чучело совы, а в противоположное — чучело медососа. Когда ящик поворачивался так, что каждое чучело было в поле зрения одной из двух групп птиц, птицы в той клетке, откуда была видна сова, начинали издавать свойственный их виду врожденный призыв к нападению и старались атаковать чучело. Другая группа птиц какое-то время наблюдала за моббингом, а затем, отвечая на этот мощный поток знаковых стимулов, также пыталась атаковать чучело медососа, издавая в то же время призыв к атаке. Впоследствии эта группа птиц всегда пыталась атаковать медососа — птицу, которая никогда не была замечена в нападении на гнездо. Курио обнаружил, что появившаяся неприязнь к медососам стала передаваться из поколения в поколение. Молодые птицы научились нападать на медососов, наблюдая за своими родителями. В последующих опытах Курио удалось научить своих птиц нападать на бутылки с детергентом.

Есть основания думать, что такая стратегия приобретения навыков в отношении врагов варьирует не только у птиц, но и у многих видов млекопитающих. Возможно, что наиболее сложный вариант поведения наблюдается у зеленых мартышек. Как показали Р. Сейфарт и Д. Чени, работающие в Пенсильванском университете, и один из авторов (Марлер), у зеленых мартышек есть специальные сигналы тревоги для каждой из четырех групп хищников: воздушных (таких как орлы), четвероногих (таких как леопарды), хищных приматов (например павианов) и змей. Каждый из этих сигналов тревоги вызывает свой ответ. Например, предупреждение о появлении орла заставляет мартышек, находящихся на земле, искать укрытие, а тех, которые находились на открытых верхушках деревьев, быстро нырять под защиту ветвей; на предупреждение о змеях мартышки, находящиеся на деревьях, не обращают внимания, но это же предупрежде-



СПОСОБНОСТЬ ПЧЕЛ создавать мысленные карты, а не просто запоминать маршрут как серию ориентиров, была продемонстрирована в опытах, когда пчелу дрессировали кормиться в определенном месте (вверху). После завершения дрессировки некоторое число пчел было поймано в тот момент, когда они покидали улей, чтобы

лететь за пищей. В темноте их переместили в другое место (справа) и выпустили. Если бы пчелы не «осознали», что они оказались в другом месте, они бы полетели в том же направлении, которое в нормальных условиях вело их от улья к месту кормежки (светлоокрашенная пунктирная стрелка). Если бы пчелы помнили свой маршрут только по набору ориентиров, они бы полетели по ориентирам обратно к улью и только затем — к местам кормежки (темноокрашенная пунктирная стрелка). Вместо этого пчелы оказались способными, используя свое знание местности как некоего целого, проложить новый маршрут от места их выпуска прямо к месту кормежки (жирная цветная стрелка). Способность пчел создавать мысленные карты показывает, что даже существа с ограниченными мыслительными способностями могут быть обеспечены врожденным аппаратом для манипулирования и установления связей между отдельными битами «выученной» информации.

ние заставляет тех, кто находится на земле, встать на задние ноги и внимательно осмотреть землю вокруг.

Молодые мартышки инстинктивно посылают сигналы тревоги в ответ на широкий, но специфический диапазон стимулов. Например, любой предмет, находящийся в границах определенных размеров,двигающийся в свободном пространстве с некоторой угловой скоростью, вызывает у молодых обезьян сигнал предупреждения о воздушных хищниках, хотя этот сигнал может быть вызван аистом или даже падающим листом. Со временем молодые мартышки научаются различать, какие виды хищников вызывают сигнал тревоги у взрослых животных. Поэтому мартышки, выросшие в одном районе, научаются реагировать на павианов, леопардов и какой-нибудь вид орлов, а те, которые росли в другом районе, будут реагировать на людей, охотничьих собак и на один из видов ястребов. Как и система научения, направленная у пчел на распознавание цветков, эта врожденная система у мартышек вполне эффективна для запоминания существенной информации относительно «предсказуемо непредсказуемых» ситуаций: предсказуемые типы угрозы со стороны животных, чья точная видовая принадлежность непредсказуема.

Научение пению у птиц

Другая задача, стоящая перед животными и часто требующая научения, — это узнавание особей своего вида. Может быть, наиболее многообразная и наиболее понятная для нас форма использования научения для узнавания особей внутри вида — это научение пению у птиц. У всех птиц есть репертуар, состоящий из одного-двух десятков звуковых сигналов, воспроизводство и узнавание которых обусловлено врожденными механизмами. Эти сигналы не нужно разучивать, они могут быть воспроизведены даже птицами, родившимися и выросшими в изоляции. Некоторые птицы имеют более сложные образцы голосовых сигналов — песни для привлечения особей другого пола и для защиты территории; для овладения этими сигналами необходимо некоторое дополнительное обучение молодых особей взрослыми птицами того же вида.

Хорошим примером такого рода может служить беловенечная зонотрихия *Zonotrichia leucophrys*, которая была объектом пристального изучения для одного из авторов (Марлера). Взрослые особи этого вида исполняют трехчастную или четырехчастную

брачную песню. Песни, исполняемые разными особями, заметно отличаются друг от друга, однако структура песни одинакова для вида. Песня, исполняемая каждым самцом, похожа (но не идентична) на песни, которые он слышал в том месте, где рос. (Имеются настоящие местные диалекты.)

Эксперименты по управлению сенсорным опытом молодых зонотрихий многое прояснили в отношении организации процесса песенного научения. Например, птица, находящаяся в условиях звуковой изоляции, начинает пытаться воспроизводить звуки песен ко времени достижения ею примерно месячного возраста. Этот период экспериментирования, известный как «предпесня», продолжается с той или иной интенсивностью примерно на протяжении 2 месяцев. Около сорока дня жизни птицы песня уже приобретает вполне определенную форму, которая сохраняется затем без существенных изменений. Песня имеет весьма схематичный характер, однако она уже несет много основных черт песни взрослой птицы. Описанные опыты показывают, что основу песни птенец знает от рождения, а затем, живя в природных условиях, он доводит песню до ее окончательного вида.

Другой проведенный нами опыт состоял в том, что мы проигрывали магнитофонную запись песен другого вида молодым птицам, находящимся в условиях изоляции. Эти песни не оказывают почти никакого влияния на окончательный, оформленный характер песни зонотрихий (хотя Л. Баптиста из Академии наук шт. Калифорния показал, что слушание песен живой птицы другого вида иногда оказывает заметное влияние на молодых зонотрихий). С другой стороны, когда мы проигрываем смешанную магнитофонную запись, куда входит и песня самой зонотрихий, молодому самцу этого вида удается как-то «извлечь» эту песню из смеси, и он научается «производить» довольно стойкую имитацию. Если ставится задача достижения совершенной имитации, птица должна слушать песню до достижения ею примерно 7-недельного возраста. (Фактически период обучения зависит от условий опыта.) «Окно» для научения, т. е. время, в течение которого побуждение к обучению велико, называется чувствительным периодом.

Вместе взятые эти опыты показывают, что разучивание местного песенного диалекта у беловенечной зонотрихий происходит под контролем врожденных механизмов в течение чувствительного периода и имеет необратимый характер. Таким обра-

зом, это в точности классический импринтинг. Опираясь на некую известную ему врожденно песенную основу и руководствуясь умением врожденно распознавать сигналы, необходимые для стимулирования процесса научения, молодой самец создает более сложную закрепленную в памяти песню.

Сам процесс создания собственной версии «местного диалекта» заключается, по-видимому, в научении методом проб и ошибок. В случае зонотрихий могут пройти недели или месяцы между концом чувствительного периода (в течение которого птица запоминает песню) и происходящими к концу периода предпесни первыми попытками воспроизвести эту песню достаточно внятно. М. Кониши, работающий ныне в Калифорнийском технологическом институте, показал, что если молодой самец зонотрихий, который слушал песню своего вида, был оглушен до того момента, как у него оформилась песня, он уже никогда не исполняет ничего мелодичного, даже песню, которую он знает с рождения. По-видимому, птице необходимо производить какие-то манипуляции с клювом, гортанью, легочными мышцами, когда она слушает песню, чтобы затем быть в состоянии использовать информацию о песне, запечатленную в ее мозге. В период от «предпесни» до ее «оформления» птица придает песне определенную форму, чтобы привести ее в соответствие с образцами, хранящимися в мозге, независимо от того, состоит ли эти образцы только из примитивной врожденной песни или из песни, запомнившейся во время чувствительного периода. Кониши обнаружил, что к тому времени, как птица «отработала» свою песню, последняя становится настолько стереотипной, что оглушение уже не оказывает почти никакого эффекта.

Знаковые стимулы в песне взрослой птицы

Каким образом молодые певчие птицы узнают песню своего вида в мире, полном звуков? На какие специфические сигналы опираются зонотрихий, чтобы понять, какую песню надо заучивать? Один из авторов (Марлер) и его коллеги изучали этот вопрос в опытах с американскими болотными и певчими воробьями *Melospiza georgiana* и *M. melodia*, которые гнездятся в пределах слышимости друг друга (установившиеся русские и английские названия этих птиц могут ввести в заблуждение, так как они относятся к семейству овсянок и к

настоящим воробьям никакого отношения не имеют. — *Ред.*)

Из этих двух видов более простая песня у болотных воробьев. Она состоит из одной серии регулярно повторяющихся слогов; характер слогов изменяется в зависимости от темы, особи-исполнителя и местности. Песня певчих воробьев более сложная: она состоит по крайней мере из четырех типов слогов, часто начинающихся ускоряющейся трелью. Хотя врожденные песни у этих видов и отражают некоторые из этих структурных различий, слоги, из которых они построены, гораздо более просты.

Слуховые сигналы, на которых строится заучивание песен, могут включать элементы самих слогов, элементы темпа и структуры музыкальной фразы или и те, и другие. На первой стадии нашего исследования, касающегося установления значимости этих элементов, мы представляли прирученным воробьям обоих видов возможность заучивать записанные на магнитофон песни своего вида и близкого вида. Как мы и ожидали, птицы заучивали почти исключительно записи песен собственного вида. Однако мы придаем большое значение тем редким случаям, когда происходило заучивание песни другого вида: эти случаи показывают, что физически песни другого вида вполне доступны для воспроизведения и что нормальная склонность не заучивать песни другого вида проистекают не из неспособности воспроизвести эту песню, а от отсутствия необходимого внимания к ней при прослушивании.

Для того чтобы изучить роль различных компонент песенной структуры в приобретении птицами навыков предпочтения, оказываемого той или иной песне, мы объединяли вместе искусственные «учебные» песни, имеющие различную структуру, и проигрывали их молодым птицам обоих видов. Например, одна песня была образована медленным многократным повторением слогов песни певчего воробья, а другая — медленным многократным повторением слогов песни болотного воробья. Темп этих песен был такой же, как у песни болотного воробья. Болотные воробьи охотно выучивали песню, состоящую из слогов песни именно своего, а не другого вида, и то же самое было с певчими воробьями. Эти результаты показали, что знаковые стимулы содержатся в слогах.

Сам по себе этот опыт не позволил установить, важны ли также темп и структура музыкальной фразы. Для того чтобы узнать это, мы «сконструировали» целый ряд других песен. Новые песни были созданы из слогов

песен обоих видов, но слоги эти были по-разному организованы. Некоторые характеристики новых песен были заимствованы из песни болотного воробья, другие — из песни певчего воробья.

Одна из песен, например, была создана из слогов песни болотного воробья, но отличалась ускоренным темпом, что свойственно песне певчих воробьев. Вопрос состоял в следующем. Будут ли молодые болотные воробьи игнорировать эту песню из-за ее неправильного темпа? Или они будут воспринимать ее, поскольку она содержит правильный знаковый стимул, используемый при разучивании песни (правильные слоги), и таким образом исполнять ее в неправильном темпе? В действительности молодые болотные воробьи не делали ни того ни другого. Они выучивали слоги песни, но при собственном исполнении они фактически изменяли темп, так что выученные слоги подавались в темпе, свойственном песне их собственного вида.

В другом опыте были взяты искусственные песни, еще более близкие по своей структуре к песням певчего воробья. Каждая песня состояла из двух сегментов, а каждый сегмент, в свою очередь, из разных типов слогов, причем в одном сегменте слоги исполнялись в ускоренном темпе. Когда песни были составлены из различных типов слогов песни болотного воробья, молодые особи этого вида выучивались стойко повторять один из двух типов слогов, независимо от того, в каком темпе они были представлены. Таким образом, создается впечатление, что болотные воробьи обращают основное внимание на силлабическую (слоговую) структуру как на нужный им стимул, слабо реагируя на структуру песни в целом.

Певчие воробьи ведут себя иначе. Они в большей степени готовы воспринимать слоги песни болотного воробья, если эти слоги представлены в таких песенных моделях, которые имеют сложно построенную музыкальную фразу (хотя они отвергают слоги песни болотного воробья, когда те исполняются в постоянном темпе). Два других фактора, силлабический тип и синтаксическая структура, оказывают, по всей видимости, аддитивное действие.

Эти опыты показывают, что хотя певчий и болотный воробьи относятся к близкородственным видам, врожденные механизмы, контролируемые научение, у обоих видов различны. Нет никакого сомнения, что упоминавшаяся выше беловенечная зонотрихия по-своему отличается от обоих этих видов.

Овладение речью у людей

Разучивание песен у птиц имеет ряд параллелей с овладением речью у людей. У болотных воробьев выучивание песен включает врожденное узнавание некоторых элементов свойственных виду слогов. В настоящее время имеется много данных о том, что детям свойственно врожденное узнавание большинства или даже всех из более чем двух десятков согласных звуков, характерных для человеческой речи, включая звуки, не представленные в том языке, который они слышат в норме (см. статью: Питер Д. Эймас. Восприятие речи в младенческом возрасте, «В мире науки», 1985, № 3.) Врожденная способность идентифицировать знаковые стимулы согласных звуков дает ряд преимуществ: она позволяет ребенку не обращать внимания на мир, полный ненужных ему слуховых раздражителей, чтобы сосредоточиться на звуках речи; она ставит ребенка на правильный путь постижения того, как декодировать многослойный смысл, вложенный в невероятно сложные и изменяющиеся звуки речи; наконец, она обеспечивает ребенка неким внутренним стандартом, который он использует при усвоении и воспроизводстве речевых звуков.

Другой аспект овладения речью у людей сходен с фазой предпесни — периодом, в течение которого певчие птицы начинают пытаться воспроизводить звуки. Эта фаза начинается буквально по расписанию, даже если птица была оглушена (хотя такие птицы ничего не получают от своего вокального экспериментирования). У детей также есть подобная фаза — фаза лепетания (*babbling*), в течение которой у них развивается (через процесс проб и ошибок) способность воспроизводить ряд согласных, обнаруженных ими в их собственном языке. Как и предпесня у птиц, лепетание у младенцев начинается и заканчивается по определенной схеме даже у глухих детей.

У птиц имеется некая врожденная структура, что-то вроде модели или стандарта, которая обуславливает правила воспроизведения слогов в песне. По самым разным меркам есть серьезные основания полагать, что ритмы, с помощью которых слова и предложения складываются в речь, и набор правил, именуемых грамматикой (в частности, разделение слов на такие категории как существительные, глаголы, прилагательные и наречия), также являются врожденными на каком-то глубоком уровне. Эта

идея, которую наиболее убедительно защищает Н. Хомский из Массачусетского технологического института, помогает объяснить, почему овладение речью протекает намного легче по сравнению с такими существенно более простыми задачами, как сложение и вычитание.

Усложненная форма научения

Хотя в большинстве случаев научение у животных (и, возможно, причем чаще, чем предполагается, научение у людей) управляется врожденными механизмами, в большей своей части поведение людей нельзя, конечно же, объяснить столь просто. Например, представление о некоем решении проблемы до ее физического исследования как тип поведения находится за пределами двух традиционных форм научения, изначально исследовавшихся бихевиористами. Этот способ познавательного научения, называемого мысленными пробами и ошибками, подходит значительно ближе, чем программное обучение, к интуитивному разуму, т. е. тому, что мы называем умом. Для такого научения необходимо обладать способностью помнить и комбинировать отдельные биты усвоенной информации и на основе этой мысленной рекомбинации формулировать новые поведенческие решения.

Первое свидетельство того, что животные обладают такой способностью, появилось в 1948 г. в результате серии экспериментов Э. Толмана из Калифорнийского университета в Беркли. В одном из экспериментов Толман давал крысам возможность обследовать лабиринт, который имел два альтернативных конечных пункта — белый ящик и черный ящик, оба с пищей. Крысы научились находить пути к обоим ящикам и выбирали их с одинаковой частотой. Затем Толман поместил крыс в другую комнату, где черный и белый ящики были поставлены бок о бок друг к другу; крысы, входившие в черный ящик, подвергались шоку. Когда на следующий день крысы возвращали в лабиринт, они заходили только в белый ящик. Толман сделал вывод, что они скомбинировали информацию из двух абсолютно разных экспериментов, обобщив сведения о черных ящиках и помня, что один из путей ведет к черному ящику. Толман также обнаружил, что крысы обладают способностью создавать мысленные карты знакомых участков и на основе этих карт намечать новые пути. Результаты Толмана были впоследствии подтверждены и проверены Д. Олтоном из Университета

Джонса Гопкинса (см. D. Olton, *Spatial Memory*, "Scientific American", June 1977).

Способность создавать карты, безусловно, не ограничивается крысами и людьми. Э. Менцель из Университета шт. Нью-Йорк в Стони-Брук установил такую же способность у шимпанзе, содержащихся в неволе; Дж. Кребс из Оксфордского университета и С. Шеттлзуэрт из Торонтского университета показали, что птицы, делающие запасы семян, могут обладать способностью создавать мысленные карты, на которых отмечено расположение сотен запрятанных семян (см. статью: С. Шеттлзуэрт. Память у птиц, запасующих корм, «В мире науки», 1983, № 5).

Мысленные карты и категории

Пытаясь установить, насколько широко распространена эта усложненная форма познавательной способности среди животных, один из авторов (Гулд) исследовал медоносных пчел, чтобы выяснить, существуют ли у них мысленные карты. Когда пчелы следуют по известному им маршруту, они полагаются на четкие ориентиры. Обычное объяснение того, как пчелы пользуются ориентирами, состоит в том, что они запоминают набор ориентиров по пути их следования к любой цели, т. е. эти ориентиры выполняют для пчел функцию хлебных крошек, которыми Ганс и Гретель из известной сказки братьев Grimm отмечали свой путь. В этом случае, однако, пчелы не имели бы представления о том, как один набор ориентиров, ведущий к одной цели, пространственно связан с ориентирами, ведущими к какой-либо другой цели.

Мы попытались выяснить, действительно ли пчелы определяют свой маршрут именно таким образом или они помечают эти ориентиры на мысленной карте своего местообитания. Мы приучили пчел к питанию на одном участке, а затем в последующие дни отлавливали их, когда они летели из улья на этот участок, и переносили их (в темноте) в другое место.

Мы думали, что, будучи выпущены в новом месте, пчелы смогут использовать одну из нескольких возможных тактик. Пчелы могли быть дезориентированы и разлетаться случайным образом. Они могли бы не понять, что оказались в другом месте, и полететь в том же направлении, имея в виду, что они следуют нормальным маршрутом от улья к месту кормежки. Если пчелы находят маршрут только с помощью определенных на-

боров ориентиров, они могли бы воспринять ориентиры, обнаруживаемые в новом месте, как часть какого-то маршрута, отличного от того, на котором они были пойманы; в таком случае они возвратились бы по этому маршруту назад к улью и оттуда полетели бы к месту кормежки. Наконец, если пчелы действительно обладают мысленными картами, они должны были бы определить, где они находятся по отношению к месту кормежки, и выбрать соответствующее направление, чтобы достичь места кормежки, даже если они никогда раньше не летали таким окольным маршрутом.

Наши наблюдения показали, что в подавляющем большинстве случаев пчелы действовали в соответствии с последней из представленных альтернатив: если место, куда они были перенесены, находилось в пределах их родного участка (размером около 4 км² вокруг улья), они летели прямо к месту кормежки. Можно предполагать поэтому, что у пчел создание мысленных карт представляет собой врожденный элемент процесса запоминания маршрута полета.

Процесс научения требует еще одного качества — способности к формированию абстрактных понятий и категорий. Обнаружены ли подобные способности у животных? Одно из предположений на этот счет исходит из работы Р. Гернстейна из Гарвардского университета. Он показывал тысячи слайдов голубям, выросшим в лабораторных условиях, и поощрял их, когда они клевали слайды, на которых был изображен какой-нибудь предмет, например дерево определенного вида. Эти птицы, конечно, никогда не видели настоящего дерева. Птицы научились выполнять такое задание удивительно быстро, что говорит о наличии у них сильной врожденной предрасположенности к формированию обобщенных концептуальных категорий. Когда им показывали слайды с другими видами деревьев, птицы уверенно клевали их все, причем они клевали даже те слайды, о которых экспериментаторы вначале думали, что на них нет деревьев. Случайные ошибки птиц были также показательны — они иногда принимали за деревья телефонные столбы и телевизионные антенны.

Специалистам, изучающим овладение навыками человеческой речи, давно известно, что дети автоматически формируют концептуальные категории для новых выученных ими слов. Стулья, столы и лампы организуются в категорию «мебель», а категория «стулья» делится на подчиненные категории, например кресла-

качалки и просто кресла. Подобная категоризация очень существенна для быстрого усвоения слов, и словарное хранилище в мозге, возможно, организовано по типу категоризованной картотечной системы. Последствия слабых инсультов, которые могут убить небольшие области мозга, отражают, по-видимому, наличие такой системы: их жертвы иногда теряют целую категорию слов, например, названия цветков.

Есть основания предполагать, что склонность к категоризации является врожденной, по крайней мере, у некоторых видов животных. Возможно, именно способность создавать категории и пользоваться ими лежит в основе способности животных к мысленным пробам и ошибкам — к оценке альтернативных вариантов в выработке простых решений.

Новый синтез

Новые представления о научении у животных разительным образом отличаются от тех, которые существовали на заре бихевиоризма, когда считалось, что научение животных ограничено выработкой классического и оперантного условных рефлексов и что приобретение любых ассоциативных связей и форм поведения обуслов-

лено этими процессами. Сейчас мы понимаем, что чаще всего научение, даже если оно основано на условных рефлексах, сводится к выполнению тех задач, с которыми животное, вероятнее всего, столкнется. Животные обладают врожденными механизмами распознавать, когда нужно заучивать нечто, на какие сигналы следует обратить внимание, как сохранить новую информацию и как пользоваться ею в будущем. Даже способность к категоризованию и осуществлению мысленных проб и ошибок, доступная, очевидно, и высшим беспозвоночным, возможно, базируется на врожденных навыках к управлению и специализации, той специализации, которая позволяет гайчке с ее крошечным мозгом запоминать местонахождение сотен спрятанных семян,

тогда как люди забывают даже о десяти спрятанных вещах.

Такая точка зрения позволяет видеть, что различные животные «разумны» там, где этому благоприятствует естественный отбор и «глупы» там, где их образ жизни не создает нужды в приобретении новых навыков. Человек сходным образом умнее там, где это имеет адаптивное значение, и странным образом бывает глуп в других ситуациях. Идея о том, что научение у людей развивалось на основе всего нескольких процессов, удовлетворяющих их видоспецифические потребности (это хорошо проиллюстрировано на других животных), открывает новую страницу в изучении поведения животных и создает новые перспективы для понимания происхождения человека.

Наука и общество

Как хранить архивные документы?

В ФОНДАХ Национального архивного управления США, состоящего из 13 рассредоточенных по всей стране отделений, насчитывается более 3 млрд. документов — от «Декларации независимости» до регистра-

ционных книг с записями о продаже рабов. Как же лучше сохранить эти документы, а точнее, содержащуюся в них информацию?

Два года назад архивы, обеспокоенные тем, что свыше 500 млн. документов приходит в ветхость, обратились в Национальный совет по научным исследованиям с просьбой изучить сложившуюся ситуацию. Совет

Издательство
МИР
предлагает:

М. Годен
**ВОЛНОВАЯ
ФУНКЦИЯ БЕТЕ**

Перевод с французского
Монография французского математика посвящена методу точного решения обширного класса моделей квантовой механики и статистической физики. Обсуждаются связи с квантовым методом обратной задачи, приводятся недавно полученные результаты.

Для специалистов по алгебрам и группам Ли, теории представлений, функциональному анализу.

1987, 20 л. Цена 2 р. 60 к.



ДОКУМЕНТ О ПЕНСИОННОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ВДОВЫ МОРСКОГО ОФИЦЕРА — один из многих видов часто запрашиваемых документов, которые Национальное архивное управление США надеется спасти от дальнейшего разрушения путем копирования на оптические диски.

созвал комитет по сохранности исторических документов, в состав которых входят специалисты по записи и долговременному хранению информации на различных носителях — бумаге, пленке и электронных элементах памяти. Специалисты в области электроники — сотрудники исследовательской лаборатории фирмы IBM в Сан-Хосе, исследовательского центра магнитной записи при Калифорнийском университете в Сан-Диего и управления национальной безопасности США, чье хранилище спецдокументов в Форт-Миде (шт. Мэриленд) представляет собой самый большой и оснащенный самой передовой техникой банк данных.

Рекомендации комитета, изложенные в изданном недавно отчете на 108 страницах под названием «Сохранение документов», тем не менее не предусматривают широкое применение современных технических средств. Они сводятся к тому, чтобы правительственные учреждения использовали бумаги более высокого качества, а также к проведению исследований с целью разработки наилучшего метода контроля и поддержания оптимального микроклимата внутри шкафа, в котором хранятся документы. Если документам угрожает разрушение, говорится в отчете, с них следует сделать фотокопию или перенести на микрофишу. В отчете не рекомендуется использовать такие современные методы хранения, как запись на оптические диски и магнитную ленту, которые «в настоящее время являются неподходящими» для этих целей.

Хотя, как заявляет Ф. Бурке, администратор Национального архивного управления, отчет в целом его удовлетворяет, он «слегка разочарован» резко негативным отношением комитета к электронным средствам хранения информации. Недавно, указывает Бурке, архивы приступили к выполнению рассчитанного на два года опытного проекта стоимостью 1 млн. долл., предусматривающего копирование на оптические диски 1,5 млн. страниц документов XIX в. о назначении пенсий военнослужащим и членам их семей (одного из самых многочисленных и часто запрашиваемых видов документов). По словам Бурке, специалисты, изучающие эти документы, смогут затем «вызывать» их содержание на экран дисплея и с помощью лазерного принтера получать копии на бумаге.

Председатель комитета по сохранности документов П. Аделстейн, который недавно работал в отделении фирмы Eastman Kodak Company, занимающимся исследованиями и раз-

работкой новых материалов, сказал, что он ничего не слышал об упомянутом проекте. Он признает, что «для быстрого доступа» к относительно небольшому числу часто используемых документов поисковая система, работающая с оптическими дисками, была бы незаменимым средством. В то же время он отмечает, что еще требует определить долговечность таких дисков (по самым оптимистичным оценкам она составляет 20 лет); кроме того, техника записи информации развивается столь быстро, что выпускаемые сегодня системы вскоре окажутся устаревшими. Другой недостаток оптических дисков, как указывает Аделстейн, заключается в том, что их можно использовать только при наличии соответствующего оборудования и программного обеспечения.

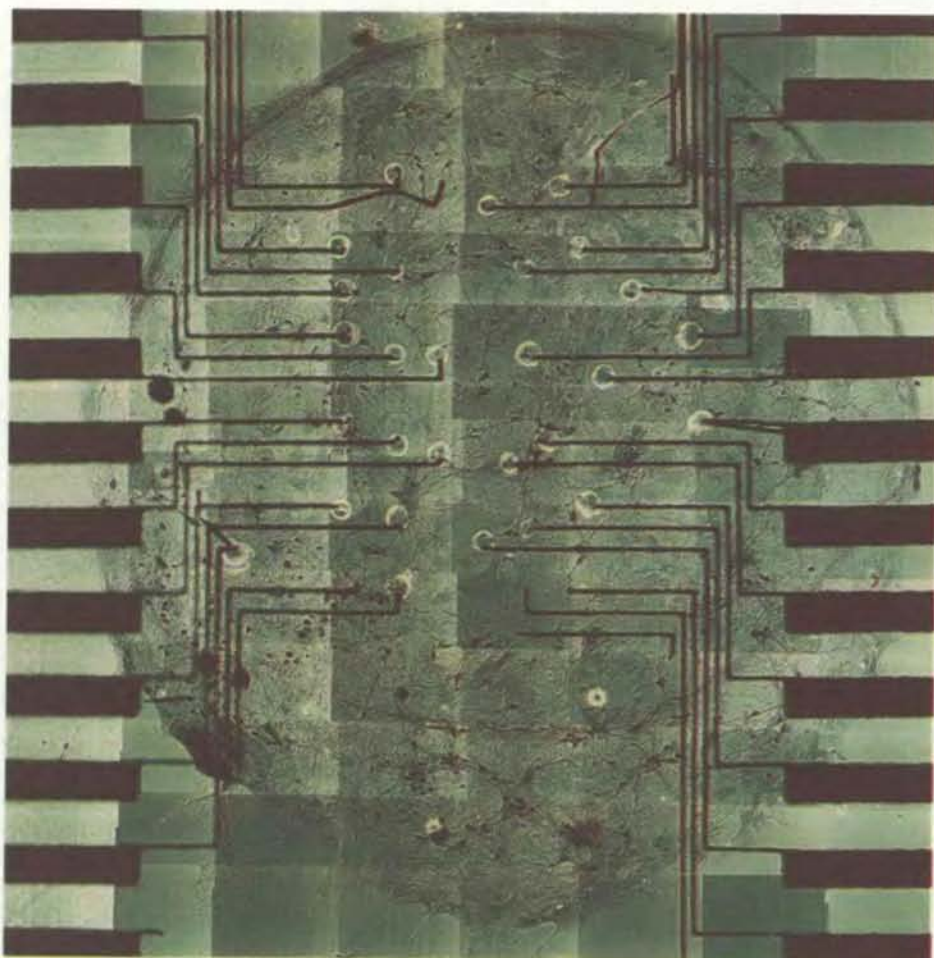
Предпочтение надежной сохранности перед легкостью доступа оправданно, пожалуй, в том случае, когда речь идет об архивном файле, к которому обращаются не чаще одного раза в 100 лет. По мнению Бурке, однако, более доступную систему можно было бы использовать и не в столь редких случаях. Архивы при более

глубоком их изучении могут быть источниками исключительно важной информации.

Привязанные сети

НЕЙРОБИОЛОГИ, стремящиеся исследовать передачу нервных импульсов в сетях нейронов (нервных клеток), сталкиваются с такой же проблемой, как физики, изучающие материю на квантовом уровне: при попытке исследовать явление оно искажается. Но в отличие от физиков, для которых подобные затруднения — одно из «условий игры», предлагаемых природой, нейробиологи в своей области, пожалуй, нашли решение этой проблемы.

Сотрудники фирмы AT & Bell Laboratories в Мюррей-Хилле (шт. Нью-Джерси), Калифорнийского технологического института и Университета Северного Техаса разработали метод выращивания культур нервных клеток на матрицах микроэлектродов. При помощи этих пластин, которые делают так же, как те, что ис-



НЕРВНЫЕ КЛЕТКИ, растущие в один слой на микроэлектродной пластине, ширина которой 1,8 мм.

пользуются для производства полупроводниковых микросхем, можно и стимулировать электрическую активность в растущих на них клетках, и регистрировать ее.

Исследователи из Университета Северного Техаса сообщили в «Journal of Neuroscience» о первых результатах длительного эксперимента, в котором велось наблюдение за 300—400 нейронами спинного мозга эмбриона мыши, растущими на микроэлектродной пластине с 36 контактами. В образовавшейся нейронной сети были зарегистрированы электрические импульсы, причем часто они носили ритмический характер. Г. Гросс, руководящий этой работой, полагает, что ритмическая активность отражает фундаментальное явление межклеточного узнавания и коммуникации; правда, он не исключает возможность того, что наблюдающаяся картина свойственна нервным клеткам в культуре, но не имеет места в живом организме. Как надеются Гросс и его коллеги, их исследование должно продвинуться в результате усовершенствования нового метода. Недавно они попытались использовать микроэлектродные пластины с прозрачными контактами вместо обычных непрозрачных золотых. Такие контакты позволяют делать пластины, которые будут прозрачными даже при плотности размещения электродов до 400 на 1 мм². В группе Гросса работают также над методами кондиционирования культуры нервных клеток (т. е. управления ею). Для этого применяются электрическая стимуляция, химическое воздействие на процесс передачи нервных импульсов и лазерное излучение. Как рассчитывает Гросс, если добиться того, чтобы при помощи лазерного луча, на время, скажем на 5 мин, лишать нейроны способности к генерации импульсов, можно будет пронаблюдать, как действует упрощенная нейронная сеть, ничего не теряя при этом в ее схеме.

Ф. Нельсон, возглавляющий лабораторию биологии развития нервной системы в Национальном институте здоровья и развития детей, считает, что собственно данные, полученные на сегодняшний день Гроссом и сотрудниками, не так важны, как разработанный ими метод, который позволяет изучать нервные клетки в культуре. Вооруженные таким методом, исследователи, вероятно, скоро выяснят, каким образом в нейронных сетях хранится и обрабатывается информация. Эти вопросы представляют интерес не только для нейробиологов, но и для специалистов многих других областей знаний. Так, органи-

зованный Гроссом симпозиум, который состоялся в октябре 1986 г., привлек, в частности, специалистов по параллельной обработке информации и протезированию.

Как вымерли динозавры

НА СЕГОДНЯШНИЙ день вымирание динозавров почти единодушно связывается специалистами с падением на Землю какого-то крупного космического тела, одним из результатов чего могло быть резкое изменение условий, сходное с тем, что предсказывает модель ядерной зимы. И все же, не отрицая значения такой катастрофы, некоторые палеонтологи продолжают считать, что закат динозавров начался задолго до этого события, произошедшего примерно 65 млн. лет назад и ознаменовавшего конец мелового периода. Судя по новым данным, динозавры, возможно, ее даже пережили.

Р. Слон из Миннесотского университета, Дж. Ригби-младший из Университета Нотр-Дам, Л. Ван-Вален из Чикагского университета и Д. Гэбриэл из Милуокского государственного музея в статье, опубликованной в журнале «Science», приводят данные, говорящие в пользу гипотезы постепенного вымирания. В их работе основное внимание уделено богатой ископаемыми остатками формации Хелл-Крик — слоям осадочных пород в шт. Монтана, которые накапливались в течение последних 2 млн. лет мелового периода, когда эта область представляла собой заболоченную дельту.

Р. Слон и его коллеги сравнивали видовое разнообразие динозавров, оцененное по остаткам, найденным в Хелл-Крик, с результатами исследования других местонахождений в шт. Вайоминг (США) и пров. Альберта (Канада). Совокупная палеонтологическая летопись свидетельствует, что за последние 8 млн. лет мелового периода число родов динозавров в этих районах сократилось с 30 до 12. В Хелл-Крик число экземпляров динозавров, обнаруживаемое на 1 км² вскрытого слоя, резко падает в самых поздних меловых отложениях.

Эти данные не согласуются с утверждениями некоторых других специалистов. Например, по мнению Д. Рассела из Канадского национального музея естественных наук, нет явных доказательств того, что число видов динозавров сокращалось до тех пор, пока они не исчезли в конце мелового периода (который в Хелл-Крик и

других местах отмечен тонким слоем, богатым редким элементом иридием, оставшимся, как полагают, после падения космического тела). Рассел уверен, что все говорит в пользу катастрофического вымирания, и скептически относится к описанным выше результатам. Он отмечает, что в Хелл-Крик большинство ископаемых фрагментарно, так что по ним трудно судить о видовом разнообразии; кроме того, эти слои подвергались эрозии и переотложению, в связи с чем не исключено, что ошибочна их датировка.

Новый спор разгорелся по поводу еще одной находки Р. Слона и его сотрудников. В Хелл-Крик в осадочных породах, залегающих над иридиевым слоем, они обнаружили зубы 7 видов динозавров вместе с остатками млекопитающих и растений, характерных для палеоцена — первой эпохи палеогенового периода, следующего за меловым. Сами исследователи считают, что эти слои откладывались в течение 40 тыс. лет после окончания мелового периода и падения гипотетического космического тела. Другие же специалисты допускают возможность того, что остатки динозавров подверглись эрозии и переотложению из меловых слоев и в результате оказались вместе с более молодыми остатками растений и млекопитающих в слоях, сформировавшихся гораздо позже того времени, когда сами динозавры вымерли. «Если это так, — возражают Р. Слон и его коллеги, — следовало бы ожидать сильной поврежденности зубов и присутствия вперемешку с ними других аномально древних для этих горизонтов ископаемых, встречающихся в меловых слоях чаще, чем зубы динозавров. Ни того, ни другого не обнаружено».

В пользу того, что динозавры пережили космическую катастрофу, свидетельствуют, по-видимому, находки в южном Китае. Изучение ископаемых из этой области, проведенное в сотрудничестве с Х. Эрбеном из Боннского университета, а также с Тин Су Ином и Чжао Цзы Куэем из Пекинского института палеонтологии позвоночных и палеоантропологии, дало Р. Слону возможность объявить на заседании Общества палеонтологии позвоночных о втором открытии послемеловых динозавров.

В южном Китае самые верхние слои, где обнаружены следы, зубы и скорлупа яиц динозавров, залегают непосредственно под слоями, содержащими остатки млекопитающих, которые, как принято считать, проникли в Китай из Северной Америки, где они возникли через 1 млн. или более лет после окончания мелового периода. То есть слои с остатка-

ми млекопитающих должны были сформироваться не раньше этого времени, а слой с остатками динозавров — чуть раньше. Следовательно, вполне возможно, что последние динозавры вымерли в южном Китае даже позже, чем в Монтане.

Что было причиной вымирания динозавров? Как в Монтане, так и в южном Китае оно, видимо, совпало с увеличением разнообразия млекопитающих. В то время как число родов динозавров в Хелл-Крик сократилось с 12 в поздне меловое время до 7 в раннем палеоцене, число видов ископаемых Ungulata — предков нынешних копытных — возросло с 1 до 8. Как считают Р. Слон и его коллеги, обе тенденции отражают климатические и экологические изменения. Ископаемые листья и пыльца свидетельствуют о том, что в конце мелового периода произошло похолодание. Геологические данные говорят о понижении уровня моря, которое, должно быть, усилило сезонные колебания температуры в континентальных областях. Вымирание динозавров лучше всего рассматривать, полагают эти исследователи, как процесс постепенной экологической сукцессии: по мере того как климат становился все более суровым, тропические и субтропические экосистемы, в фауне которых динозавры доминировали, уступали место экосистемам, типичным для умеренного климата с характерными для них млекопитающими.

Озон

ЗА ПОСЛЕДНЕЕ время было проведены две серии наблюдений слоя атмосферного озона, который защищает биосферу от губительного солнечного ультрафиолета. Предварительные результаты наблюдений, сделанных со спутника, подтверждают мнение о том, что слой озона постепенно разрушается. Как показывают данные измерений, по сравнению с 1979 г. концентрация озона снизилась на несколько процентов, а на средних широтах Южного полушария — на 18%. Вторая серия наблюдений, охвативших примерно тот же период и проводившихся над Антарктикой, позволила зарегистрировать более существенное ежегодное (в сентябре — октябре) снижение концентрации озона (это явление получило название «озонная дыра»). Хотя в летние месяцы эта дыра заполняется, с каждым годом она становится все глубже: средняя концентрация озона над Антарктикой в октябре 1985 г. была на 40% меньше, чем в октябре 1979 г. Судя по опубликованным недавно науч-

ным статьям, включая специальный выпуск журнала «Geophysical Research Letters», не существует единого мнения о причине наблюдаемого над Антарктикой снижения концентрации озона. Нет среди ученых и согласия относительно того, как антарктическая озонная дыра связана с общим снижением содержания озона в атмосфере.

Некоторые ученые считают, что наличие озонной дыры свидетельствует о надвигающейся глобальной катастрофе — разрушении озонного слоя, вызываемом присутствием в атмосфере продуктов человеческой деятельности — хлорфторуглеродов. Когда эти соединения распадаются в стратосфере под действием солнечного ультрафиолета, высвобождается хлор, который способствует превращению озона (O_3) в молекулярный кислород (O_2). В США в 1978 г. введен запрет на использование хлорфторуглеродов в промышленных аэрозолях, но они все еще используются в стране как хладагенты и входят в состав пенообразующих веществ. В большинстве стран мира хлорфторуглероды продолжают использоваться в аэрозолях. Как следствие концентрация этих веществ в атмосфере постоянно растет, в частности над Антарктикой более чем на 5% в год.

Вторая гипотеза выдвинута Л. Каллисом из Исследовательского центра НАСА в Лэнгли и М. Натараем из фирмы SASC Technologies, Inc. в Хамптоне, шт. Виргиния. Она сводится к тому, что и антарктическая дыра, и глобальное снижение содержания озона вызваны присутствием в атмосфере оксида азота естественного происхождения. Как указывают Каллис и Натараея, уровень оксида азота в нижних слоях стратосферы то повышается, то падает в соответствии с 11-летним циклом солнечной активности. В период максимума солнечной активности (который последний раз пришелся на 1979 г.) большое количество соединений азота, образующихся над стратосферой, выпадает в ее нижние слои благодаря атмосферной циркуляции в Антарктике — движению воздушных масс вокруг Южного полюса во время долгой полярной зимы. Весной под действием солнечного излучения некоторые соединения в результате фотолиза распадаются с образованием NO и NO_2 , вызывающих разрушение озона. Из Антарктики оксид азота распространяется через стратосферу, разрушая атмосферный озон над другими частями земного шара. Хотя эта теория не исключает влияния хлорфторуглеродов, из нее следует, что в основном наблюдаемое разрушение

озонного слоя носит циклический характер и обусловлено естественными причинами.

Существует и такое мнение, что антарктическая озонная дыра и глобальное разрушение озонного слоя — это, в сущности, два совершенно различных явления и что дыра образуется не в результате химических реакций, а благодаря ветрам. В статье, опубликованной в журнале «Geophysical Research Letters», Р. Столарский и М. Шоберл из Годдардовского центра космических исследований НАСА сообщают, что суммарное содержание атмосферного озона в полосе от 44° ю.ш. до Южного полюса сохраняется почти неизменным, несмотря на то что в полярной области каждую весну образуется дыра. Это можно объяснить тем, что восходящие потоки воздуха приносят озон в нижние слои стратосферы, забирая его из полярной области, куда на место этого богатого озоном воздуха с низких широт приходит воздух с небольшим содержанием озона; богатый озоном воздух собирается в виде кольца в субполярной области, где на самом деле обнаружена высокая концентрация озона. С этой точки зрения «углубление» озонной дыры от года к году происходит вследствие постоянного усиления восходящих потоков, хотя причины такого усиления пока не ясны.

Несмотря на то что предварительные результаты недавней экспедиции в Антарктику свидетельствуют как против гипотезы о связи с циклическостью солнечной активности, так и против гипотезы о роли ветра, потребуются, вероятно, еще не один год для того, чтобы установить истинный механизм рассматриваемого явления. Если углубление антарктической озонной дыры будет продолжаться, вину за разрушение озонного слоя придется возложить на хлорфторуглероды; и наоборот, восстановление уровня озона будет свидетельствовать в пользу одной из двух других гипотез. Измерения, проведенные со спутника, указывают, что в 1986 г. дыра была менее выраженной, чем в 1985 г., когда отмечалось самое низкое содержание озона над Антарктикой. Однако еще рано судить о том, является ли это изменение началом восстановления озонного слоя.

Однако обзреватели отмечают, что если хлорфторуглероды действительно вызывают утончение озонного слоя, то со стороны ответственных государственных деятелей, возможно, было бы разумным, не дожидаясь окончательных доказательств, попытаться ограничить выбросы загрязняющих атмосферу веществ.

Энергия, извлекаемая из океана

Разность температур теплой поверхностной и холодной глубинной воды может служить основой для выработки электрической энергии. Такая технология окажется полезной, когда истощатся запасы нефти

ТЕРРИ Р. ПЕННИ, ДЕСИКАН БХАРАТХАН

ОКЕАН — ЭТО самый большой в мире накопитель солнечной энергии. В среднем за день тропические воды с площадью поверхности 60 млн. км² поглощают такое количество солнечной радиации, которое эквивалентно теплосодержанию 250 млрд. баррелей нефти. Даже при теперешнем избытке нефти на рынке проблему превращения части этой энергии в электричество продолжают активно исследовать в нескольких странах. Соответствующая технология называется ОТЕС (от англ. Ocean Thermal Energy Conversion — Переработка тепловой энергии океана. — *Перев.*). Если бы многонациональная сеть установок ОТЕС извлекала хотя бы 0,1% энергии, запасенной в виде тепла в поверхностных тропических зонах, это было бы эквивалентно выработке по меньшей мере 14 млн. МВт электроэнергии, т. е. в 20 с лишним раз больше, чем мощность всей энергосистемы США.

В качестве источника энергии установка ОТЕС использует просто теплую воду. Причем здесь имеются две возможности. Одна состоит в том, что тепло, идущее от воды, заставляет испаряться рабочую жидкость, имеющую низкую точку кипения. Другой метод основан на том, что сама морская вода может вскипать в вакуумной камере (пониженное давление в камере служит причиной понижения точки кипения воды). В обоих случаях образующийся пар вращает турбину, вырабатывающую электрическую энергию. Холодная вода, подкачиваемая с глубин 600—1000 м (конкретная глубина зависит от района), охлаждает пар, который в результате конденсируется; этим завершается рабочий цикл. Если разница температур поверхностной и глубинной вод составляет 20°C, оказывается возможным получать энергию в достаточном количестве. Энергетическая установка может находиться на берегу, на некотором расстоянии от бере-

га в море или на судне, которое меняет свое положение. Электрическую энергию можно передавать в энергосеть или потреблять на месте для производства таких продуктов, как метанол, водород, чистые металлы и аммиак.

Существует два типа установок ОТЕС, которые могут достигнуть приемлемой эффективности в производстве энергии и в конечном счете найти коммерческое применение. Установки одного типа (в которых используется жидкость с низкой точкой кипения) работают на основе замкнутого цикла, установки другого типа (с низким давлением) — на основе открытого цикла. В установках с замкнутым циклом рабочая жидкость остается в системе и претерпевает циклические изменения, подобно хладагенту в холодильнике. В установках с открытым циклом рабочей жидкостью служит постоянно обновляемая морская вода.

УСТАНОВКА с замкнутым циклом требует использования рабочей жидкости с низкой температурой кипения, такой, как аммиак или фреон. Жидкость прокачивается через теплообменник (испаритель), где она испаряется под влиянием тепла поверхностной морской воды, поступающей через отдельную трубу. Пар приводит во вращение турбину, подсоединенную к электрогенератору.

Пар, прошедший через турбину и находящийся при низком давлении, направляется во второй теплообменник (конденсатор), охлаждаемый водой, которая засасывается с глубины по отдельной трубе. Сконденсировавшаяся рабочая жидкость перекачивается обратно в испаритель, и рабочий цикл возобновляется.

В установке с открытым циклом рабочей жидкостью служит теплая морская вода. В вакуумной камере она интенсивно кипит, образуя пар низкой плотности. Этот процесс

можно сравнить с закипанием воды при пониженной температуре на большой высоте. Вакуумная камера позволяет установке работать при давлениях, которые соответствуют высотам от 27 до 30 км над уровнем моря. Работа при таких низких давле-



КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА на основе установки для преобразования тепла в электрическую энергию океана (ОТЕС). От электростанции в море отходят три большие трубы: через одну забирается теплая поверхностная во-

ниях создает специфические проблемы, одна из которых связана с выделением растворенных газов из морской воды. Поскольку газы не конденсируются, они мешают нормальной работе установки и должны постоянно удаляться.

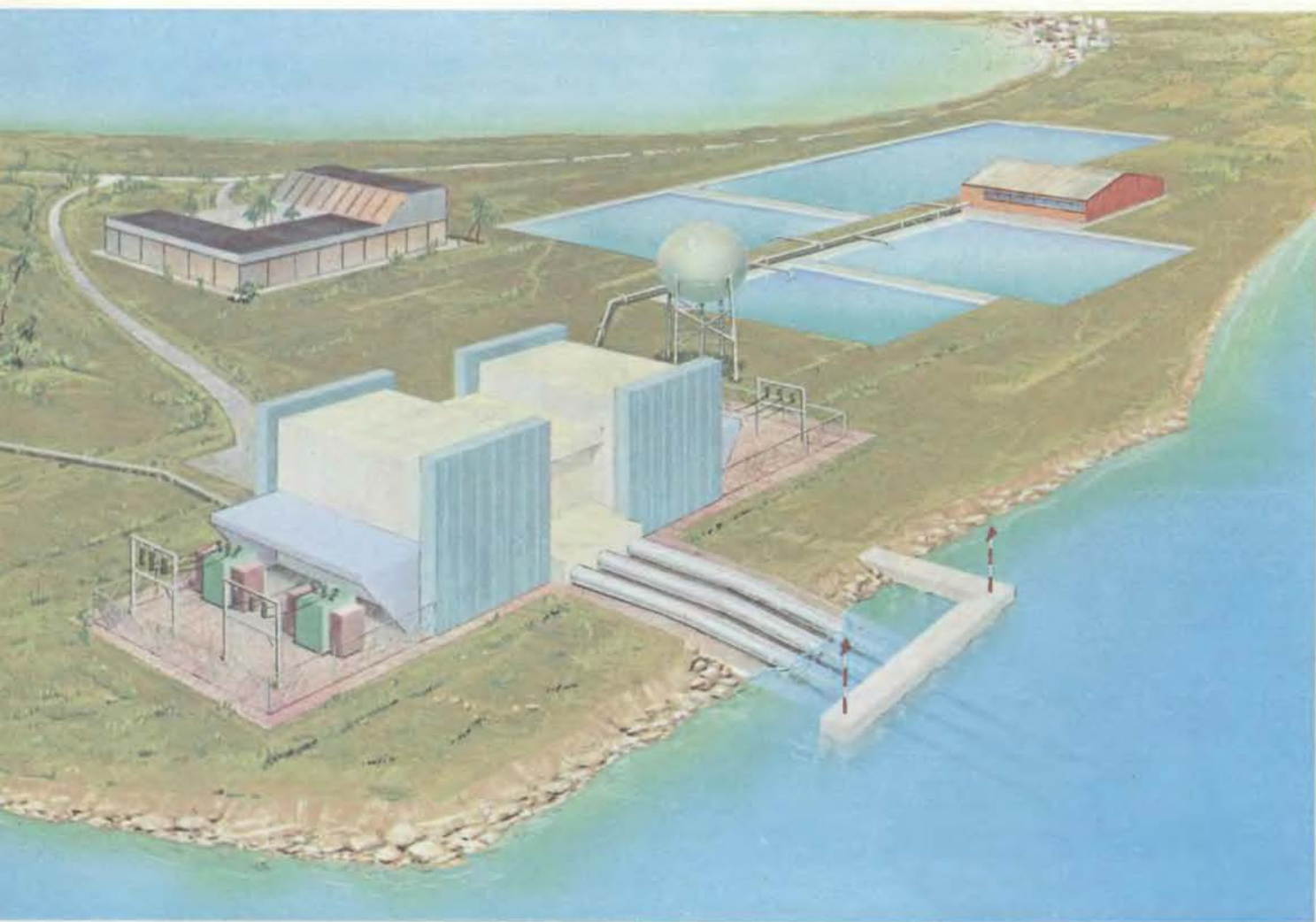
На такой установке в пар превращается менее 0,5% поступающей теплой воды. Отсюда следует, что выработка количества пара, достаточного для вращения большой низконапорной турбины (работающей при низком давлении), требует прокачки через установку огромных объемов воды. Для завершения цикла необходима холодная морская вода, которая помогает пару сконденсироваться. Конденсация может осуществляться непосредственно — благодаря смешиванию холодной морской воды с паром или косвенным образом — в поверхностном конденсаторе. Во втором случае пар и охлаждающая жидкость (холодная морская вода) отделены

друг от друга стенками; тепло должно передаваться через эти стенки, которые следует делать из металла, обладающего наилучшими теплопроводящими свойствами. При таких условиях конденсирующийся пар не содержит примесей, присутствующих в морской воде, что позволяет получать такой ценный продукт, как пресная вода.

ИДЕЯ ПЕРЕРАБОТКИ тепла океана была высказана более века назад французским инженером Ж. д'Арсонвалем. Он предсказал осуществимость системы с замкнутым циклом, но так и не подтвердил на практике это предсказание. Начиная с 1926 г. его друг, а прежде студент Ж. Клод, уже получивший известность благодаря изобретению неоновых реклам, был одержим идеей, которая не оставляла его на протяжении всей жизни: сделать установку ОТЕС реальностью. Он сконструировал уста-

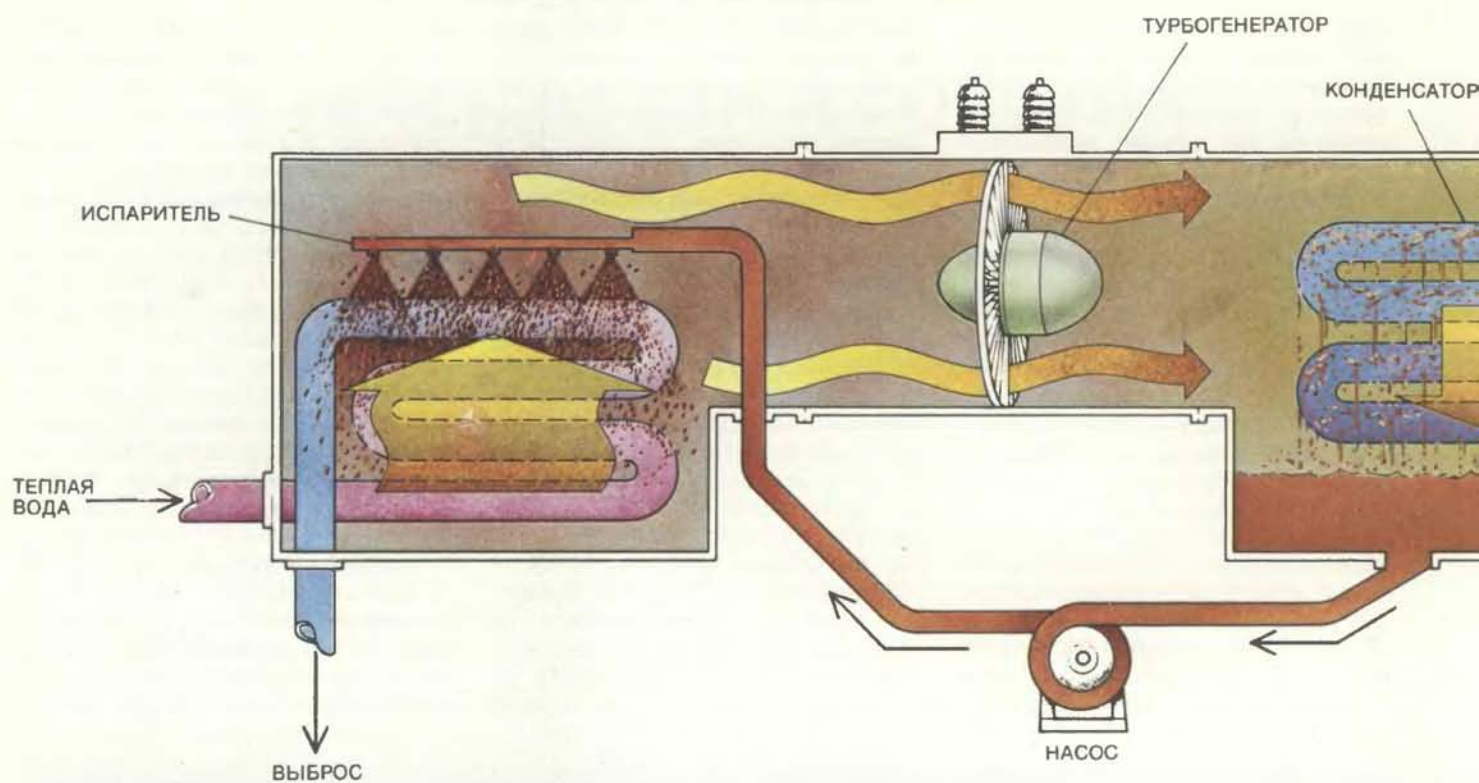
новку с открытым циклом и в 1930 г. испытал ее в заливе Матансас на севере Кубы. Установка вырабатывала 22 кВт электроэнергии, но потребляла больше, чем производила. Если бы Клод прокачивал холодную воду через трубу (диаметром 1,6 м и длиной 2 км) с большей скоростью, использовал турбину большего размера и большую разницу температур (24°C), которой можно было бы добиться на южном побережье Кубы в Сантьяго, он бы, возможно, получил полезную мощность около 2 МВт. Однако даже этот эксперимент показал, что холодную воду можно поднимать на поверхность с глубины более 700 м с небольшими потерями на трение в трубе.

Следующей ступенью работ Клода стала постройка плавучей установки с открытым циклом на грузовом пароходе, стоявшем на якоре у берегов Бразилии. Этот эксперимент не удался, так как в самом начале работы



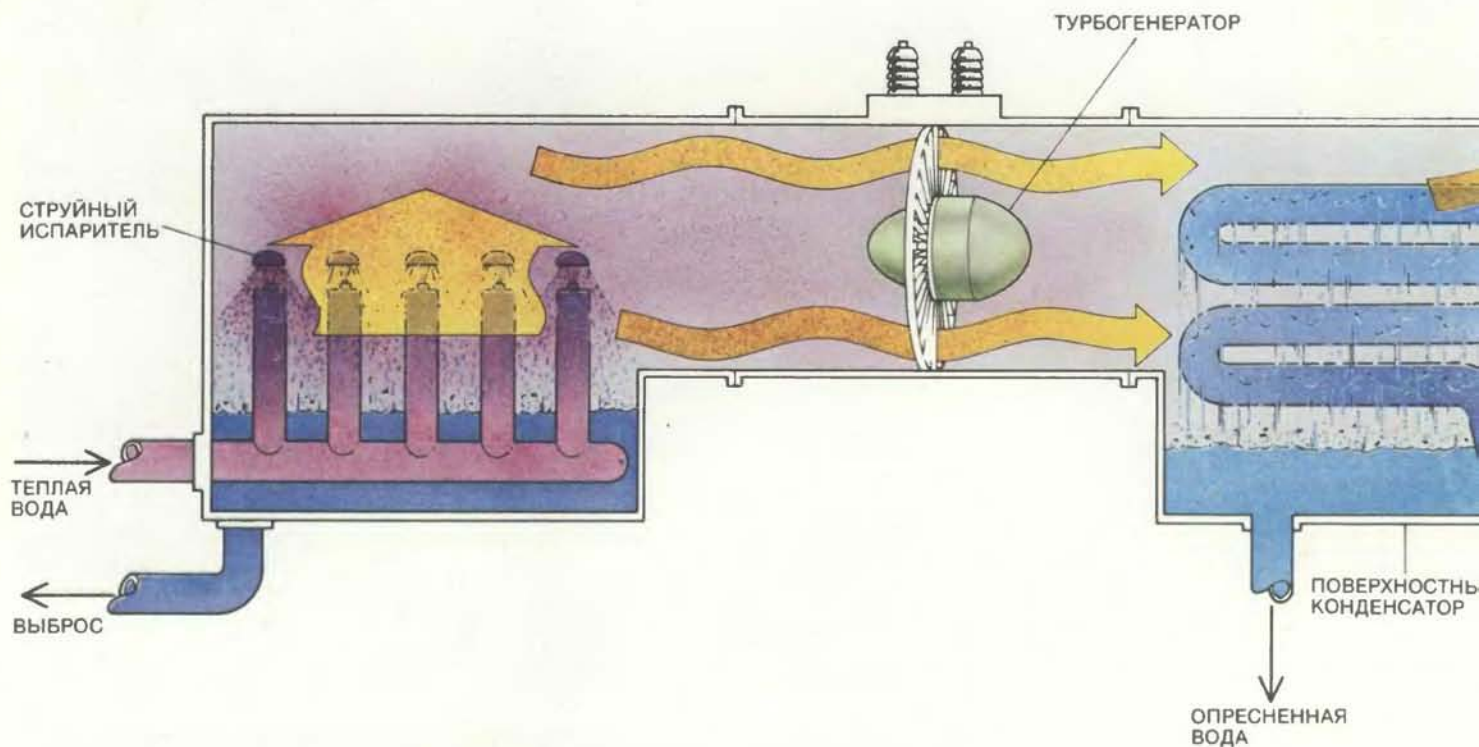
да, через вторую — холодная глубинная вода с температурой по крайней мере на 20°C ниже, через третью производится выброс. Теплая вода используется для создания пара, который приводит во вращение турбогенератор; холодная вода служит для конденсации пара. Сферический бак содержит производимую установкой опресненную воду, а

бассейны, изображенные в правом верхнем углу рисунка предназначены для разведения рыбы в богатой питательными веществами холодной морской воде. Холодная вода, используемая в установке, может также применяться в системах охлаждения и кондиционирования воздуха в близко расположенных зданиях.



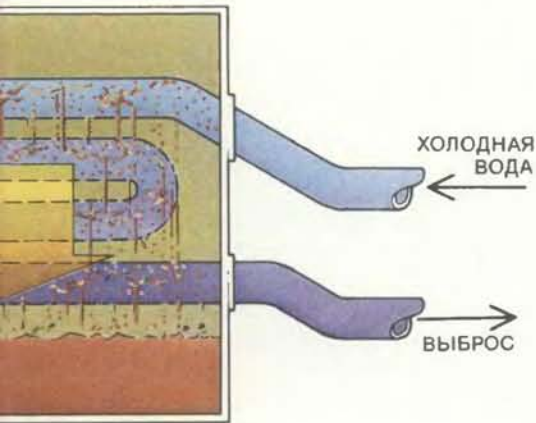
В УСТАНОВКЕ ОТЕС С ЗАМКНУТЫМ ЦИКЛОМ в качестве рабочей жидкости (показана коричневым) используется вещество типа аммиака или фреона с низкой температурой кипения. Жидкость испытывает циклические превращения. Вначале она прокачивается через испаритель, где

испаряется под влиянием тепла, идущего от теплой морской воды. Пар приводит во вращение турбогенератор, затем поступает в конденсатор, который охлаждается с помощью холодной воды, подкачиваемой с большой глубины, и здесь конденсируется. Сконденсировавшаяся жид-

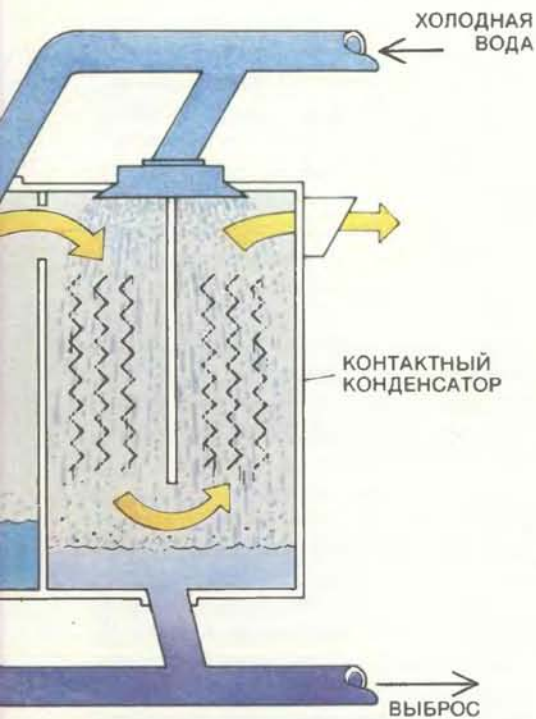


В УСТАНОВКЕ ОТЕС С ОТКРЫТЫМ ЦИКЛОМ в качестве рабочей жидкости используется морская вода. Теплая морская вода превращается в пар в вакуумной камере, где вследствие низкого давления температура кипения пони-

жена. Пар приводит во вращение турбогенератор и затем проходит через два конденсатора. Поверхностный конденсатор может производить опресненную воду. Из контактного конденсатора сконденсировавшаяся вода выбрасы-



кость возвращается в испаритель, и цикл начинается вновь. Морская вода, пройдя через испаритель и конденсатор, выбрасывается в море.



вается в море. Такой рабочий цикл часто именуется «циклом Клода» по имени французского инженера, который впервые предложил применить его.

волны разрушили трубопровод холодной воды. Клод, вложивший свои сбережения в эти проекты, умер почти что банкротом; он так и не достиг своей цели получить полезную мощность на установке с открытым циклом.

Французское правительство, под впечатлением работ Клода в течение нескольких лет продолжало оказывать поддержку работам по исследованию установок с открытым циклом. В 1956 г. группа французских инженеров разработала проект электростанции мощностью 3 МВт; ее предполагалось построить в Абиджане на западном побережье Африки, где можно получить разность температур в 20°C. По многим причинам, включая трудности, связанные с размещением трубопровода холодной воды (диаметром 2,5 м и длиной 4 км), эта электростанция так и не была построена.

Энергетический кризис 1970-х годов побудил США и некоторые другие страны уделить серьезное внимание системам ОТЕС. Администрация шт. Гавайи и компания Lockheed Aircraft при технической помощи со стороны компании Dillingham построили установку «Мини-ОТЕС», позволившую впервые получить выигрыш в энергии. Эта установка с замкнутым циклом размещалась на барже, стоявшей на якоре в двух километрах от мыса Кихоул на острове Гавайи. Электростанция работала в течение четырех месяцев (продолжительность непрерывной работы достигала 10 суток) и вырабатывала мощность 50 кВт, что соответствовало полезной мощности 15 кВт.

В те же годы министерство энергетики США контролировало постройку «ОТЕС-1» — экспериментальной системы, смонтированной на переделанном танкере ВМС США. Система была создана для того, чтобы проверить работу теплообменников, предназначенных для использования в установках с замкнутым циклом, трех трубопроводов холодной воды диаметром 1,2 м каждый и насосов. Опыты дали важные результаты: они продемонстрировали пригодность конструкции теплообменников и доказали, что установка ОТЕС может функционировать, подобно корове, пасущейся на лугу, т.е. передвигаясь с малой скоростью в тропических водах.

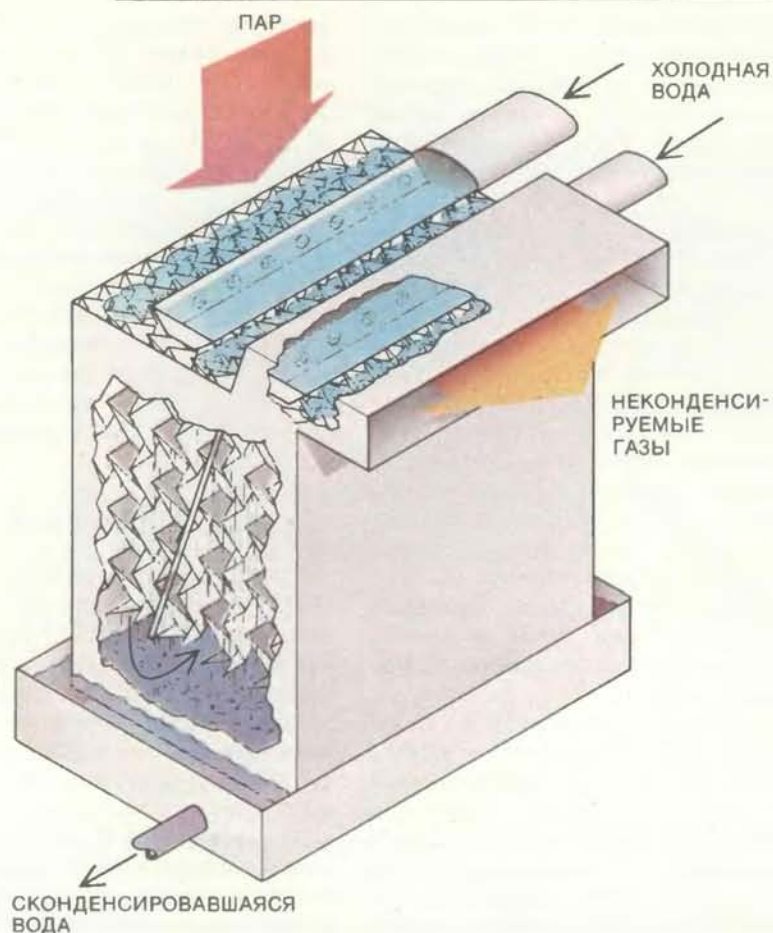
Несколько позднее японские компании Tokyo Electric Power Company и Toshiba Corporation (при содействии японского министерства международной торговли и промышленности, предоставившего 50% средств) построили энергетическую установку с

замкнутым циклом на острове Науру в Тихом океане. В качестве рабочей жидкости использовался фреон. Установка работала с перерывами с октября 1981 по сентябрь 1982 г., вырабатывая мощность 100 кВт (полезная мощность составляла 35 кВт). Перечисленные опытные теплоэнергетические установки были предназначены для проверки систем ОТЕС; их конструкторы не надеялись добиться на них такого соотношения полезной и вырабатываемой мощностей, которое должно быть характерным для коммерческих теплоэнергетических установок ОТЕС.

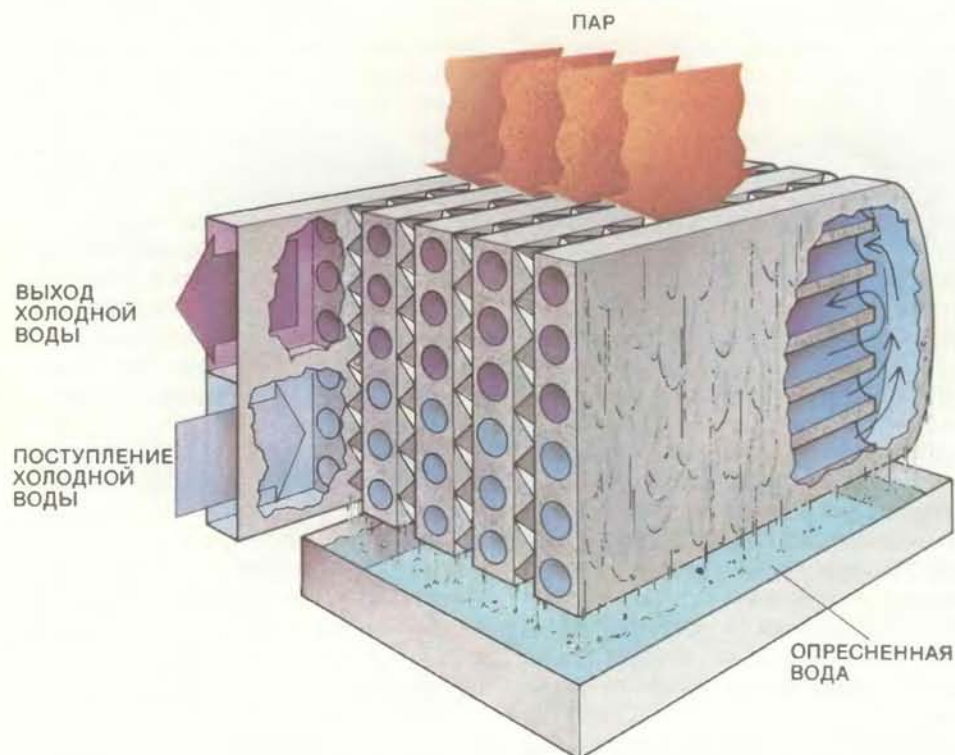
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ установка на острове Науру — это последняя из установок для проверки систем ОТЕС, но работа над созданием компонентов систем ОТЕС продолжается. В США исследования в области разработки установок с замкнутым циклом сосредоточены на усовершенствовании теплообменников, поскольку, согласно оценкам, их стоимость должна составлять 20% стоимости установки с замкнутым циклом. Предпринимаются попытки защитить элементы установки от коррозии, вызываемой морской водой, и обрастания их морскими организмами.

Традиционный теплообменник для системы с замкнутым циклом состоит из труб, находящихся в оболочке. Морская вода течет по трубам, а рабочая жидкость испаряется или конденсируется вокруг них — внутри оболочки. Стремление к повышению производительности установки привело к разработке более совершенной конструкции с ребристыми пластинами, образующими набор параллельных плоскостей. Пластины расположены таким образом, что в одной из них течет морская вода, в соседней — рабочая жидкость, в следующей — опять вода и т. д. Ребра на пластинах способствуют более быстрой передаче тепла.

Первоначально в качестве материала для теплообменников в системах с замкнутым циклом использовался титан благодаря его способности противостоять коррозии. Однако для установок ОТЕС такой материал слишком дорог, поскольку его требуется слишком много. В связи с этим Аргоннская национальная лаборатория остановила недавно свой выбор на сварных теплообменниках из алюминия, типа применяющихся на холодильных установках. Испытания показали, что, если защитить их специальным покрытием, они могут прослужить в агрессивной морской среде 30 лет. Стоимость алюминиевых теп-



КОНТАКТНЫЙ КОНДЕНСАТОР устроен так, что пар и холодная вода непосредственно контактируют друг с другом внутри пористого материала; применение этого материала позволяет увеличить площадь соприкосновения жидкости и пара.



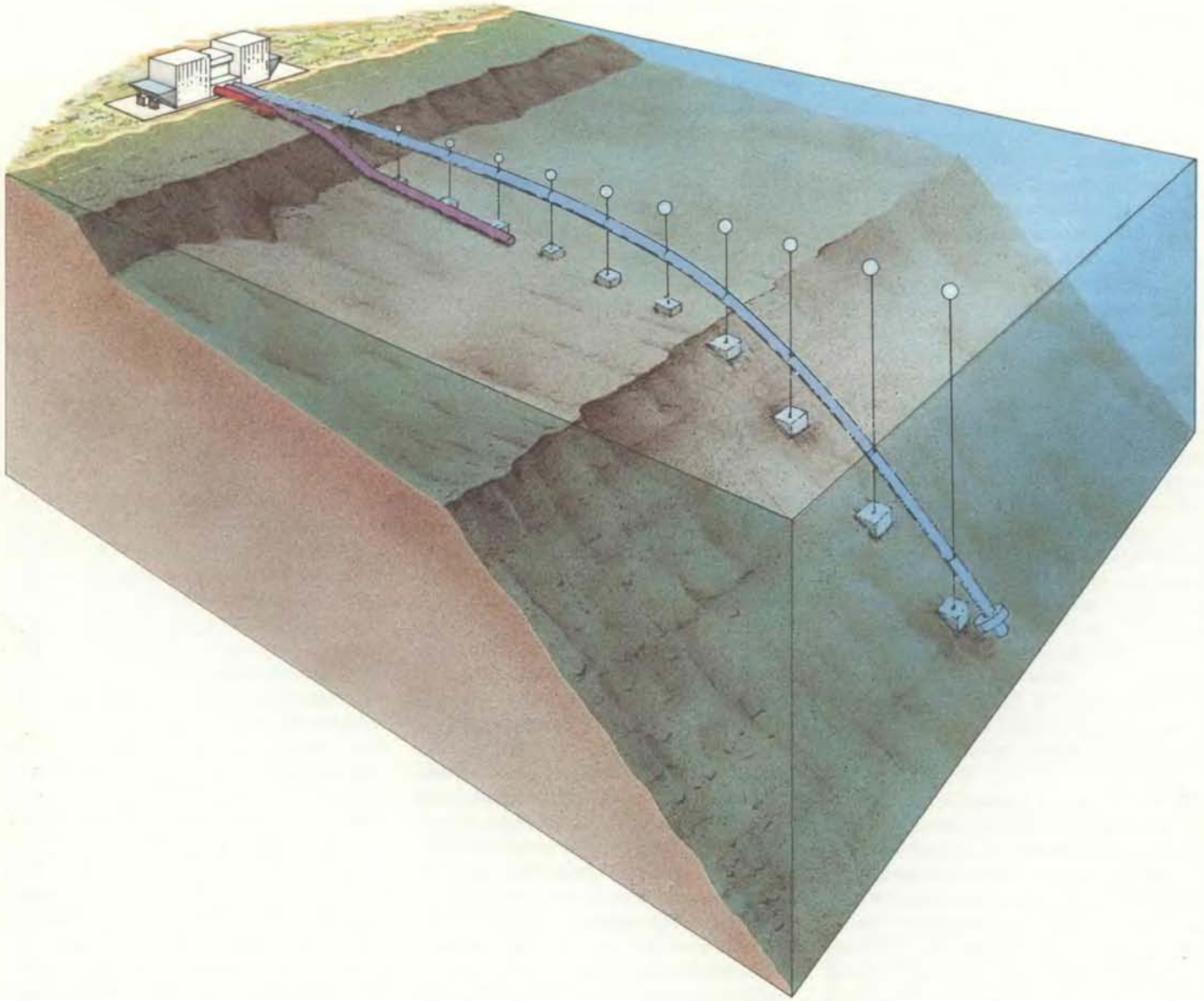
ПОВЕРХНОСТНЫЙ КОНДЕНСАТОР в установке ОТЕС с циклом Клода служит одновременно для производства опресненной воды. Конденсатор состоит из ряда пластин с ребрами. Пластины, по которым протекают соответственно холодная вода и пар, чередуются между собой. Вода, конденсирующаяся на поверхности пластин, оказывается пресной, поскольку свободна от примесей, которые содержатся в морской воде.

лообменников должна составлять одну треть от стоимости теплообменников из титана.

Исследователи из Аргоннской лаборатории обнаружили, что обрастание морскими организмами перестает угрожать тем компонентам установки, которые находятся в контакте лишь с холодной морской водой, т. е. со средой, где химические и биологические процессы протекают довольно медленно. Что же касается теплой воды, то, как показали лабораторные эксперименты, обрастанию можно воспрепятствовать, если время от времени (а в сумме в течение одного часа в сутки) хлорировать воду. Этот уровень хлорирования существенно ниже современных стандартов, принятых Агентством по охране окружающей среды США.

Эти результаты ждут своего приложения в опытной установке с замкнутым циклом. В настоящее время рассматриваются проекты ряда таких установок, включая американскую на Гавайях, французскую на Таити, голландскую на Бали и плавучую английскую установку. Во всех этих случаях проблема состоит в том, чтобы получить финансовые средства. По оценкам, сделанным в США, теплоэнергетическая установка мощностью 50 МВт должна стоить от 200 до 550 млн. долл. в зависимости от места расположения и конкретного набора компонент. Из этого следует, что стоимость установки составит от 4000 до 11 000 долл. за один киловатт, а стоимость энергии для потребителя — от 5 до 14 центов за киловатт-час. (Электростанция, работающая на нефти стоимостью 20 долл. за баррель, производит электроэнергию по цене 5,6 цента за киловатт-час.) Затраты на строительство установок ОТЕС существенно превышают затраты на строительство обычных тепловых электростанций, поэтому при нынешнем состоянии экономики получить деньги для этого мероприятия будет трудно.

ОПРЕДЕЛЕННАЯ поддержка со стороны федеральных служб оказывается и исследованиям систем с открытым циклом, в особенности использующих вакуумную камеру (в этом случае принято говорить о цикле Клода). Хотя системы с открытым циклом не изучались столь детально, они имеют перед последними по крайней мере четыре преимущества. Первое: поскольку рабочей жидкостью служит морская вода, исключается опасность загрязнения морской среды такими токсичными веществами, как аммиак или фреон. Второе: в системе с открытым циклом конструкция теп-



РАСПОЛОЖЕНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ на энергетической установке ОТЕС. Короткая труба предназначена для забора теплой воды. Через более длинную трубу осуществляется выброс. Наиболее длинная труба служит для подкачки

холодной глубинной воды; она проходит через кольца в тросах, которые одним концом закрепляются на дне с помощью якорей, а другим прикрепляются к плавающим на поверхности буям.

лообменников предусматривает прямой контакт рабочей жидкости и охладителя, поэтому они дешевле, чем теплообменники, необходимые для систем с замкнутым циклом. Отсюда следует, что установки с открытым циклом могут более эффективно превращать тепло океана в электричество, а также должны быть и менее дорогостоящими. Третье: контактные теплообменники могут изготавливаться не из металла, а из пластмасс; такие компоненты менее подвержены коррозии и обрастанию морскими организмами в теплой воде. Четвертое: установка с циклом Клода и поверхностным конденсатором может производить в качестве побочного продукта опресненную воду.

В то же время перед разработчиками систем с открытым циклом возникает ряд технологических проблем. Одна состоит в том, что по сравне-

нию с установками с замкнутым циклом приходится использовать гораздо большие турбины, поскольку давление пара здесь существенно ниже. Создание больших низконапорных турбин требует дальнейших научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок. Другая проблема заключается в том, что в системе с открытым циклом должны существовать ровные пути для пара низкого давления, а значит, вакуумная камера должна быть достаточно большой. Третья проблема, которая встанет со временем, заключается в том, что дегазированная вода, выбрасываемая в море из такой установки будет изменять химический состав окружающей воды и отрицательно воздействовать на местную флору и фауну.

В течение последних пяти лет многие исследователи занимались разра-

боткой и усовершенствованием таких важных для установки с циклом Клода компонент, как испарители, конденсаторы и турбины. В результате этих исследований появились, в частности, простой компактный испаритель с вертикальной струей и контактный теплообменник, разработанные в Институте по исследованию солнечной энергии в Голдене, шт. Колорадо, где работают авторы. Оба устройства замечательны тем, что потери пара в них очень малы.

Поскольку в пар превращается лишь 0,5% всего объема поступающей теплой морской воды, установка нуждается в огромных ее количествах (от 2 до 4 м³/с). Необходимость прокачки такого объема воды означает, что потери давления в контуре теплой воды должны быть минимальными; в противном случае упадет полезная мощность.

Для того чтобы уменьшить потери давления, испарители с вертикальной струей имеют относительно простую конструкцию, которая позволяет наиболее легко «извлечь» пар из воды. Скорость передачи тепла в заданном объеме воды у этого испарителя на порядок величины больше, чем у имеющихся на рынке моделей.

Другой отличительной чертой этого устройства, созданной для системы с открытым циклом, является увеличение поверхности, с которой происходит испарение. Взрывное испарение (характерное для открытого цикла с низким давлением) происходит только с поверхности рабочей жидкости, которой служит морская вода. Следовательно, при испарении вода должна разбрызгиваться таким образом, чтобы в результате поверхность имела значительную площадь и постоянно обновлялась. В новом испарителе морская вода эффективно дробится, вытекая струей из вертикальных труб. Образующиеся капли не только сталкиваются друг с другом, что заставляет воду хорошо перемешиваться, но также разбиваются на части, сталкиваясь с экранами, расположенными за трубами.

РАБОТА по созданию конденсаторов концентрируется на контактных теплообменниках, которые могут быть более эффективными, чем поверхностные конденсаторы, и позволяют получить большую мощность на выходе установки. Конденсация при прямом контакте очень похожа на взрывное испарение. Она идет наиболее эффективно, когда холодная морская вода распределяется совершенно однородно в конденсаторе, так, что отработанный пар сопри-

касается с наибольшей площадью жидкости.

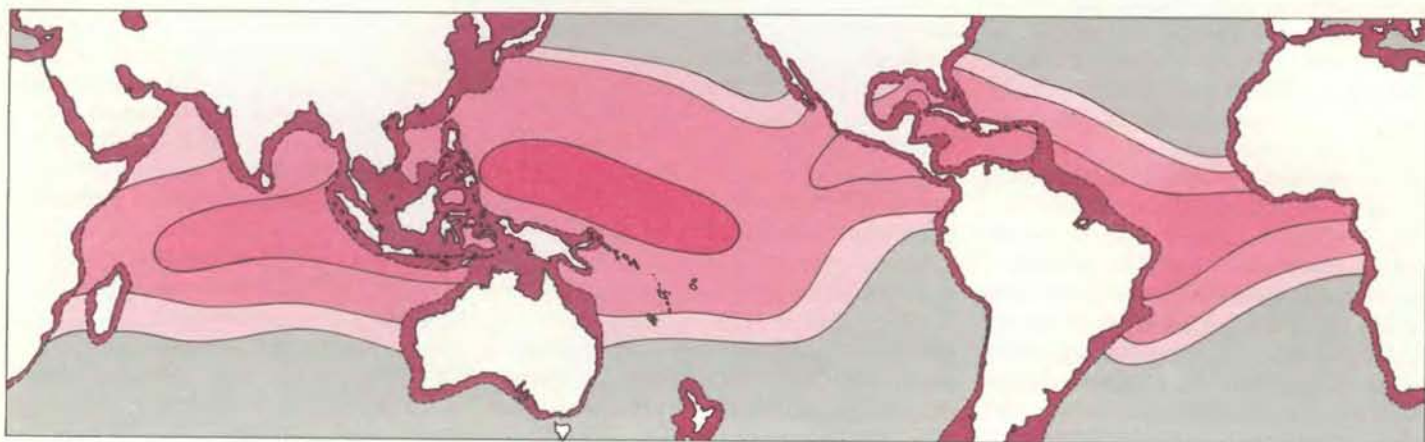
Контактные конденсаторы могут состоять из двух открытых с концов цилиндров, заполненных материалом такого рода, который обычно используется в башенных охладителях. Этот материал заставляет воду распределиться по конденсатору равномерно, и поверхность жидкости оказывается достаточно большой. Около 80% пара конденсируется, когда на первой стадии конденсации пар течет в том же направлении, что и холодная морская вода. Оставшийся пар наряду с неконденсируемыми газами направляется в основание второго цилиндра и на этот раз течет навстречу морской воде. Через верх второго цилиндра выбрасываются неконденсируемые газы и несконденсировавшийся пар.

Недостатком контактного конденсатора является то, что он не производит опресненной воды. Для получения опресненной воды сконденсировавшийся пар должен быть отделен от холодной морской воды. Для этого необходим достаточно большой поверхностный конденсатор.

Установка ОТЕС с открытым циклом с полезной мощностью 2 МВт может производить примерно 4320 м³ воды в сутки. До тех пор пока потребность в пресной воде будет превышать возможности установки, в последней будут применяться и поверхностный, и контактный конденсаторы. Контактный конденсатор должен использоваться после стадии опреснения для того, чтобы сконцентрировать неконденсируемые газы и позволить уменьшить размер вакуумной выхлопной системы, что приведет к увеличению отношения полезной мощности к полной.

ТУРБИНА — ЭТО, вероятно, наиболее важный компонент системы ОТЕС с циклом Клода. Но это и наименее отработанный компонент. Потребность в больших турбинах может быть удовлетворена на маленьких установках путем размещения наибольших существующих турбин диаметром 4,5 м, которые используются на второй стадии рабочего цикла при низком давлении в некоторых обычных энергетических установках. Поскольку увеличение числа турбин, вероятно, не повлечет за собой увеличения стоимости всей системы более чем на 10%, выходную мощность можно повысить в определенной степени путем включения нескольких турбин параллельно. (Французский проект установки мощностью 20 МВт на Танти предусматривает установку четырех турбин.)

Альтернативное решение использовать одиночную турбину большого размера требует значительно более совершенной технологии. Исследователи из компании Westinghouse Electric Corporation пришли к выводу, что электростанция с полезной мощностью 100 МВт должна иметь турбину диаметром 43,6 м. Напряжения, возникающие на длинных лопастях такой турбины, должны быть столь велики, что это, вероятно, исключает возможность изготовления лопаток из металлических сплавов, применяющихся в настоящее время в низконапорных турбинах. Решением может стать использование пластиков, армированных волокнами: они имеют высокую прочность и небольшую плотность, и им легко придать требуемую форму. Исследователи из корпорации Westinghouse, компании Advanced Ratio Designs, Inc. и Дела-



ВОЗМОЖНЫЕ РАЙОНЫ размещения теплоэнергетических установок ОТЕС определяются по разности температур воды на поверхности и на глубине 1000 м. В открытом море установка должна находиться на судне. В других местах она может строиться на суше или в море вблизи берега.

вэрского университета разработали лопасти из композиционных материалов, такие же длинные и узкие, как лопасти воздушного винта вертолета, и в то же время так же закрученные, как и лопасти обычной паровой турбины, работающей при низком давлении.

Исследования, проведенные при поддержке федеральных служб, указывают, что стоимость энергетической установки мощностью 10 МВт с открытым циклом составит 7200 долл. за 1 киловатт полезной мощности. При такой цене она сможет конкурировать на рынках тихоокеанского региона только в том случае, если цена на нефть существенно повысится. Однако в Карибском бассейне и других районах, где наблюдается нехватка пресной воды, продажа опресненной воды поможет системам ОТЕС с открытым циклом успешно конкурировать с другими системами и при гораздо более низких ценах на нефть. Экономический и технический анализ возможного размещения установок ОТЕС, проведенный американскими и французскими исследователями, показывает, что небольшие установки с циклом Клода, вырабатывающие от 5 до 15 МВт полезной мощности, в скором времени станут доступны для населения, проживающего на некоторых островах.

УНИКАЛЬНАЯ особенность системы ОТЕС — это трубопровод холодной воды, который открывает доступ к обширным скрытым ресурсам океана. Холодная вода не только помогает вырабатывать электричество, но и содержит питательные вещества, необходимые для жизнедеятельности огромных сообществ планктона и водорослей, благодаря которым существует животная жизнь в морских экосистемах. Естественный подъем глубинных вод, районы которого занимают лишь 0,1% площади всего океана, обеспечивает 44% всего мирового улова рыбы. Благодаря подъему глубинной воды на установках ОТЕС в местах их размещения можно было бы содержать большие морские фермы. Холодная вода может использоваться и для других нужд, например для охлаждения и кондиционирования воздуха.

Эти большие потенциальные выгоды остаются нереализованными из-за того, что существует трудность создания труб диаметром более 1 м и размещением их на глубине более 1000 м ниже уровня моря. На протяжении 40 лет, прошедших после пионерных работ Клода, не удавались все дальнейшие попытки построить и задействовать глубоководные трубо-

проводы. Затем в установках «Мини-ОТЕС» и «ОТЕС-1» были успешно использованы трубы, сделанные из гибкого полиэтилена. Однако эти трубы были короче, чем те, которые необходимы для станций, размещенных на берегу.

В 1981 г. администрация шт. Гавайи разместила нетолстую, но длинную полиэтиленовую трубу (диаметром 0,3 м и длиной 1,5 км) в Национальной энергетической лаборатории шт. Гавайи. На сегодняшний день это единственное в мире искусственное устройство, обеспечивающее поступление воды из океанских глубин. В связи с этим в упомянутой лаборатории сосредоточиваются исследования и разработки в области использования этой воды и проводятся эксперименты по созданию систем ОТЕС с замкнутым и открытым циклами. В целях получения больших объемов воды для этих экспериментов и для проводящихся по соседству мероприятий по коммерческому освоению аквакультуры лаборатория при поддержке администрации штата, федерального правительства и частных промышленных компаний изучает возможность установки нового полиэтиленового трубопровода. Его длина останется такой же, но диаметр будет увеличен до одного метра. Рассматривается вопрос об использовании ряда других материалов для изготовления трубы, включая бетон, сталь, стеклопластик, эластомеры и композиты.

Один из способов разместить трубопровод холодной воды большого диаметра — положить трубу на дно. Эта процедура весьма непростая и трудоемкая. Другой путь — подвесить трубу, обладающую плавучестью над дном. Предложение французских исследователей для системы ОТЕС на Таити заключается в том, чтобы установить длинный ряд поверхностных буев, тросы от которых идут вглубь и закрепляются на дне с помощью якорей. Труба, прикрепляемая к тросам, может идти достаточно ровно независимо от неоднородностей рельефа на шельфе, которые характерны для вулканических островов.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ установка на Таити предназначена для широкого использования холодной воды: разведения аквакультуры, кондиционирования воздуха и опреснения. Из-за финансовых трудностей французское правительство, возможно, откажется от того, чтобы установка производила полезную энергию. Экономически получение опресненной воды и разведение аквакультуры явля-

ются более оправданными мероприятиями.

Исследователи, занятые разработкой системы ОТЕС на Гавайях, полагают, что выгоды коммерческой аквакультуры могут привлечь частную промышленность к строительству в ближайшем будущем установок ОТЕС. Направленная на создание трубопроводов холодной воды и других компонентов системы, использующей тепло океана, эта работа приведет к усовершенствованию технологии ОТЕС к тому времени, когда нефть поднимется в цене или станет довольно редким продуктом.

Издательство
МИР
предлагает:

ГИДРО- ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

Под редакцией
М. Андерсона, Т. Берта
Перевод с английского

В книге рассматривается широкий круг вопросов, связанных с использованием методов моделирования для разработки прогнозов в системе наземной и подземной гидросфер как единого целого. Показывается возможность использования радиолокации для измерения атмосферных осадков и влажности почв; анализируется состояние снежного покрова и льда в различных зонах Земли и формирование стока в аридных и субаридных областях. Обсуждаются вопросы построения моделей распределения вод речного бассейна, вовлеченных техническими средствами в практическое использование. Рассматривается применение методов гидрогеологического моделирования при изучении водного баланса и стока в пределах бассейна реки, а также сочетания физических и биологических процессов.

Для гидрологов, гидрогеологов, метеорологов и почвоведов.

1988, 45 л. Цена 7 р. 10 к.



Фрактальный рост

Процесс роста в природе может приводить к образованию расползающихся разреженных структур, называемых фрактальными.

На примере одной из разновидностей фрактального роста можно объяснить такие непохожие физические явления,

как образование кристаллов и движение воздушных пузырьков в жидкости

ЛЕОНАРД М. САНДЕР

ИССЛЕДОВАТЕЛИ, изучающие структуру вещества, сталкиваются с задачами исключительной сложности. Каждая микроскопическая частица мира содержит в себе гигантское количество атомов и молекул, зачастую объединенных в очень сложные, неупорядоченные структуры. Чистые кристаллы или ламинарные потоки жидкости дают нам примеры однородности. В таких системах многое нам понятно. Однако абсолютное большинство сложных природных явлений, таких, как турбулентное движение жидкости или газа, осаждение частиц металла при электролизе и образование горных хребтов, фактически остается для нас полной загадкой.

За последние десять лет и специалисты-экспериментаторы, и математики существенно продвинулись вперед на пути к пониманию подобных явлений. Среди многих новых идей и подходов центральное место занимает, пожалуй, понятие фрактальной структуры, или фрактала, введенное Бенуа М. Мандельбротом, работающим в Исследовательском центре Томаса Уотсона фирмы IBM в Йорктаун-Хайтсе (шт. Нью-Йорк). Фрактальным называется объект с расползающейся, разреженной структурой. При наблюдении таких объектов с возрастающим увеличением можно видеть, что они проявляют повторяющийся на разных уровнях рисунок. Таким образом, одна и та же структура наблюдается в любом масштабе. Фрактальный объект может, например, выглядеть совершенно одинаково независимо от того, наблюдаем ли мы его в метровом, миллиметровом или микронном (одной миллионной доли метра) масштабе. По мнению Мандельброта, этим свойством обладают многие природные объекты с неупорядоченной структурой.

Появляется все больше свиде-

тельств того, что природа очень любит фрактальные формы. Было обнаружено, что фрактальные структуры, известные как перколяционные кластеры, возникают при прохождении жидкости через твердые пористые тела, например при просачивании воды через почву или кофе через кофейную гущу. Фрактальными свойствами обладают, по-видимому, сажа, коллоиды и некоторые полимеры. Фракталы также образуются при прохождении пузырьков воздуха через нефть, при росте некоторых кристаллов, а также при электрических разрядах, напоминающих молнию. Хаотичная форма облаков и береговой линии почти наверняка также является фрактальной.

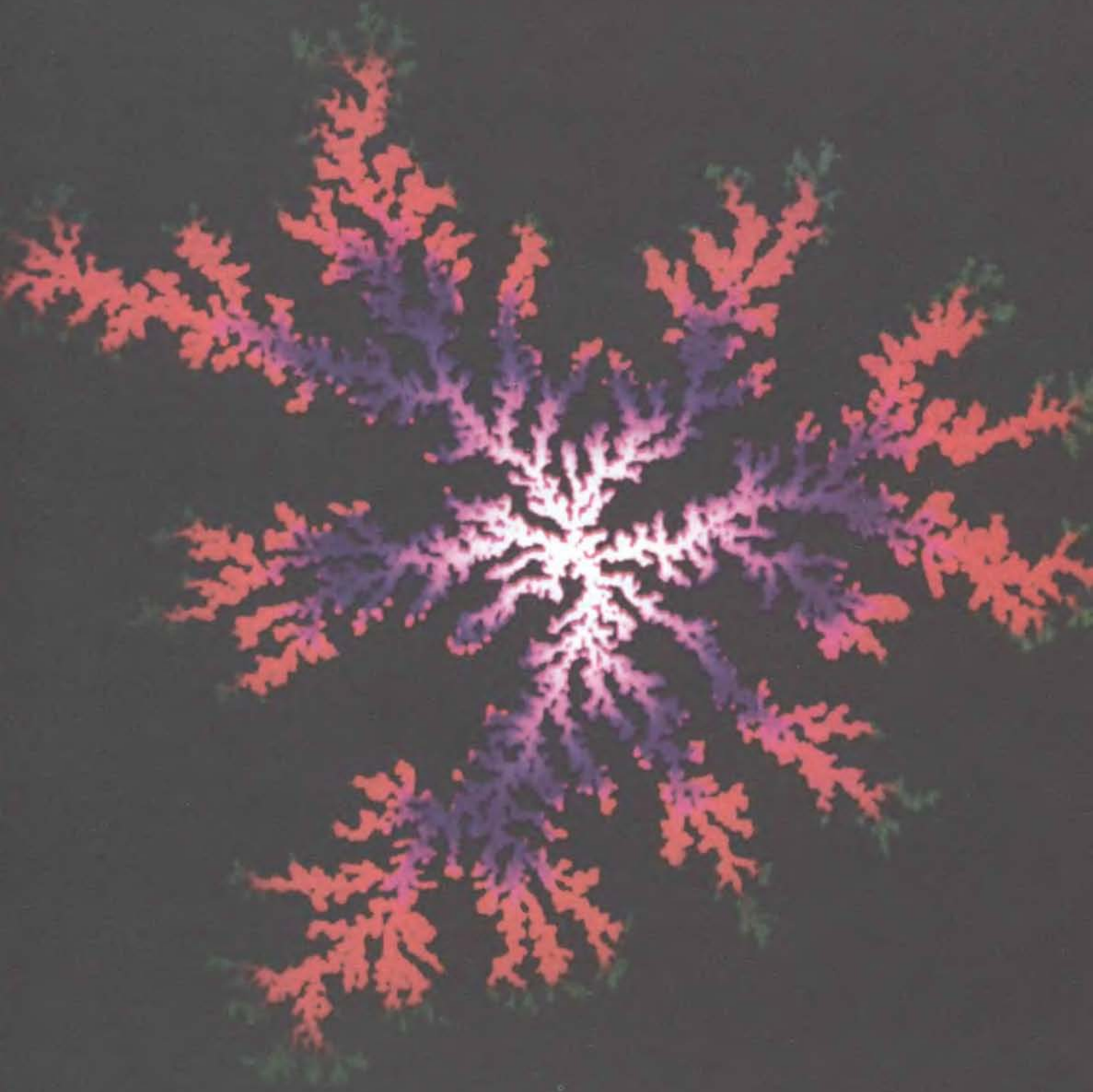
По мере того как накапливается все больше эмпирических фактов, свидетельствующих о существовании в природе фрактальных объектов, исследователи начинают также интересоваться механизмами их формирования. В 1981 г. Т. Уиттен III из фирмы Exxon Research and Engineering Company и я предложили один механизм фрактального роста, который мы назвали агрегацией, ограниченной диффузией. Согласно нашей модели, определенная разновидность фрактальных объектов может быть получена в процессе неупорядоченного необратимого роста. Выдвинутая нами теория привлекательна в двух отношениях. Во-первых, она проста и легко поддается моделированию на ЭВМ. Во-вторых, и это важнее, она, по-видимому, объясняет, как образу-

ются некоторые виды фрактальных объектов в реальных условиях.

КАКОВЫ ЖЕ свойства фрактальных объектов? В абстрактной форме эти объекты, называемые фракталами, обсуждались еще задолго до Мандельброта другими математиками, рассматривавшими их как некие «чудовища» и проявившими к ним чисто академический интерес. На самом деле фракталы вовсе не похожи на чудовища и скорее напоминают узоры из снежинок. Это сходство со снежинками объясняется их повторяющимся узором. Например, каждая часть фрактала, показанного в нижней части рисунка на с. 64, состоит из пяти идентичных элементов меньшего размера. В свою очередь пять больших частей можно объединить в еще больший объект той же структуры и т. д. Каждое «поколение» содержит в себе отверстия, по масштабу соответствующие размерам данного поколения. Такой рисунок можно назвать инвариантным по отношению к масштабу. На каждом уровне любая часть структуры с диаметром, вдвое меньшим диаметра целого, выглядит точно так же, как и целое. Инвариантность по отношению к масштабу является как бы свойством «симметрии» фрактальных объектов. Подобно тому как круглые тела симметричны относительно оси вращения, фракталы симметричны относительно центра растяжения, или изменения масштаба.

Полезно иметь количественную ха-

ФРАКТАЛЬНАЯ структура, полученная путем машинного моделирования процесса, называемого агрегацией, ограниченной диффузией. Около 50 000 «частиц» было выпущено в области, лежащей за пределами изображения. Совершая случайное движение, частицы прилипали друг к другу, образуя постепенно растущее скопление, или кластер. Цвет указывает на время прибытия частиц: белые прибыли первыми, зеленые — позднее. Изображение получено П. Микеном, сотрудником фирмы E.I. du Pont de Nemours & Company, Inc.



рактическую характеристику фрактальных объектов. Роль подобной характеристики играет число, называемое фрактальной размерностью. В отличие от размер-

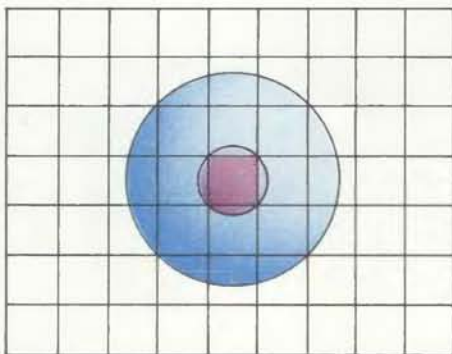
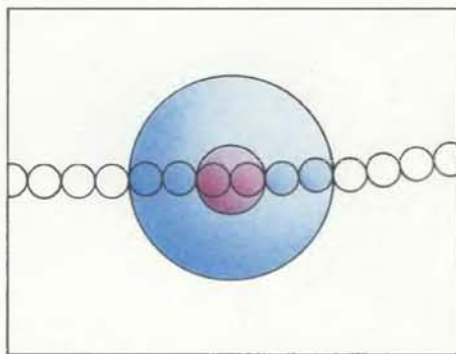
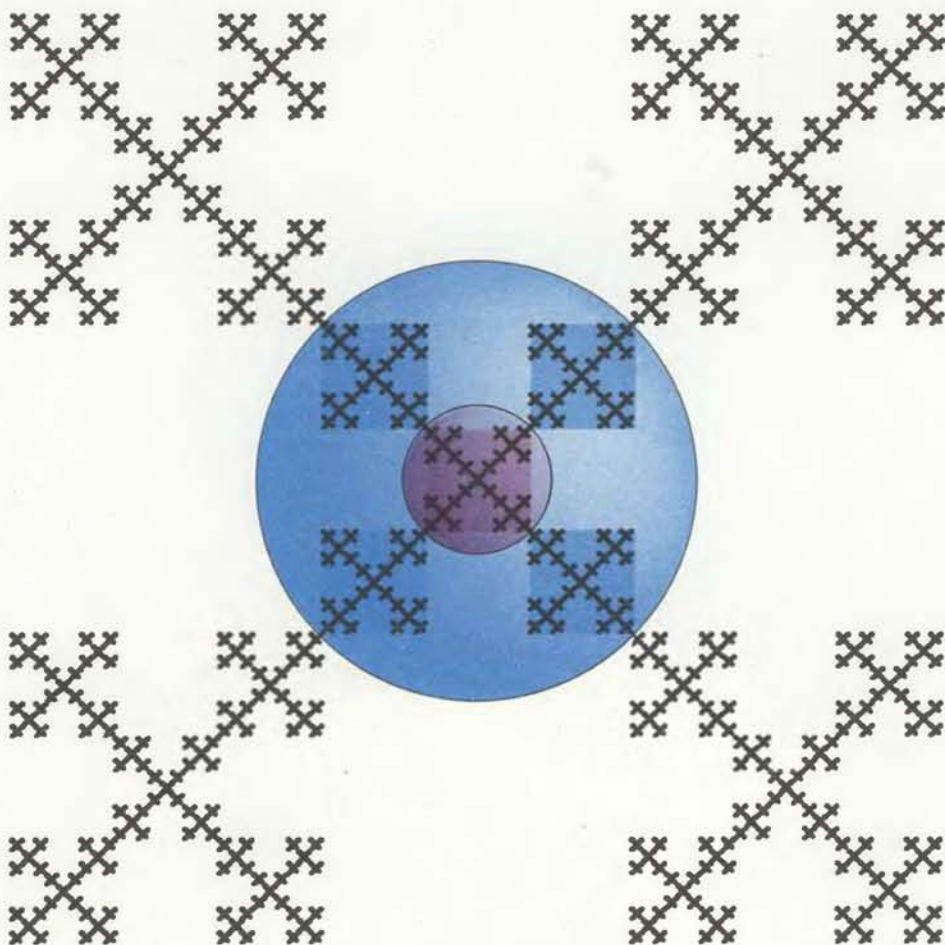
ности в обычном понимании этого слова фрактальная размерность выражается не целым, а дробным числом. Например, рассматриваемый

нами фрактальный объект имеет размерность 1,46 — он занимает в каком-то смысле промежуточное положение между одномерной прямой линией и двумерной плоскостью. Чем полнее фрактальный объект заполняет плоскость, тем ближе его размерность к 2. Компьютерное изображение структуры, показанной на с. 63 и полученной в результате процесса агрегации, ограниченной диффузией, имеет фрактальную размерность, равную 1,71. Эта структура инвариантна относительно масштаба в статистическом смысле. Данный объект обладает еще одним свойством (им обладают все фракталы) — его плотность уменьшается с ростом размера.

Фрактальная размерность физического тела — это его «универсальное» свойство, не зависящее от множества конкретных деталей его строения. Фрактальная размерность, как и другие универсальные свойства, характеризует поведение структуры в крупном масштабе, при этом мелкие конкретные особенности, усредняясь, как бы стираются. В результате простая модель, в которой не учитывается большая часть сложных свойств реальной системы, тем не менее может правильно описывать ее масштабные свойства.

Значение модели агрегации, ограниченной диффузией, заключается в том, что она выявляет связь между фрактальными объектами и процессом роста. В природе существует много различных механизмов роста. Кристалл, например, растет в условиях, приближающихся к равновесным, он как бы «пробует» много конфигураций, прежде чем найдет состояние с наиболее стабильной структурой. Когда очередная молекула присоединяется к растущему кристаллу, она, вообще говоря, должна «исследовать» много различных мест, прежде чем отыщет наконец подходящее. Равновесный кристалл формируется медленно, постоянно подвергаясь перепорядочению. Однако для большинства реальных процессов роста время — это непоправимая роскошь. Например, живые биологические системы неравновесны. Фрактальные объекты, которые мы здесь рассматриваем, растут в условиях, далеких от равновесных. (Некоторые фракталы растут вблизи от равновесия, однако обсуждение этой темы выходит за рамки настоящей статьи.)

ПРЕДСТАВИМ себе объект — кластер, растущий следующим образом: время от времени к нему присоединяется одна молекула, так что когда частица входит в контакт с растущим объектом, она прилипает к не-



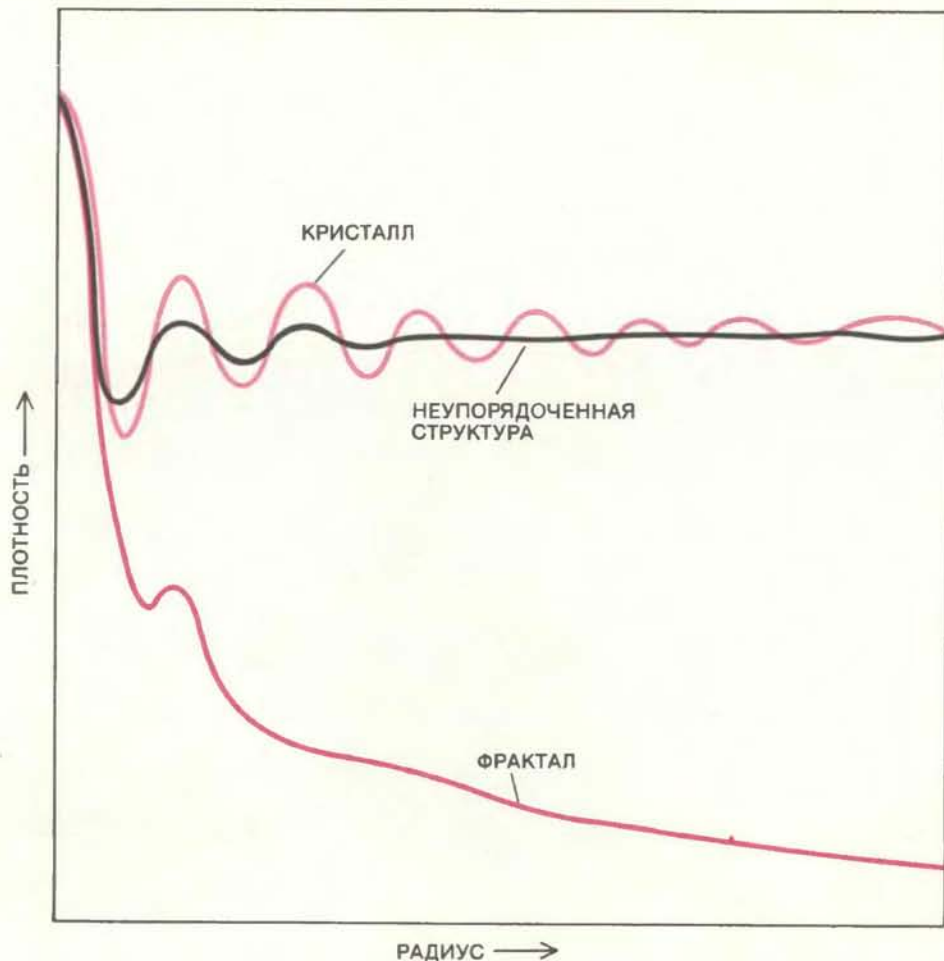
ФРАКТАЛЬНАЯ РАЗМЕРНОСТЬ отличается от обычного понятия размерности тем, что она выражается не целым, а дробным числом. Чтобы точно определить фрактальную размерность объекта, нужно подсчитать среднее число N фундаментальных частиц, заключенных в пределах сферы определенного радиуса r с центром, расположенным на объекте. Согласно законам евклидовой геометрии, число единиц будет равно с точностью до константы радиусу сферы, возведенному в степень, равную размерности $D(N = C \cdot r^D)$. В случае прямой линии размерность, конечно, равна единице: утроив радиус сферы, мы утроим число заключенных в ней единиц (вверху слева). Для обычных (не фрактальных) сплошных сред в двух измерениях утроение радиуса сферы приводит к возрастанию заключенных в ней единиц в 9 раз (вверху справа). В отличие от этого для фрактального объекта размерностью 1,46 (внизу) при утроении радиуса сферы число заключенных в ней единиц увеличивается в 5 раз. Другими словами, количество единиц растет быстрее, чем в случае прямой линии, но медленнее, чем в случае обычного сплошного двумерного тела. В этом смысле объект занимает промежуточное положение между прямой линией и плоскостью. Показанный здесь фрактал построен Т.Вижеком, работающим в Научно-исследовательском институте технической физики Академии наук Венгерской Народной Республики в Будапеште.

му и не ищет другого места, а, попросту говоря, остается на месте. Такой процесс называется агрегацией. Он представляет собой крайний пример неравновесного процесса роста, поскольку в нем совершенно отсутствует переупорядочение. Теперь предположим, что частицы диффундируют к кластеру в ходе случайного движения, т. е. последовательности шагов, длина и направление которых определяются случайным образом. (В одномерной версии случайное движение можно представить себе так: человек бросает монету, и если выпадает «орел», то он делает шаг вперед, а если «решка» — шаг назад.) Агрегация частиц, протекающая в условиях случайного движения, — это и есть процесс, который мы с Уиттеном называем агрегацией, ограниченной диффузией.

Небольшие кластеры можно без труда «выращивать» на персональном компьютере. Кластер начинается с одной частицы, помещаемой в начало координат. Затем другая частица выпускается на некотором расстоянии от первой и совершает один за другим шаги случайного движения, пока не приблизится к первой частице на расстояние, равное ее диаметру. В тот момент, когда вторая частица прилипает к первой, в случайно выбранной удаленной от агрегата точке выпускается другая частица и т. д. Результаты моделирования показывают, что кластеры, образованные агрегацией, ограниченной диффузией, обладают фрактальными свойствами.

Хотя процесс агрегации, ограниченной диффузией, легко поддается описанию и моделированию, мы еще не достаточно хорошо понимаем его на более глубоком уровне. Почему, например, процесс такой агрегации приводит к образованию фракталов, а не, скажем, аморфных комков, не обладающих никакой симметрией? Почему так редко образуются петли? Каким образом фрактальная размерность зависит от размерности пространства? Ответы на эти вопросы остаются открытыми и ставят перед физиками-теоретиками серьезную и весьма своеобразную проблему, потому что при ее рассмотрении никакие обычные математические средства, как представляется, не работают.

Однако в качественном смысле можно понять некоторые важные свойства процесса. Допустим, что процесс начинается с гладкого кластера, к которому затем присоединяются частицы в ходе агрегации, ограниченной диффузией; когда кластер еще мал, несколько частиц могут налипнуть чисто случайно на каком-то одном участке его поверхности. Други-



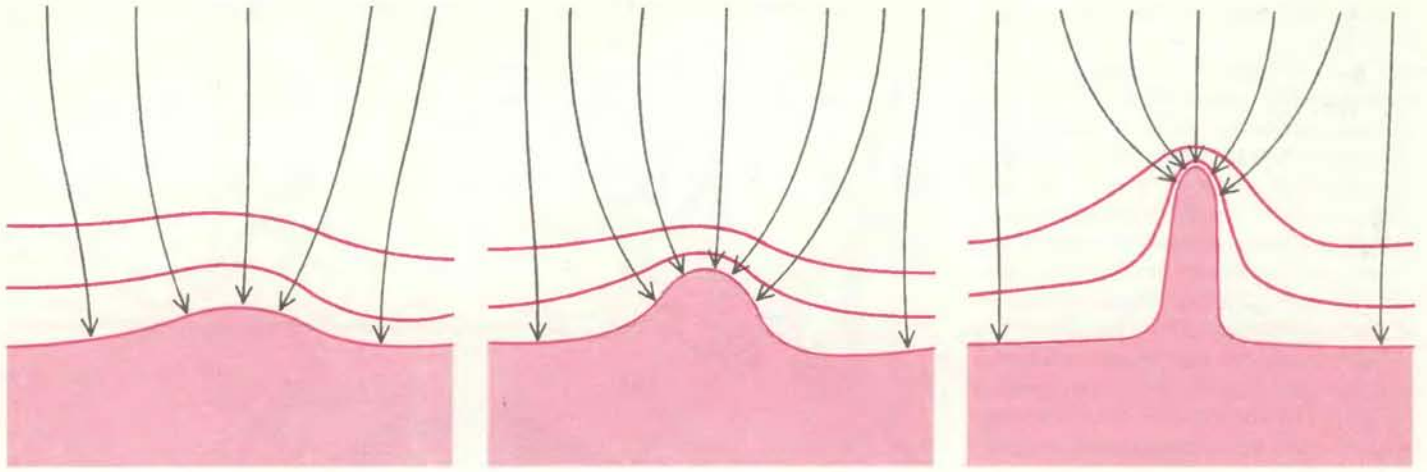
ПЛОТНОСТЬ ФРАКТАЛА, как видно из рисунка, уменьшается с увеличением его размеров. В то же время плотность кристаллов и аморфных образований близка к постоянной величине.

ми словами, благодаря «шуму», т. е. наличию случайного элемента в поведении частиц, на поверхности объекта образуются крошечные бугорки и ямки.

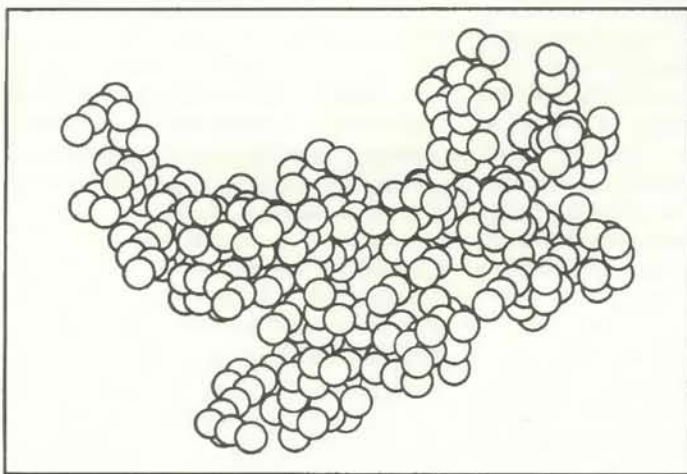
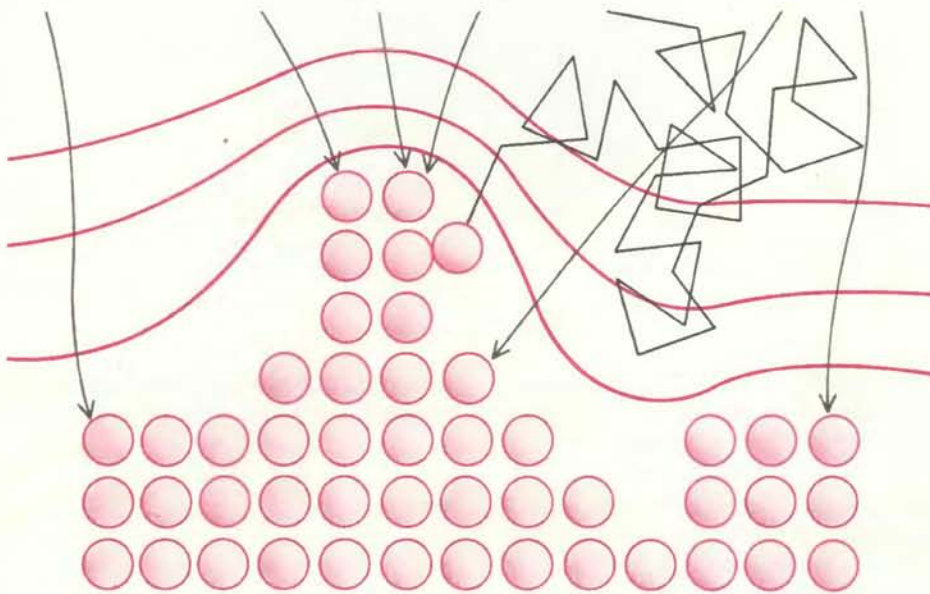
Как только на поверхности появились бугорки и ямки, рост на бугорках становится быстрее, чем в ямках. Это объясняется тем, что частица, совершающая случайное движение и медленно приближающаяся к объекту по ломанной траектории, вероятнее всего, прилипнет к вершине бугорка или ее ближайшей окрестности, во всяком случае, она почти наверняка войдет в контакт со «склоном» бугорка прежде, чем сможет добраться до дна ямки. Когда очередная частица прилипает в окрестности вершины, бугорок становится еще круче, и вероятность заполнения ямки становится еще меньше. В результате форма кластера, слегка искаженная в исходном состоянии, искажается еще больше. Этот эффект называется неустойчивостью роста. В конце концов рост и расщепление выступающих участков поверхности, по-видимому, приводят к образованию фрактала. И хотя подробности процесса остаются неизвестными, можно сказать, что источником сложности и богатства класте-

ров, получаемых в процессе агрегации, ограниченной диффузией, является взаимодействие между шумом и ростом.

НА ПРОТЯЖЕНИИ последних пяти лет агрегация, ограниченная диффузией, была предметом интенсивного изучения. Интерес к этой модели в значительной мере объясняется тем, что она, по-видимому, описывает процессы, протекающие в реальном мире, — реальные частицы действительно совершают случайное движение, приближаясь к тем точкам, где они прилипают к поверхности тела. Р. Брейди и Р. Болл из Кембриджского университета в 1984 г. указывали, например, что агрегация, ограниченная диффузией, по-видимому, является достаточно хорошей идеализацией процесса осаждения иона металла, диффундирующих в электролитическом растворе. И хотя то, что происходит при прилипании иона к металлической поверхности, с физической точки зрения наверняка существенно отличается от того, как это представлено в компьютерной модели. Эти различия, кажется, не влияют на образующуюся в результа-



РОСТ ФРАКТАЛОВ в процессе агрегации, ограниченной диффузией. Обычно он начинается с гладкого кластера, на который агрегируют диффундирующие частицы. Благодаря наличию «шума», или случайной статистики, в движении частиц на поверхности образуются мелкие бугорки и ямки (слева). Черной линией изображен сложный путь частицы, цветные линии представляют линии постоянной плотности частиц, а серые — линии усредненной величины потока. После образования на поверхности бугорков и ямок бугорки растут быстрее ямок (вверху), потому что, проходя по изломанным траекториям, частицы с большей вероятностью прилипнут к вершине бугорка или в ее окрестности. На пути в глубь ямки частица почти наверняка скорее прилипнет к ее стенке, чем достигнет дна. Благодаря преимущественному осаждению частиц вблизи вершины бугорка он растет и становится круче. В результате заполнение ямок становится все менее вероятным.



АГРЕГАЦИЯ, ОГРАНИЧЕННАЯ ДИФФУЗИЕЙ, приводит к образованию фрактального объекта с размерностью 2,4 (слева). Структура очень похожа на кластер из частиц меди (справа), имеющий ту же размерность. Показана модель, построенная с помощью компьютера Р. Рихтером из иссле-



довательской лаборатории фирмы General Motors. Изображение медного кластера, полученного из раствора сульфата меди, выполнено Н. Хекер и Д. Грайером из Мичиганского университета.

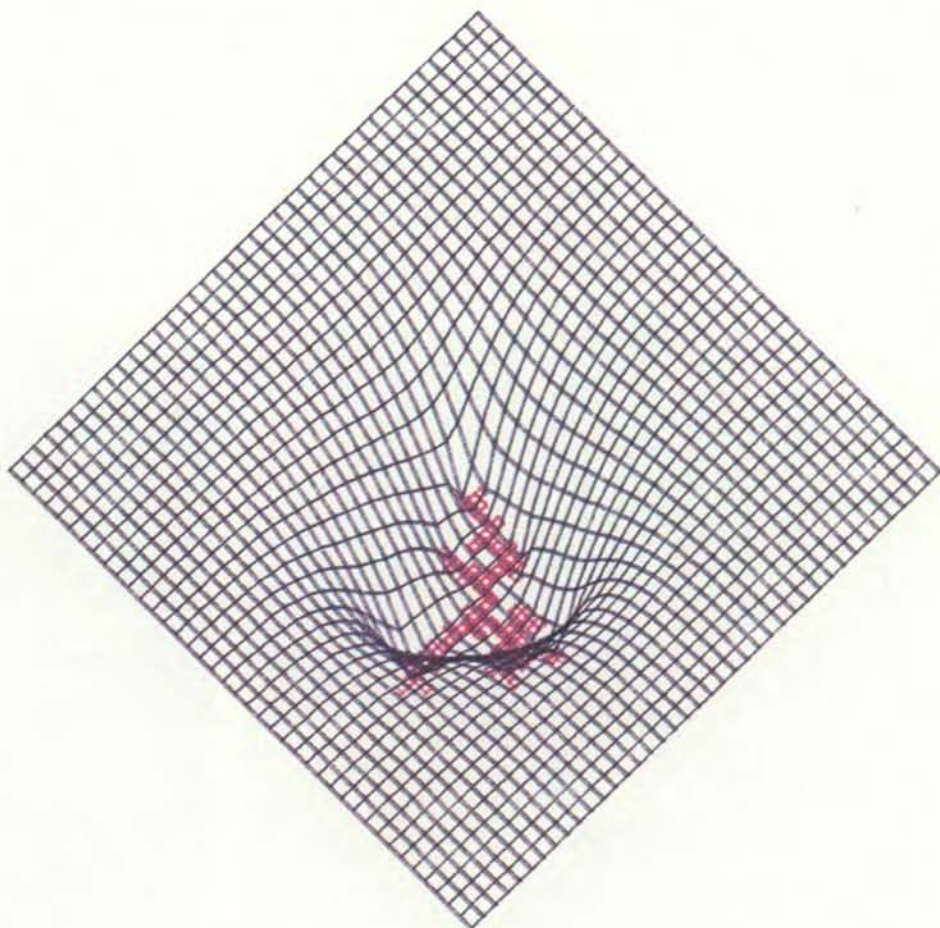
те форму поверхности. Не влияют они также и на фрактальную размерность получаемой структуры.

Структура цинковой поверхности, полученной в электролитической ванне (см. фрагмент слева вверху рисунка на с. 68), например, очень похожа на фрактальную структуру, полученную в результате компьютерного моделирования и показанную на с. 63. Вычисленная размерность цинковой структуры оказалась равной 1,7, и с учетом ошибки эксперимента она хорошо согласуется с размерностью, вычисленной для фрактального объекта, который был получен при помощи компьютерного моделирования (1,71). Это согласие служит прекрасной демонстрацией свойства универсальности и инвариантности относительно масштаба: в машинной модели использовалось около 50 тыс. точек, в то время как число атомов в слое цинка почти миллиард миллиардов.

На самом деле, варьируя правила машинного моделирования, можно выявить несколько типов универсальности. Предположим, например, что иногда частица может отскакивать от поверхности агрегата вместо того, чтобы прилипнуть к ней. Это условие является простым представлением одного из многих возможных усложнений модели, возникающих в реальных физических процессах. Оно приводит к утолщению ветвей агрегата, но не изменяет, однако, его фрактальной размерности.

То, что процесс осаждения ионов металла на электроде описывается агрегацией, ограниченной диффузией, выглядит, конечно, вполне правдоподобным. Примечательно, однако, что при помощи этой модели, по всей видимости, можно объяснить довольно широкий круг явлений. Одно из подобных явлений наблюдается в экспериментальном устройстве, приборе Хили-Шоу, названном так в честь британского морского инженера Генри С. Хили-Шоу, жившего в прошлом веке. Прибор состоит из двух параллельных пластинок, между которыми заключена вязкая жидкость, например глицерин. Когда менее вязкая жидкость или газ, например воздух, впрыскивается посередине, глицерин приходит в движение. Образуется воздушный пузырек, от которого отходит несколько вытянутых выступов — «пальцев» (см. верхний правый фрагмент рисунка на с. 68). Это явление так и называется — «вязкое пальцеобразование».

Описанное явление представляет практический интерес, поскольку оно возникает также, когда в центральную зону нефтеносного слоя закачива-



РЕЗИНОВАЯ ПОВЕРХНОСТЬ, натянутая со всех четырех краев и находящаяся в центральной части под давлением со стороны растущего фрактала, служит простой моделью агрегации, ограниченной диффузией. Фрактал растет быстрее в тех местах, где наклон резиновой поверхности наиболее крут, — на выступах фрактала. На следующей стадии процесса на резину будут давить еще более острые выступы и т. д.

ют воду, чтобы обеспечить выход нефти на поверхность. Эффективность этого метода добычи существенно уменьшается за счет пальцеобразования. Если не применять специальных методов, то лишь небольшое количество вязкой нефти достигает скважин, расположенных на внешней границе месторождения.

ФОРМА пальцев, образующихся в вязкой жидкости, имеет очень большое сходство с компьютерными изображениями кластеров, получаемых моделированием агрегации, ограниченной диффузией. Почему это так? На этот вопрос недавно ответил Л. Патерсон, работающий в Австралии в научно-исследовательской организации стран британского содружества. Патерсон показал, что механизм вязкого пальцеобразования и агрегации, ограниченной диффузией, в принципе один и тот же. В последнем случае рост происходит за счет протекания извне случайно движущихся частиц. Это протекание объясняется тем, что частицы имеют боль-

шую вероятность прийти из внешних по отношению к кластеру областей, где их концентрация выше, чем из областей с низкой концентрацией. Точнее говоря, поток частиц пропорционален градиенту концентрации в окружающем агрегат пространстве.

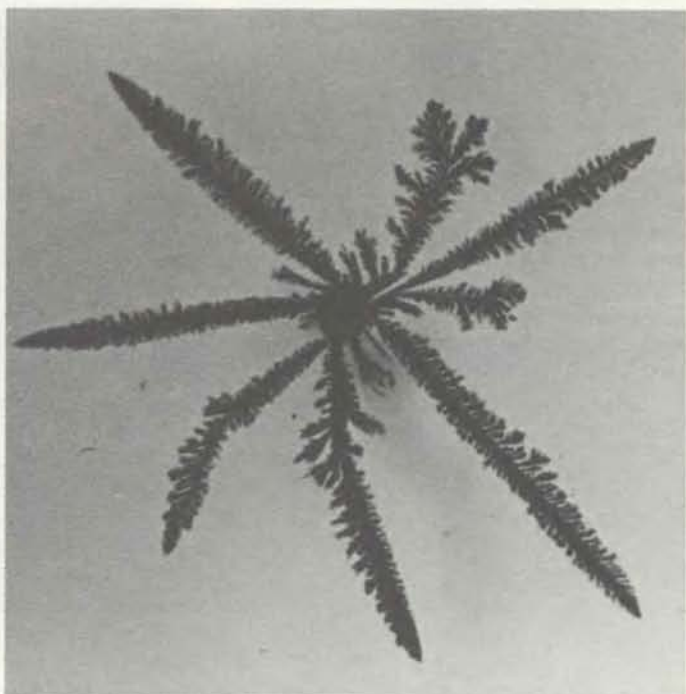
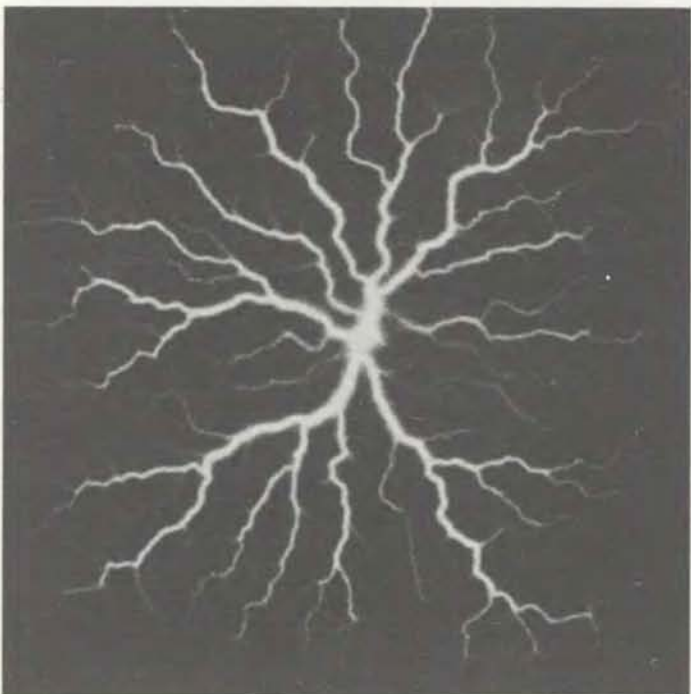
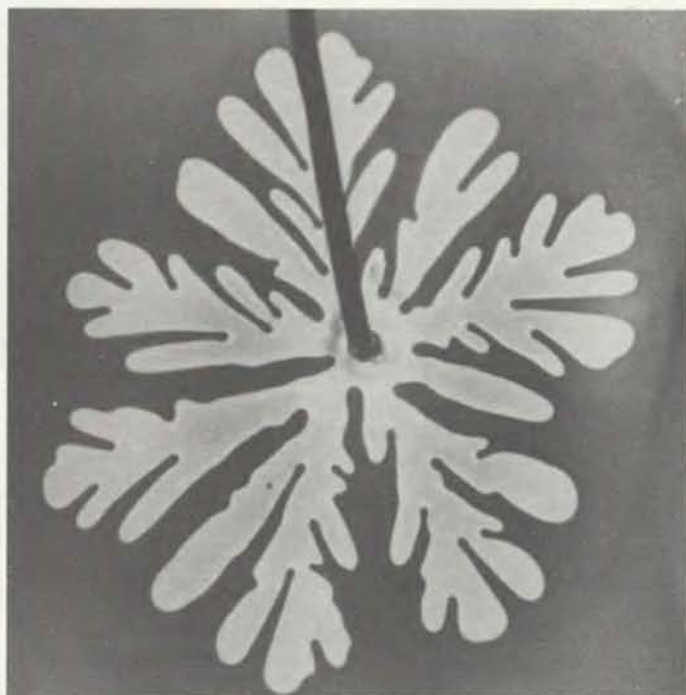
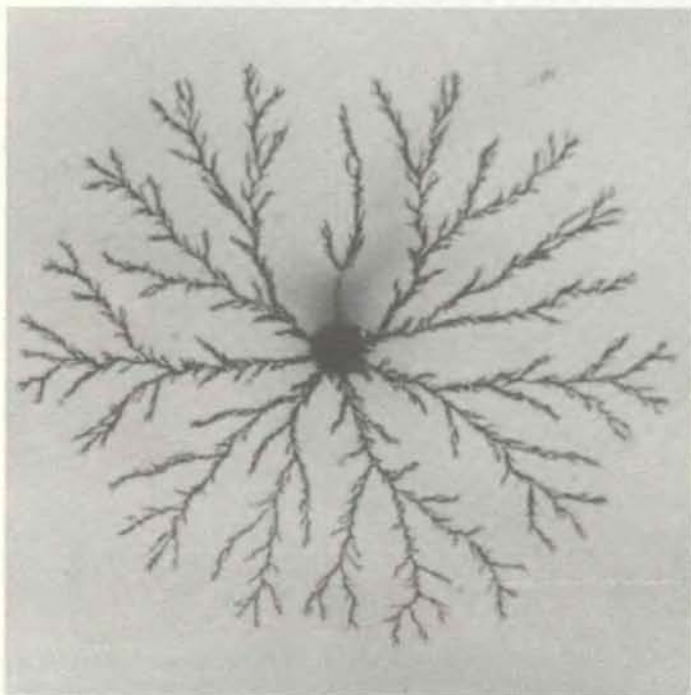
В случае пальцеобразования в вязкой среде давление в глицерине играет роль, аналогичную концентрации частиц. Самое высокое давление наблюдается в пограничной области между воздухом в пузыре и глицерином. Этот перепад давления выравнивается за счет оттока глицерина от границы с воздухом. Скорость течения пропорциональна градиенту давления жидкости в окрестности границы с воздушным пузырьком. Пальцы растут потому, что жидкость отступает от них особенно легко. Поскольку граница между воздухом и жидкостью перемещается при отступлении жидкости, пальцы все больше удлиняются. В результате возникает неустойчивость роста, подобная той, что наблюдается при агрегации, ограниченной диффузией.

Аналогичный анализ был применен еще к одной системе. Если приложить напряжение к электроду, касающемуся кусочка пленки с фотоэмульсией или пластинки из изоляционного материала, на которой рассыпан мелкий порошок, то возникнет электрический разряд, оставляющий след в виде из-

вилистых лучей, по форме напоминающий очертания атмосферной молнии (см. левый нижний фрагмент рисунка внизу). Форма такого следа называется фигурой Лихтенберга в честь немецкого физика XVIII в. Георга Кристофа Лихтенберга. В 1984 г. группа швейцарских исследо-

вателей, работающих в фирме Brown, Boveri & Company, Limited, указала на то, что в основе механизма образования фигур Лихтенберга лежит, по-видимому, агрегация, ограниченная диффузией.

Допустим, что приложенное к электроду напряжение в начальный мо-



В ПРИРОДЕ ФРАКТАЛЫ образуются, по-видимому, в результате процесса агрегации, ограниченной диффузией. Показаны структура слоя цинка, отложившегося при электролизе (*вверху слева*), «пальцы», образованные воздухом в глицерине (*вверху справа*) и след электрического разряда, называемый фигурой Лихтенберга (*внизу слева*). Жирная линия, проведенная к центру воздушного пузырька, — это воздуховодная трубка. На примере цинкового кластера (*внизу справа*) видно, что происходит, когда напряже-

ние в электролитической ванне увеличивается: структура растущего объекта из фрактальной превращается в дендритную, подобную структуре снежных хлопьев. Изображенные структуры отложенного цинка получено Грайером, «вязкие пальцы» — Э. Бен-Джейкобом из Мичиганского университета, фигура Лихтенберга — Л. Нимейером и Х. Висманом, работающими в фирме Brown, Boveri & Co, Limited в Швейцарии, и Л. Пиетронеро из Гронингенского университета.

мент достаточно велико в окрестности контакта, чтобы разрушить на небольшом участке слой эмульсии и создать проводящий канал. Напряженность электрического поля вне канала проводимости определяется градиентом потенциала в веществе. Исследователи из фирмы Brown, Voery сделали разумное предположение о том, что с наибольшей вероятностью канал будет расти в тех зонах, где напряженность электрического поля максимальна, но эти зоны располагаются как раз на острых концах канала. В результате вытянутые выступы растут и ветвятся. Таким образом, и здесь наблюдается картина фрактального роста.

ТУ ОБЩУЮ основу, которую объединяет осаждение металла на электроде, пальцеобразование в вязкой жидкости и образование фигур Лихтенберга, проще всего выразить на абстрактном языке дифференциальных уравнений в частных производных. Можно, однако, получить некоторое интуитивное представление о том общем эффекте, который лежит в основе всех этих явлений, воспользовавшись аналогией с резиновой плоскостью, растягиваемой со всех четырех сторон и подвергающейся сверху посередине давлению со стороны растущего фрактала.

Такие функции, как вероятность попадания в данную точку частицы, совершающей случайное движение, давление в приборе Хили-Шоу и напряжение вблизи канала проводимости при электрическом разряде, являются примерами гармонических функций, которые представляют собой решение системы дифференциальных уравнений в частных производных. Гармоническая функция в среднем имеет нулевую кривизну — если она выпукла в одном направлении, то вогнута в перпендикулярном направлении (получается что-то вроде кавалерийского седла). Резиновая поверхность также имеет нулевую кривизну. Можно считать, что высота точек резиновой поверхности представляет вероятность, давление или электрическое напряжение, а наклон на границе выступающего фрактала — скорость его роста. Максимальный наклон наблюдается вблизи наиболее острых выступов, они и растут быстрее остальных участков объекта. На следующей стадии процесса резиновая поверхность подвергается давлению еще более заостренных выступов и т. д.

Возникает искушение подумать и о других возможных применениях подобного анализа. Например, ветвящиеся случайным образом кровеносные сосуды, пути, по которым воздух

поступает в легкие, коралловые рифы определенно имеют некоторое сходство с фрактальными структурами, образующимися в ходе агрегации, ограниченной диффузией. Хотя некоторые исследователи пытались смоделировать рост этих структур, насколько мне известно, никто из них еще не прибежал в явном виде к фрактальной геометрии. Окажется ли плодотворным подобный анализ при рассмотрении некоторых видов биологического роста, покажет будущее.

Модель агрегации, ограниченной диффузией, применялась и для описания других физических систем и процессов, например поверхностной кристаллизации аморфных пленок. Кроме того, было показано, что обобщенные модели, называемые агрегацией «кластер — кластер», позволяет описать структуру коллоидов и аэрозолей, в частности сажи. В рамках этого механизма роста, предложенного П. Микином из фирмы E.I. du Pont de Nemours & Co, Inc., М. Колбом, Р. Жульеном и Р. Ботэ из Университета Орсе в Париже, возможно образование многих кластеров, которые сами могут двигаться и объединяться в более крупные объекты. Короче говоря, агрегационные модели оказались очень полезным средством для описания физических систем.

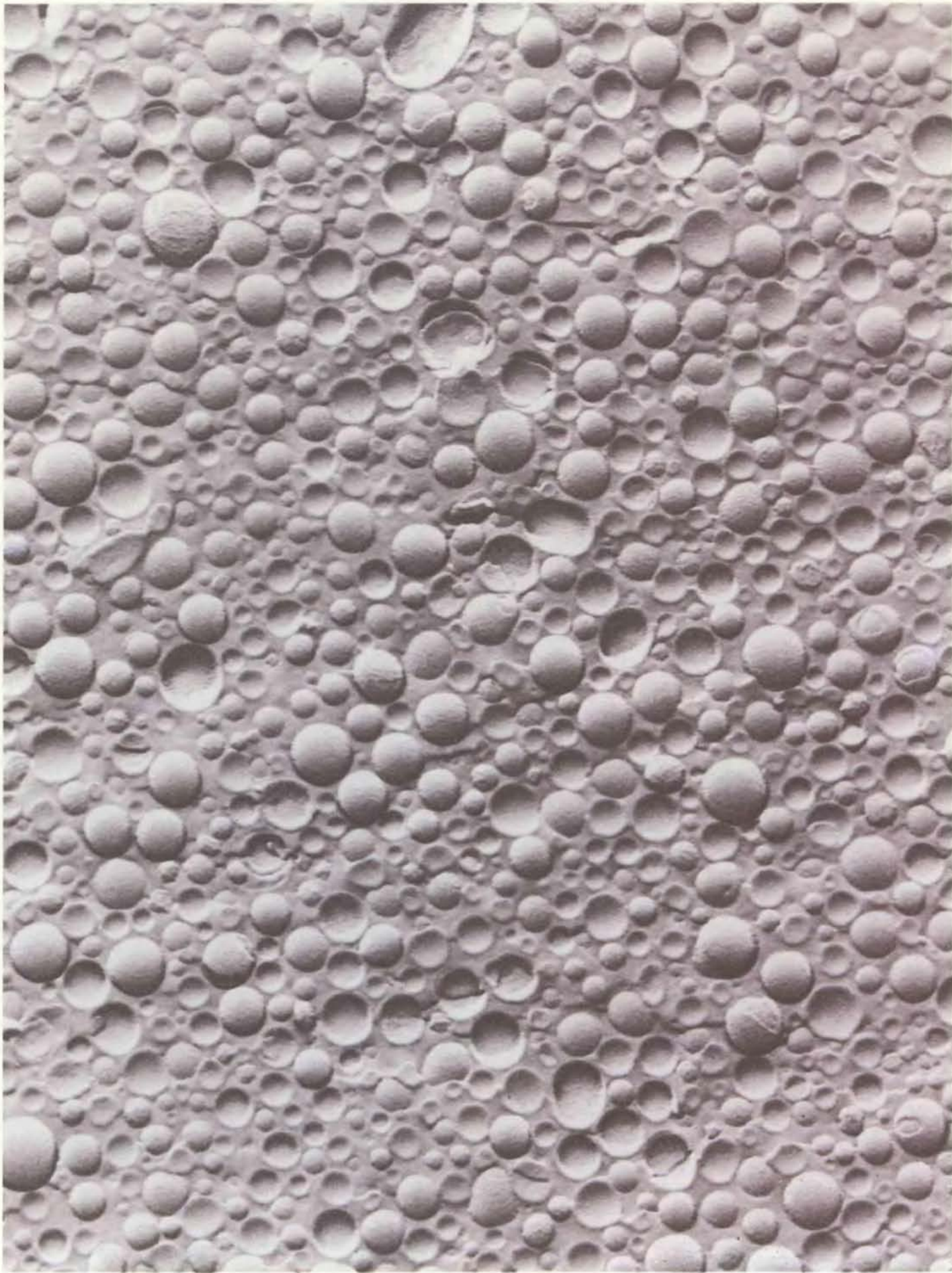
В то же время необходимо отметить, что фракталы, конечно, не описывают всех встречающихся в природе объектов с расплывающейся разреженной структурой. Например, снежные хлопья совершенно точно не являются фракталами. Их структура, конечно, сложна, но она обладает гораздо более выраженной симметрией по сравнению с кластерами агрегации, ограниченной диффузией. Снежинки принадлежат семейству кристаллов, называемых дендритами (древовидными). Красивая макроскопическая структура снежинки отражает лежащую в ее основе микроскопическую анизотропию шестиугольных решеток, в которых упорядочены атомы. Может возникнуть вопрос, почему же тогда цинк, атомы которого также объединяются в шестиугольную форму, осаждается при электролизе в виде фрактала (см. левый верхний фрагмент рисунка на с. 68). Ответ состоит в том, что рост, хотя он и не равновесный, оказывается настолько медленным, что разветвление кончиков ветвей сводит на нет анизотропию решетки. Интересно, что если увеличить скорость роста за счет повышения напряжения в электролитической ванне, то начинает чувствоваться анизотропия и в результате образуется древовидная

структура, подобная структуре снежинок (см. правый верхний фрагмент рисунка на с. 68). В настоящее время несколько групп исследователей изучают явление перехода от фрактальных структур к древовидным.

ДО СИХ ПОР мы говорили об агрегации, ограниченной диффузией, т. е. о некоторой разновидности роста, приводящего к образованию фрактальных объектов. Можно ли извлечь какую-то пользу из этих исследований? В частности, приведут ли масштабные свойства, о которых мы говорили выше, к какому-то полезному пониманию других физических характеристик кластеров, помимо геометрических?

Уже появляются первые свидетельства того, что это действительно так. В течение последних нескольких лет Р. Копелман и его коллеги по Мичиганскому университету изучали, например, различные химические реакции, протекающие на перколяционных кластерах (которые являются фракталами, образующимися в равновесных условиях). Исследования показали, что если реакция ограничена кластером, то она ведет себя странно. В отличие от обычных реакций, проходящих с постоянной скоростью, скорость реакции на перколяционном кластере, по-видимому, зависит от времени. Основная причина этого явления заключается в том, что молекулы реагирующих химических веществ, блуждающие по фракталу, диффундируют не так эффективно, как в открытой среде. Им труднее найти друг друга, поскольку их движение ограничено структурой, имеющей множество тупиков.

Скорость реакции, рассматриваемой с позиции фрактального роста, зависит как от фрактальной размерности, так и от характера движения реагирующих веществ на кластере. Сочетание этих двух факторов приводит к появлению еще одного параметра, называемого спектральной размерностью. Этот параметр был введен Ш. Александером из Иерусалимского университета и Р. Обрахом из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе для описания диффузии и динамики на фрактале. И хотя в настоящее время еще отсутствуют прямые экспериментальные доказательства существования спектральной размерности на неравновесных фракталах, есть все основания полагать, что она существует. Ну а в будущем, наверное, само существование фрактальной геометрии раскроет в физике новые горизонты.



ЛИПОСОМЫ, представляющие собой заполненные жидкостью липидные пузырьки, образуются спонтанно при смешивании некоторых жировых веществ в подходящей концентрации с водой или водными растворами. Эта элек-

тронная микрофотография препарата липосом получена П. Куллисом и М. Хоупом из Университета пров. Британская Колумбия (Канада) при помощи метода замораживания — скальвания; средний диаметр везикул 0,00015 мм.

Липосомы

Эти липидные капсулы открывают новый путь поступления лекарств в пораженные ткани. Заключение в такую капсулу лекарственное вещество достигнет своей мишени в концентрированном виде, избежав разбавления в крови

МАРК ДЖ. ОСТРО

ДОЗА, в которой предписывается принимать то или иное лекарство, — это всегда результат компромисса. С одной стороны, все лекарственные препараты потенциально ядовиты, и, следовательно, их нужно принимать в как можно меньшем количестве. С другой стороны, введенное в организм вещество разбавляется в крови, и значительная его часть деградирует, захватывается здоровыми тканями или выводится из организма, так и не достигнув своей цели — пораженного участка ткани. Из-за этого приходится увеличивать дозу лекарства. Врач, считаясь с обеими этими противоположными тенденциями, назначает такую дозу лекарства, которая, по его мнению, будет достаточно высока, чтобы воздействовать на больную ткань, и в то же время достаточно низка, чтобы избежать нежелательных эффектов в здоровых тканях.

С таким, по существу, гадательным подходом неизбежно связаны риск и неэффективность лечения. Стремясь избежать этого, многие лаборатории в настоящее время разрабатывают системы введения лекарств, которые изменяли бы пути лекарства в организме. Задача заключается в том, чтобы доставить лекарственное вещество к больной ткани, одновременно исключив его контакт со здоровыми тканями, и таким образом повысить отношение эффективности лекарства к его токсичности. Одно из перспективных решений этой проблемы обещают липосомы — микроскопические пузырьки, состоящие из тех же фосфолипидов, что и клеточные мембраны.

Такие липидные капсулы можно заполнить самыми различными лекарствами. Благодаря сходству своего состава с составом клеточных мембран липосомы не токсичны для организма. Кроме того, заключенное в них вещество защищено от разбавления и от деградации в крови. В результате, достигнув больной ткани, липосомы приносят туда всю дозу лекарства в концентрированном виде.

Хотя пока что не удается добиться точной адресовки липосом к пораженным участкам, во множестве экспериментов на животных и в ряде клинических испытаний было показано, что при введении в составе липосом лекарства оказываются более эффективными и менее токсичными, чем при введении в свободном виде. В ближайшие десять лет не менее 15 новых курсов терапии, основанных на липосомной технологии, найдут свое применение в практике здравоохранения.

Липосомы лишь недавно стали применяться в клинике, хотя открыты они значительно раньше. Впервые липосомы были случайно получены в 1961 г. А. Бэнгхемом из Института физиологии животных Совета по сельскохозяйственным исследованиям в Кембридже (Великобритания) при изучении влияния фосфолипидов на свертывание крови. Когда в сосуд, содержащий фосфолипидную пленку, попала вода, из молекул фосфолипидов образовывались структуры, которые, как Бэнгхем впоследствии установил, представляют собой микроскопические замкнутые везикулы, состоящие из двухслойных (т. е. толщиной в две молекулы) фосфолипидных мембран и содержащие захваченную из окружающей среды воду.

При смешивании с водой фосфолипиды образуют замкнутые сферические структуры, заполненные жидкостью, отчасти потому, что молекулы фосфолипидов амфифильны: каждая имеет гидрофобный (отталкивающий воду) неполярный «хвост» и гидрофильную (имеющую сродство к воде) полярную «головку». У большинства природных фосфолипидов гидрофобные хвосты молекул представляют собой остатки жирных кислот длиной 10—24 атомов углерода, а гидрофильная головка состоит из остатка фосфорной кислоты, с которым связано одно из нескольких определенных полярных соединений. При смешивании с водой (если концентрация фосфолипидов достаточно высокая) гидрофобные хвосты молекул

спонтанно примыкают друг к другу, вытесняя воду, а гидрофильные головки, напротив, взаимодействуют с молекулами воды.

В результате образуется двойной слой (бислоем), в котором жирнокислотные хвосты располагаются внутри слоя, а полярные головки направлены наружу. Такие мембраны формируют замкнутые пузырьки — липосомы. Одна поверхность мембраны обращена внутрь липосомы, а другая — в окружающую среду. Именно эта замечательная реактивность фосфолипидов по отношению к воде позволяет нагружать липосомы лекарствами. При образовании липосом любые добавленные к воде водорастворимые вещества оказываются в водном пространстве внутри везикул, а любые липидорастворимые компоненты включаются в липидный бислоем.

Липосомы, используемые для доставки лекарств, различны по размерам — от 250 Å до нескольких микрометров в диаметре (напомним, что диаметр эритроцита равен приблизительно 10 мкм). Они применяются, как правило, в виде суспензии. Существуют две стандартные формы липосом: мультиламеллярные везикулы образованные несколькими концентрическими липидными бислоями с прослойками воды между ними, и униламеллярные везикулы, в которых центральное водное пространство окружено одиночным бислоем липидов. Униламеллярные везикулы в свою очередь подразделяются на малые и большие.

СЕЙЧАС, в 80-е годы, применение липидных пузырьков Бэнгхема для транспорта лекарств кажется очевидным, но в середине 60-х годов впервые они были использованы в качестве инструмента исследований. Физиологи, например, расценивали липосомы как упрощенную модель клетки для изучения транспорта ионов через клеточную мембрану, также представляющую собой липидный бислоем. Как и клеточные мембраны, мембраны липосом не являются су-

шественным барьером для воды, но относительно непроницаемы для большинства растворимых в ней веществ.

Исследователям не понадобилось много времени, чтобы понять, что взаимодействие липосом с клетками может быть использовано для до-

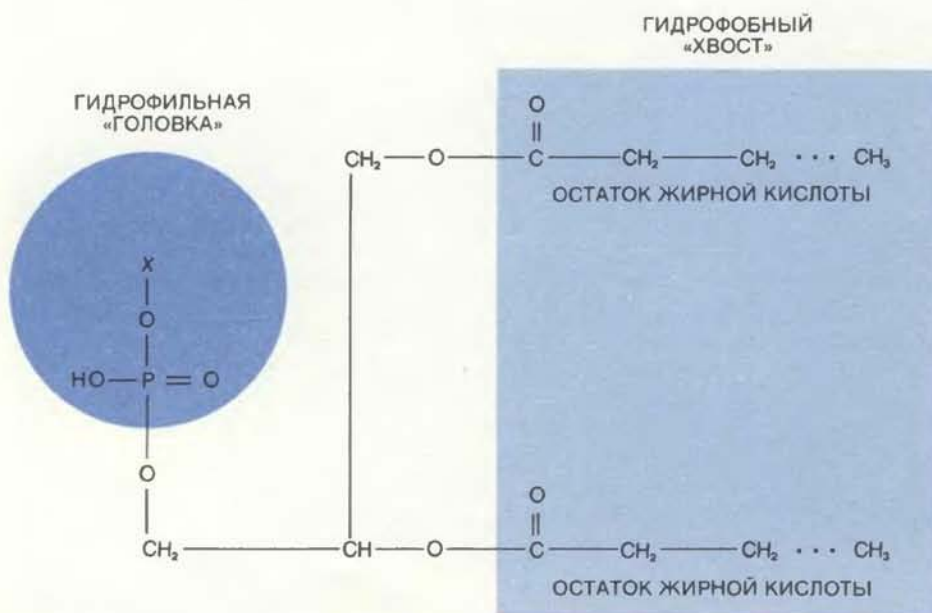
ставления лекарств в нужное место организма, если «научить» липосомы достигать пораженной ткани. При определенных условиях липосомы могут адсорбироваться на клетках почти всех типов. В некоторых клетках после адсорбции липосомные везикулы могут подвергаться эндоцитозу,

т. е. «заглатываться» внутрь клетки. Возможен также обмен липидами между адсорбированными липосомами и клеточными мембранами, а иногда происходит слияние липосом с клетками. При слиянии липосомные мембраны встраиваются в плазматическую (внешнюю) мембрану клетки и водное содержимое липосом смешивается с цитоплазмой (см. рисунок на с. 73). В большинстве известных к настоящему времени медицинских применений используются адсорбция липосом и их эндоцитоз.

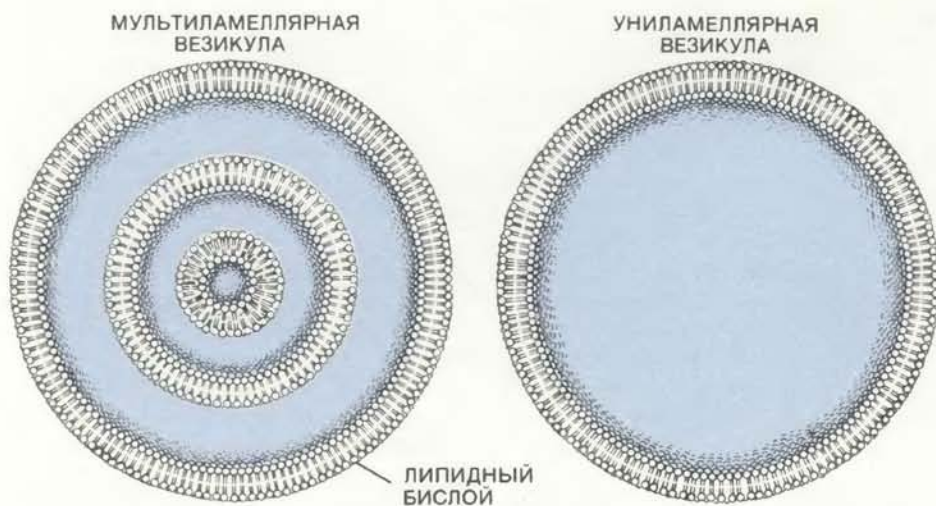
Способность липосом адсорбироваться на клетках практически любого типа и затем медленно высвобождать свое содержимое делает их незаменимыми для создания систем контролируемой постепенной подачи лекарств. Особенно многообещающими в этом отношении представляются мультислойные липосомы, поскольку жидкость из каждого отсека между последовательными слоями может высвобождаться только после нарушения целостности окружающей липидной мембраны — деградации ее под действием ферментов организма, либо каким-то иным образом. Скорость высвобождения лекарства из адсорбированных липосом зависит от многих факторов, включая состав липосомы, тип заключенного в него вещества и специфику связавшей липосому клетки. Покинув липосому, лекарственное вещество, способное проникать через клеточную мембрану, войдет внутрь клетки, вещества же, для которых клеточная мембрана непроницаема, в клетку не попадут.

Эндоцитоз липосом осуществляется лишь некоторыми клетками, а именно теми, которые в норме способны к фагоцитозу и перевариванию посторонних частиц. Оказавшись внутри фагоцитирующей клетки, липосомы перемещаются в субклеточные органеллы, называемые лизосомами, где, как полагают, происходит деградация липосомных мембран. Из лизосом липидные компоненты липосом, по-видимому, возвращаются обратно и включаются в состав клеточных мембран, а другие компоненты липосом, устойчивые к лизосомальной деградации (таковы некоторые лекарственные препараты) могут переходить в цитоплазму клетки.

Обмен липидами состоит в переносе отдельных молекул липидов от липосом к плазматической мембране (и наоборот); водное содержимое липосом при этом не проникает в клетку. Для такого процесса необходим определенный химизм липидов липосомы по отношению к клетке-мишени. После того как эти липиды присоединились к внешней клеточной мембране,



ФОСФОЛИПИДЫ — типичный основной компонент липосом. Здесь изображена схема молекулы фосфолипида. Эти вещества амфифильны: в молекуле имеются гидрофильная «головка», которая может быть одним из нескольких определенных гидрофильных соединений (X), таких, как серин или холин, и гидрофобный «хвост», состоящий из двух остатков жирных кислот длиной 10—24 углеродных атомов каждая. При смешивании фосфолипида с водой гидрофобные части молекул взаимодействуют между собой, вытесняя воду, а гидрофильные взаимодействуют с молекулами воды. В результате формируются заполненные водой везикулы — замкнутые сферические образования, стенкой которых является двойной слой липидных молекул (бислои). Мембраны живых клеток также представляют собой бислои, богатые фосфолипидами.



ЛИПОСОМЫ, образующиеся при смешивании фосфолипидов с водными растворами, могут быть мультислойными (слева) и унислойными (справа). Мультислойные везикулы обладают «луковичной» структурой: концентрические липидные бислои разделены водными прослойками. В унислойных везикулах внутренняя водная фаза окружена одним липидным бислоем. При образовании липосом содержащиеся в реакционной смеси водорастворимые вещества оказываются в водном пространстве везикул, а жирорастворимые — в бислое. Это позволяет нагружать липосомы различными лекарствами.

они могут оставаться в ней более или менее продолжительное время либо перераспределяться между различными внутриклеточными мембранами. Если лекарственное вещество как-либо связано с обменяемым липидом, то оно может проникнуть в клетку в ходе обмена липидами.

Данные о слиянии липосом с клетками противоречивы. Некоторые авторы предполагают, что часть адсорбированных клетками липосом именно сливается с этими клетками. Несколько лет назад в Медицинском центре Иллинойского университета я и мои коллеги вводили в культуру клеток липосомы, которые содержали РНК, кодирующую глобин кролика, и получили данные, свидетельствующие, что липосомы вносили РНК внутрь клеток. Более того, клетки при этом приобретали способность синтезировать кроличий глобин, а значит, проникая в клетки РНК сохраняла свою активность. Если бы липосомы попадали в клетки путем эндоцитоза, то в лизосомах произошла бы их деградация, что сопровождалось бы разрушением РНК.

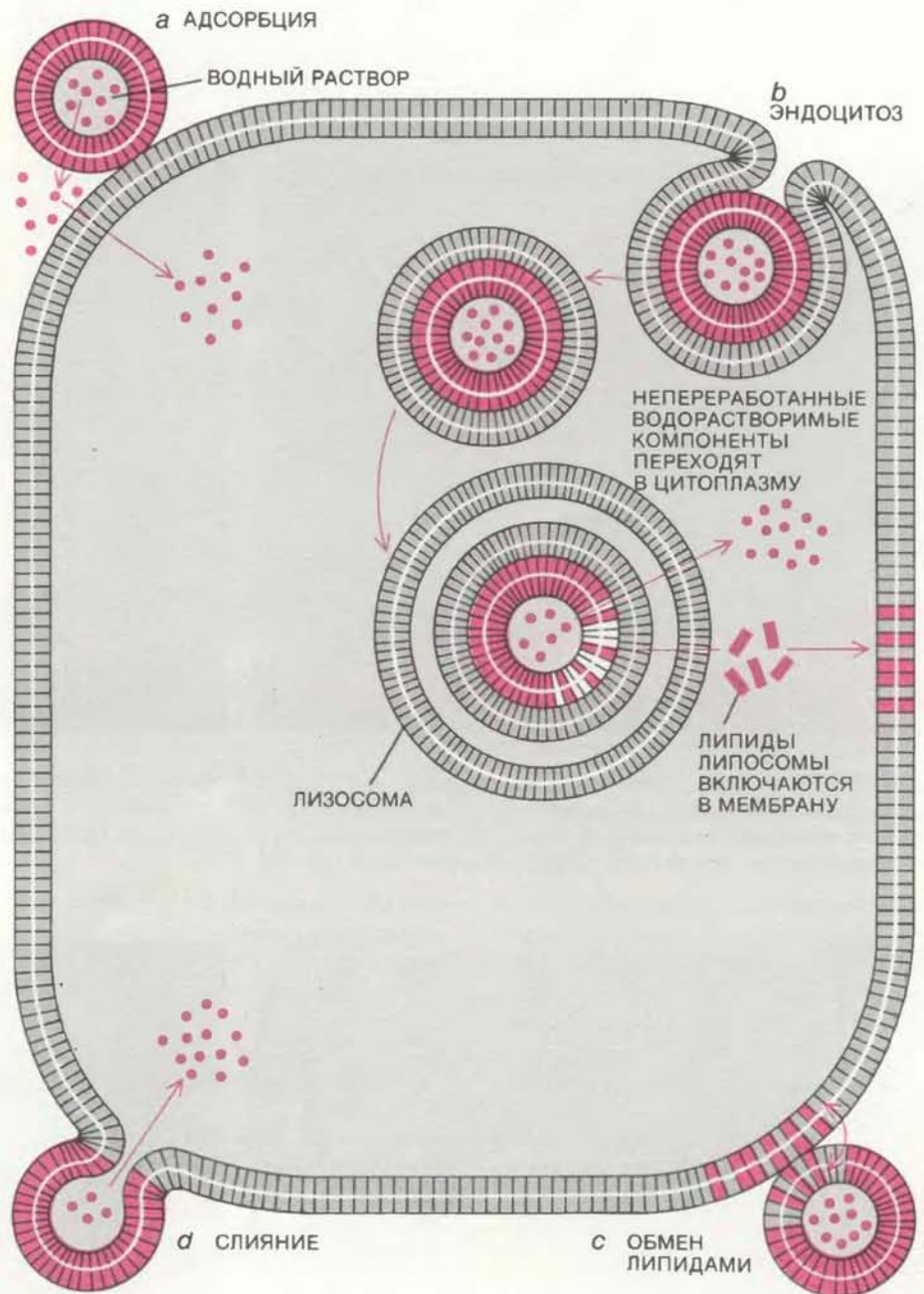
В КОНЦЕ 60-х годов многие исследователи стали задумываться над возможностями липосом как эффективной целенаправленной системы доставки лекарств. Поскольку можно получить липосомы, состоящие из тех же фосфолипидов, что и клеточные мембраны, были все основания считать, что липосомные везикулы не будут токсичны и не подвергнутся атаке со стороны иммунной системы организма. Липидные везикулы получают таким образом возможность вступить во взаимодействие с клетками больной ткани и передать ей свое содержимое. Если эти рассуждения верны и если липосомы действительно можно нагрузить лекарствами, то единственное, что требуется для создания идеальной системы доставки лекарств,— это встроить во внешнюю поверхность липосом тканеспецифичные молекулы, которые бы направляли липосомы к тканям-мишеням.

К середине 70-х годов было показано, что липосомы, состоящие из лецитина (фосфолипид, в состав полярной головки которого входит холин), не имеют явной токсичности. Дж. Вейссман из Медицинской школы Нью-Йорского университета и Д. Папахаджиопулос, работавший тогда в Институте им. Розуэллы Парка, разработали эффективные способы нагружать липосомы молекулами любого сорта, включая ферменты. Было установлено, что отдельная липосома может нести десятки тысяч

молекул лекарственного вещества. Казалась практически решенной и проблема сочетания нагруженных лекарствами липосом с тканеспецифичными агентами: удалось присоединить к поверхности липосом антитела и показать, что в культуре они сохраняют свою способность к прочному

связыванию с клетками-мишенями.

К сожалению, две важные проблемы не решены до сих пор. Прежде всего, липосомы по большей части не могут выйти из циркуляции и потому для большинства тканей вероятность того, что лекарство достигнет клеток, невелика. Когда лекарство не за-



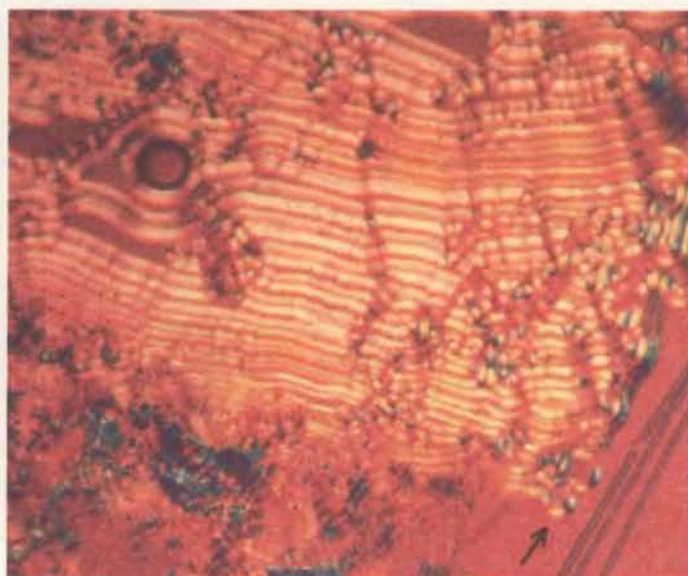
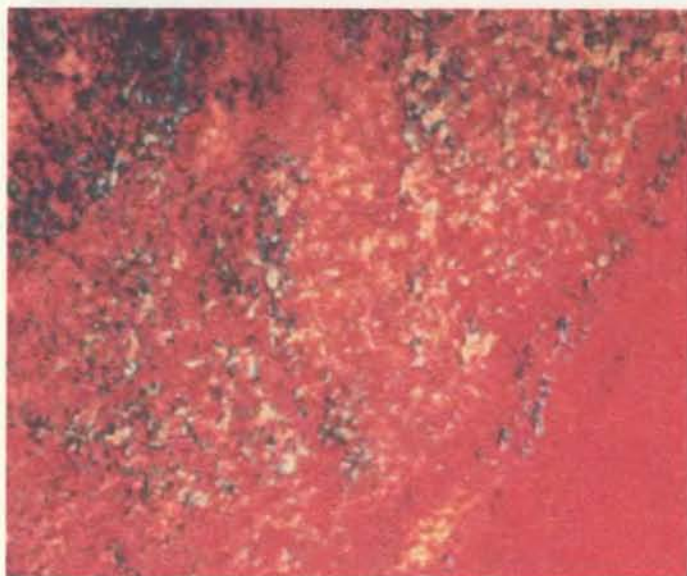
ЛИПОСОМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮТ С КЛЕТКАМИ различным образом. Липосомы адсорбируются на клетках почти всех типов. В некоторых клетках происходит эндоцитоз адсорбированных липосом. Липосомы могут обмениваться липидами с клеточной мембраной и сливаться с ней. Прилепившись к клетке (а), липосома медленно выделяет свое содержимое и часть его может проникать в клетку, что зависит от природы «вытекающих» из липосомы веществ и от специфики клетки. Липосомы, поглощенные путем эндоцитоза (b), перемещаются в лизосомы (внутриклеточные пищеварительные органеллы). Предполагается, что после разрушения в лизосомах липидные компоненты липосом включаются в клеточные мембраны, а компоненты водной фазы, избежавшие деградации в лизосомах, попадают в цитоплазму. При обмене липидами (с) в липосому переходит часть липидов из клеточной мембраны, а часть ее липидов отдается клетке. Если липосома сливается с клеткой (d), ее мембрана объединяется с клеточной, а содержимое становится частью цитоплазмы клетки.

ключено в везикулы и циркулирует в свободном виде, оно, как правило, диффундирует через стенки капилляров в ткани. Но липосомы слишком велики, чтобы проникать через стенки капилляров большинства органов. И, во-вторых, иммунная система организма оказалась способной узнавать липосомы и удалять их из циркуляции. Когда липосомы появляются в кровотоке, циркулирующие белки крови, называемые опсонинами, идентифицируют их как чужеродные

тела и отмечают для последующего выведения «из строя» другими компонентами иммунной системы.

Меченные опсонинами липосомы удаляются из циркуляции клетками ретикулоэндотелиальной системы, в которую входят макрофаги и другие активно фагоцитирующие клетки, рассеянные в лимфоузлах, печени, селезенке, костном мозге, а также циркулирующие в крови и лимфе. Эти клетки захватывают липосомы из циркуляции вне зависимости от их со-

става и размера. Более того, липосомы каким-то образом проникают в межклеточные пространства органов ретикулоэндотелиальной системы, накапливаются там и остаются в течение нескольких дней и недель, до того как фагоцитирующие клетки опознают их, поглотят и «переварят». Захват липосом клетками и органами ретикулоэндотелиальной системы не дает им находиться в циркуляции достаточно долго, чтобы достичь своих мишеней.



ОБРАЗОВАНИЕ ЛИПОСОМ начинается сразу, как только липидная пленка (слева) оказывается в контакте с водой (справа). В нижнем правом углу правого снимка видны две формирующиеся липосомы. Впоследствии вся пленка

превращается в липосомы. (Микрофотографии получены при помощи поляризационного микроскопа Л. Эстисом из Liposome Company, Inc.; увеличение около $\times 360$).



КЛЕТКА МЫШИНОЙ ОПУХОЛИ, покрытая липосомами (имеют вид белых выступов). Липидные везикулы способны адсорбироваться на мембранах почти любых клеток. (Фотография получена при помощи сканирующего электронного микроскопа автором; увеличение около $\times 9750$.)



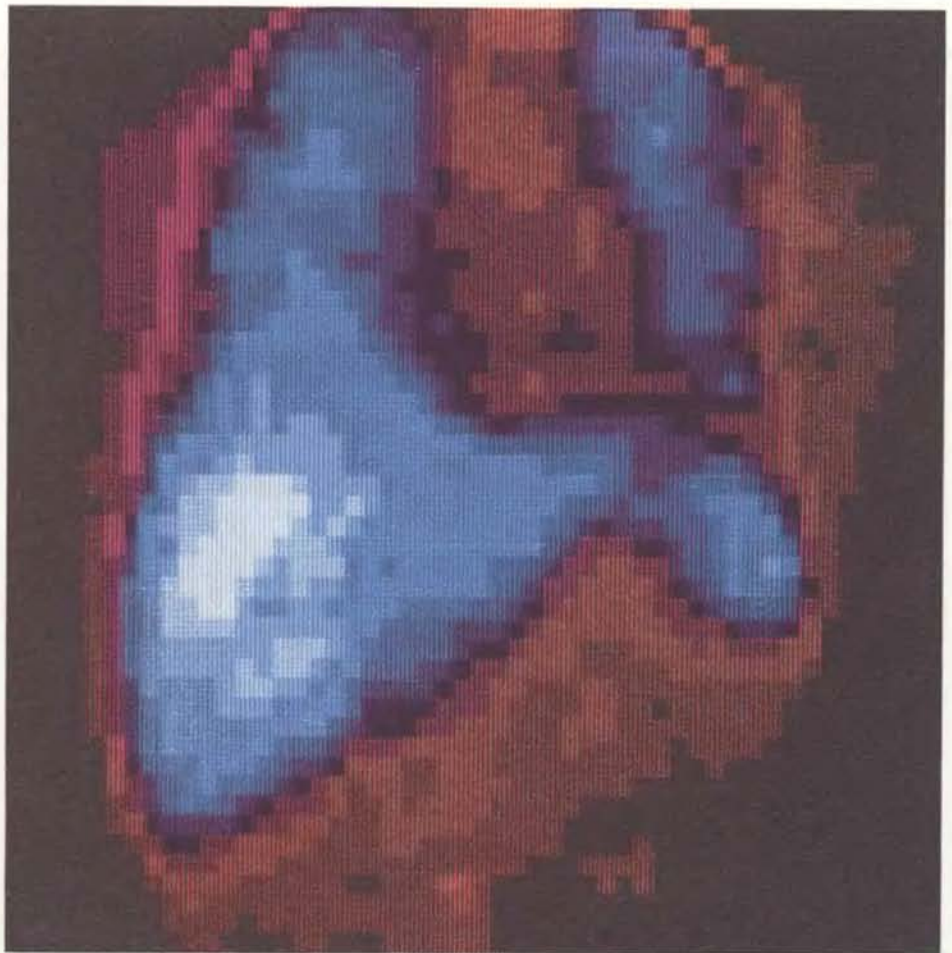
МЕМБРАНЫ клеток, инкубированных с липосомами, обладают зеленым отливом, так как клетки путем обмена липидами захватили из липосом жирорастворимый флуоресцирующий краситель. (Изображение получено Р. Пагано из Университета Карнеги в Вашингтоне.)

ЭТИ ОБСТОЯТЕЛЬСТВА ограничивают применение липосомного метода введения лекарств в случае определенных заболеваний, но тем не менее липидные везикулы кажутся многообещающими для лечения многих болезней и для повышения эффективности некоторых экспериментальных вакцин. В частности, когда сами клетки ретикулоэндотелиальной системы заражены бактериями или паразитами, липосомы вполне могут обеспечить эффективную и целенаправленную доставку лекарства. Лишь немногие лекарства в свободном виде способны проникать в клетки ретикулоэндотелиальной системы, что делает трудным или невозможным лечение инфекций этих клеток обычными путями.

Желая проверить возможности липосомного метода относительно инфекций ретикулоэндотелиальной системы, К. Олвинг из Армейского научно-исследовательского института им. Уолтера Рида и независимо К. Блэк из Зоологического общества в Лондоне применили липосомы для лечения лейшманиоза. Это заболевание вызывается лейшманиями — паразитами из группы простейших. Оно широко распространено (сейчас в мире около 100 млн. больных) и является одной из главных проблем общественного здравоохранения. Лейшманиоз может привести к смертельному исходу, если паразиты проникнут в клетки печени и селезенки, что происходит в отсутствие лечения. Даже когда проводятся соответствующие лечебные мероприятия, много больных умирает, потому что обычно применяемые при лейшманиозе препараты представляют собой соединения мышьяка, которые в больших дозах вызывают нарушения деятельности сердца, печени и почек. Столкнувшись с лейшманиозом, как и в случае других паразитарных заболеваний, врач часто оказывается в трудном положении, когда ему остается лишь надеяться, что лекарство уничтожит возбудителя инфекции раньше, чем тот убьет больного.

Олвинг и Блэк обнаружили, что если мышьяк содержащее лекарство заключить в липосомы, то резко снижается доза, необходимая для лечения им лейшманиоза. Одно из таких лекарств, введенное в составе липосом, в опытах с зараженными лейшманиозом хомьячками оказалось в 700 раз более эффективным по сравнению с тем же препаратом в свободном виде. (Во всех исследованиях, описанных в этой статье, лекарства вводились в вену или в брюшную полость.)

К удивлению Олвинга, при анализе электронных микрофотографий куп-



СКАНИРОВАНИЕ γ -ЛУЧАМИ выявило участки захвата липосом (голубые и белые квадраты). Через 24 часа после введения человеку липосомного препарата путем внутривенной инъекции липосомы скапливаются в легких (вверху справа и слева), печени (внизу слева) и селезенке (внизу справа). Они захватываются также костным мозгом и лимфоузлами (не показано). Изображение получено в лаборатории Г. Лопес-Берестейна.

феровских клеток (ретикулоэндотелиальных клеток печени) выявилось, что по крайней мере часть липосом, захваченных этими клетками, поглощалась, и вероятно, переваривалась паразитами, находившимися внутри клеток. Другими словами, липосомы попадали прямо в свою мишень — паразитов. Заключенное в везикулах сильно действующее лекарство высвобождалось именно там, где это было нужно, — внутри клеток лейшманий — и приводило к их гибели.

За последние пять лет исследователям, изучающим возможности применения липосом, удалось добиться успеха в лечении множества разнообразных инфекций ретикулоэндотелиальной системы в экспериментах на животных. В частности, липосомы, содержащие обычно назначаемые антибиотики, оказались очень хороши для лечения таких бактериальных заболеваний, как бруцеллез, листериоз и острый сальмонеллез. У морских свинок, больных бруцеллезом, свободный стрептомицин ни в каких дозах не давал желаемого эффекта, тог-

да как всего лишь 1 мг этого антибиотика, заключенного в липосомы, было достаточно для излечения. Для подавления листериоза у мышей требовалось 48 мг свободного пенициллина, а при введении антибиотика в составе липосом хватало 0,54 мг. Иначе говоря, упаковка лекарства в липосомы может превратить его из неэффективного в эффективное.

ЛИПОСОМНЫЙ метод введения лекарств оказался эффективным против заболеваний ретикулоэндотелиальной системы, так как клетки этой системы способны захватывать липосомы. Каким же образом действуют липидные везикулы в случае заболеваний иных клеток и органов? По неясным пока причинам липосомы могут увеличивать эффективность лечебного действия и снижать токсичность лекарственных препаратов, применяемых для лечения таких различных заболеваний, как пиелонефрит (бактериальная инфекция почек), системные грибковые инфекции и рак.

В отличие от бруцеллеза пиелонефрит излечивается свободными аминогликозидами, но вводить лекарства необходимо в течение нескольких дней или недель. При этом врач должен тщательно контролировать дозу препарата, так как высокие концентрации могут приводить к потере слуха либо нарушению функций почек или к обоим осложнениям сразу (аминогликозиды обладают родством к клеткам почек и к черепно-мозговому нерву, ответственному за слух). В экспериментах на животных одноразовая инъекция заключенного в липосомы аминогликозидного препарата в дозе 16 мг на 1 кг веса полностью останавливала развитие инфекции, тогда как та же доза лекарства в свободном виде была малоэффективной. При увеличении дозы свободного аминогликозидного препарата до 32 мг на 1 кг веса излечение наблюдалось в 56% случаев, а более высокие дозы неприемлемы из-за токсичности лекарства.

Системные грибковые инфекции чаще всего поражают людей, у которых сопротивляемость организма понижена вследствие болезни или приема лекарств, угнетающих иммунную систему. Так, у жертв синдрома приобретенного иммунного дефицита и у больных раком, подвергавшихся химиотерапии, грибковые заболевания могут приводить к потере трудоспособности и к смерти. Грибковые инфекции нередко бывает трудно вылечить, потому что вещества, обладающие противогрибковым действием, высоко токсичны. В экспериментах на

мышцах амфотерицин В (сильнодействующий противогрибковый агент) в составе липосом излечивал системные грибковые инфекции значительно более эффективно, чем в свободном виде. Это обусловлено главным образом тем, что для лекарства, заключенного в липосомы, можно назначать более высокие дозы, не увеличивая при этом токсичность. В свободном виде амфотерицин В высокотоксичен для почек.

Данные о лечении людей, страдающих системными грибковыми инфекциями, еще более впечатляющи. Г. Лопес-Берестейн и его коллеги из больницы Андерсона в Техасском университете и Онкологического института в Хьюстоне вводили заключенный в липосомы амфотерицин В двадцати больным с подавленной иммунной системой, которые не поддавались лечению обычными методами, и у десяти из них грибковую инфекцию удалось полностью вылечить, а у остальных состояние значительно улучшилось. В настоящее время Лопес-Берестейн расширяет свои исследования и намерен проверить метод на большем числе больных.

При лечении многих солидных злокачественных опухолей и лейкозов используется доксорубин, атакующий быстро делящиеся клетки. Наиболее серьезным побочным эффектом этого препарата является прогрессирующее необратимое нарушение сердечной деятельности. Кроме того, доксорубин воздействует на клетки волосяных фолликулов, кишечника и клетки иммунной системы,

вследствие чего наблюдаются выпадение волос, тошнота, рвота и ослабление иммунного ответа. В ряде лабораторий в США, Канаде и Израиле в опытах на грызунах и собаках было обнаружено, что доксорубин, заключенный в липосомы, так же эффективен, как в свободном виде, но в несколько раз менее токсичен для сердца. Недавно удалось показать, что введенный в составе липосом, доксорубин вызывает значительно меньше побочных эффектов и у человека.

Все эти данные невозможно объяснить каким-то одним механизмом. Феномен, известный под названием «нагрузка ретикулоэндотелиальной системы», удовлетворительно объясняет эффективность липосомного метода введения аминогликозидов при пиелонефрите и некоторых других лекарств в случае ряда инфекционных заболеваний. Макрофаги и другие клетки ретикулоэндотелиальной системы циркулируют с кровью, играя роль подвижных защитных сил организма против проникших извне патогенов. Как только начинается инфекция, эти клетки направляются к зараженному участку, где они поглощают патогенные частицы и по возможности их разрушают. В случае тяжелой инфекции может оказаться, что нормальные количество и мощность ретикулоэндотелиальных клеток недостаточны для ее преодоления. Не исключено, что клеткам, которые, перед тем как отправиться к участку инфекции, путем эндоцитоза поглотили липосомы с антибиотиком, легче раз-



ЗАРАЖЕННЫЕ ПАРАЗИТАМИ КУПФЕРОВСКИЕ КЛЕТКИ печени хомячка сфотографированы вскоре после эндоцитоза липосом, нагруженных антипаразитным агентом (слева). Эти клетки являются частью ретикулоэндотелиальной системы, которая включает фагоцитирующие клетки, удаляющие из циркуляции крупные чужеродные частицы. Попав в клетку, липосома (продолговатое образование в



верхней части левого снимка) адсорбируется на паразитическом микроорганизме (большое сферическое тело) и затем каким-то образом захватывается им (справа). Содержащееся в липосоме лекарство вызывает гибель микроорганизма. Фотографии получены при помощи просвечивающего электронного микроскопа в лаборатории К. Олвинга.

рушать патогены. По существу фагоцитирующие клетки с успехом превращаются в систему адресной доставки лекарства.

Правильность теории нагрузки ретикулоэндотелиальной системы не вызывает сомнений, но она не может объяснить лечебного эффекта введения амфотерицина В в составе липосом у больных с подавленной иммунной системой, пораженных грибковой инфекцией, и доксорубина у больных раком. При ослабленной иммунной системе в организме отсутствуют циркулирующие фагоцитирующие клетки. При раке макрофаги не скапливаются возле раковых клеток, которые часто бывают способными избегать контроля со стороны иммунной системы.

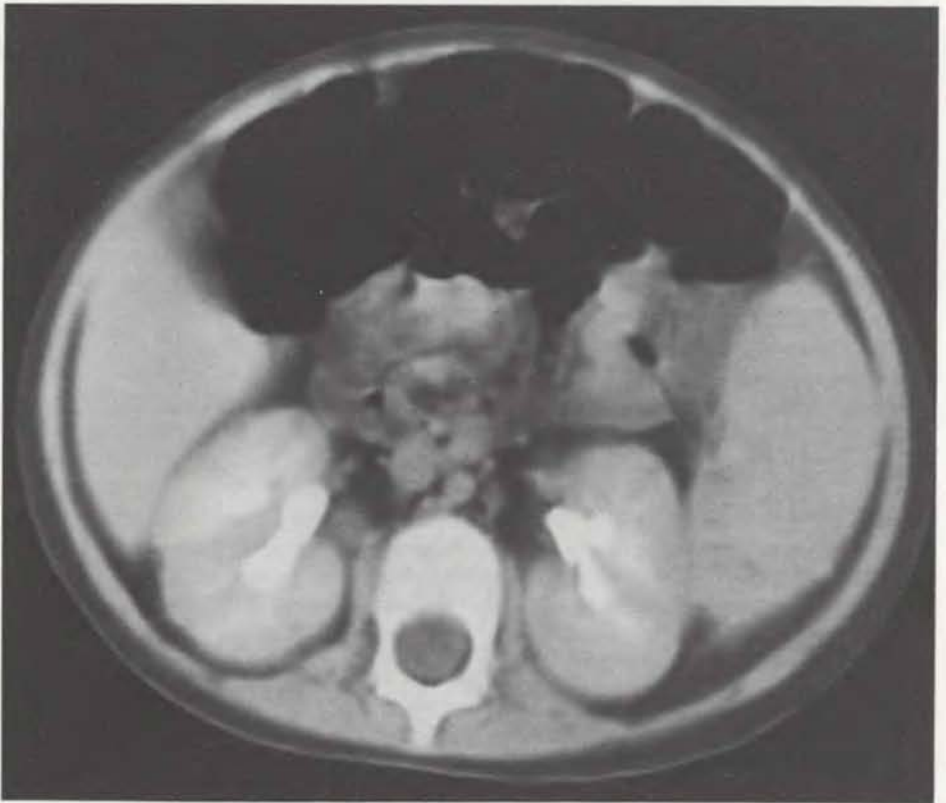
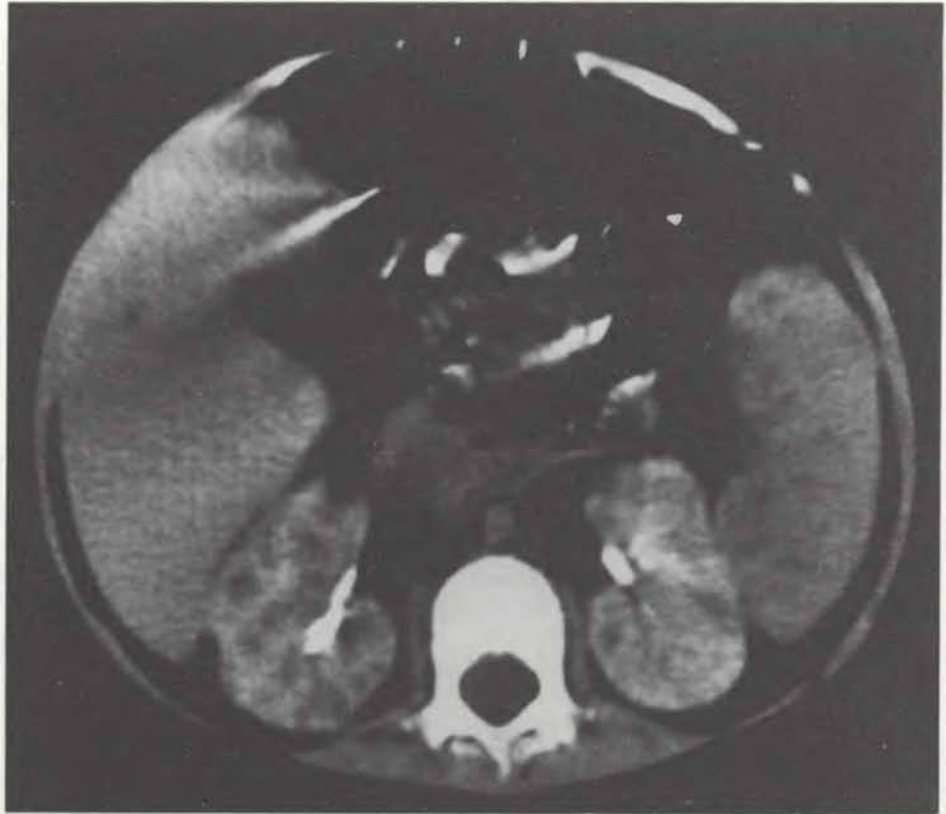
ЛЕЧЕБНОЕ действие липосом с амфотерицином В при системных грибковых инфекциях можно объяснить тем, что кровеносные сосуды в зараженных участках повреждены, и это позволяет липосомам переходить из кровотока в пораженную ткань. Амфотерицин В, легко связывающийся с клеточными стенками грибов, является гидрофобным соединением и, следовательно, располагается в мембранах липосом, а не во внутреннем водном пространстве. Как только липосомы адсорбируются на грибковой клетке, лекарство из липосомных мембран переходит в клетку (благодаря такому же процессу, как обмен липидами) и там оказывает свое разрушительное действие.

В случае доксорубина можно предположить, что липосомы захватываются в межклеточное пространство органов ретикулоэндотелиальной системы, таких, как селезенка или печень, где мембраны липосом медленно подвергаются ферментативной деградации и заключенный в них доксорубин, постепенно высвобождаясь, переходит в кровь. Таким образом обеспечивается слабое, но постоянное поступление лекарства к опухоли. Имеются данные о том, что при медленной инфузии свободного доксорубина он так же эффективен, как при серии инъекций высоких доз, но оказывает меньшее токсическое действие. Кроме того, известно, что кровоснабжение некоторых опухолей осуществляется слабыми пористыми капиллярами, не препятствующими накоплению в опухолевой ткани липосом, а это делает возможным медленное локальное высвобождение доксорубина.

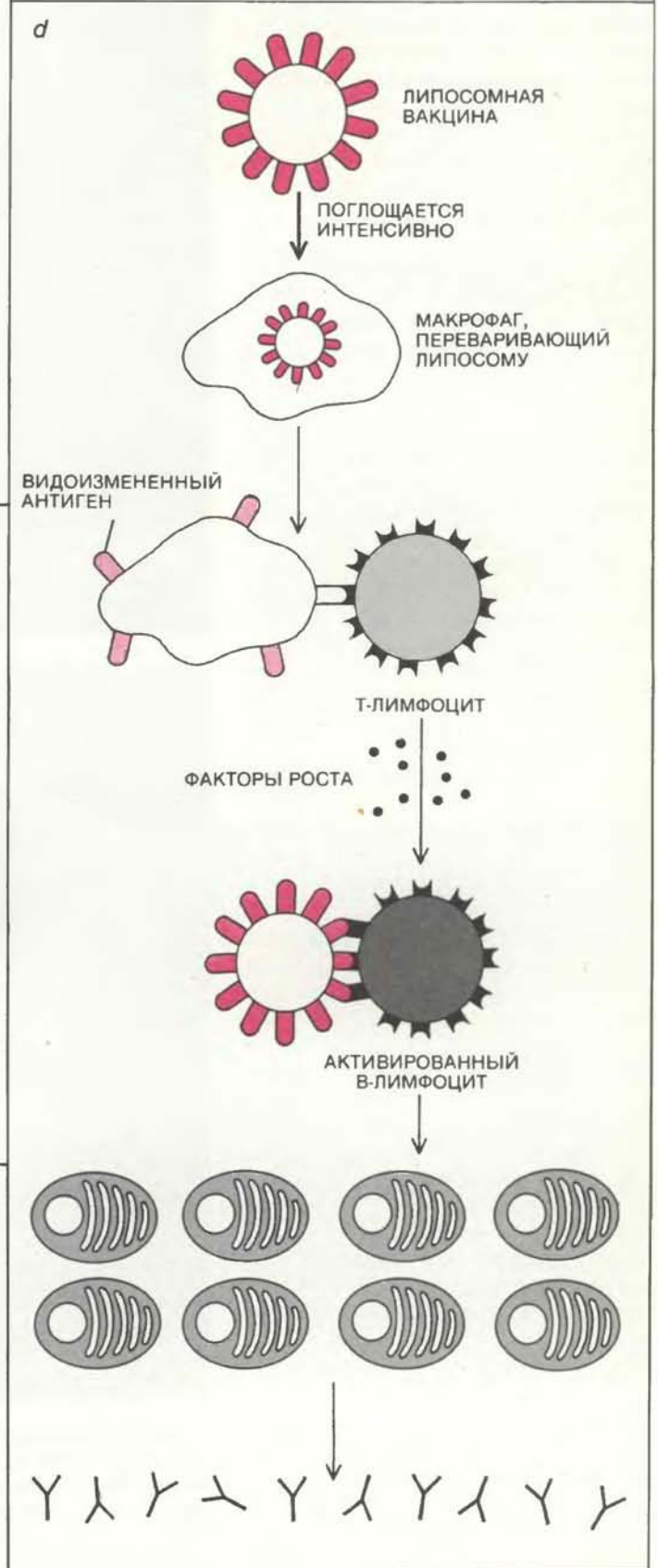
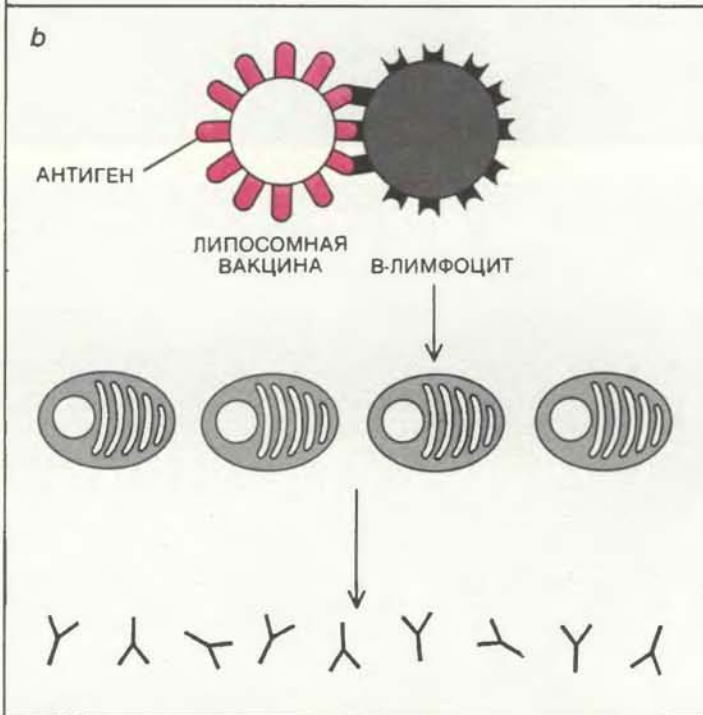
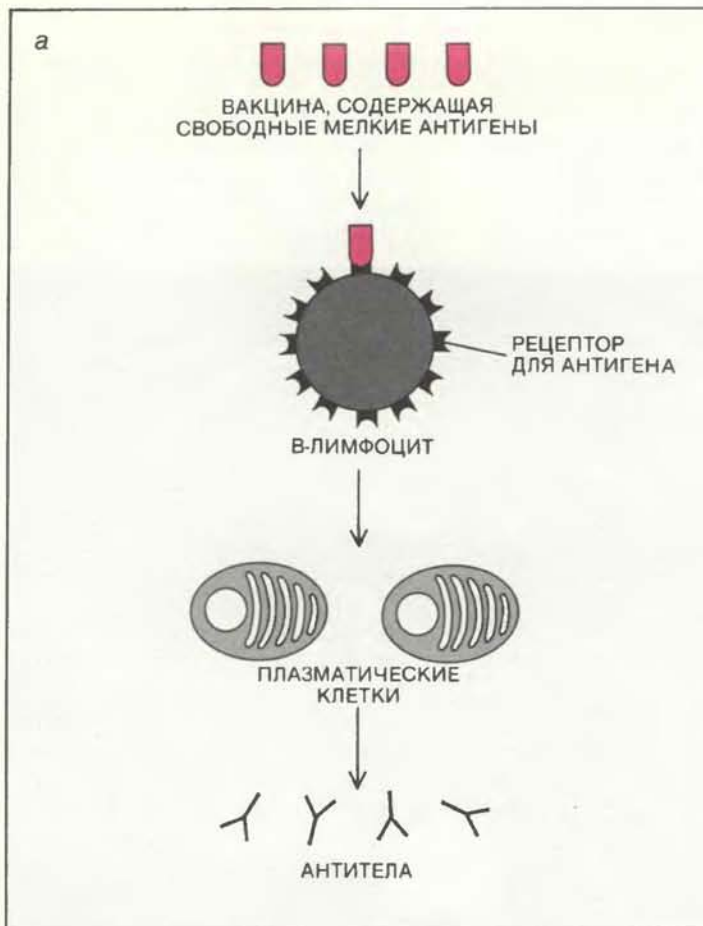
В целом при липосомном методе введения лекарства менее токсичны, чем в свободном виде, по-видимому, просто потому, что липосомы, как правило, не покидают общую цирку-

ляцию, за исключением того, что они захватываются клетками и органами ретикулоэндотелиальной системы или переходят в ткани в поврежденных участках в сети капилляров. Если липосомы с аминогликозидом не достигают клеток почек, а липосомы с

доксорубином — клеток сердца, то эти клетки, естественно, и не подвергаются вредному действию заключенных в липосомах веществ. Почему же сами фагоцитирующие клетки не повреждаются препаратами, которые они поглощают в составе липосом?



ПОЧКИ двухлетней девочки, страдающей лейкозом и системной грибковой инфекцией, были сильно заражены, как выяснилось при обследовании с помощью сканирующего устройства САТ, проведенном в лаборатории Г. Лопес-Берестейна (на снимке вверху зараженные участки видны как темные пятна). После нескольких курсов лечения липосомным противогрибковым препаратом все признаки грибковой инфекции исчезли (внизу).



ЛИПОСОМЫ усиливают иммунный ответ на мелкие антигены, используемые в качестве вакцин. Антиген связывается с В-лимфоцитами, что вызывает их созревание и превращение в плазматические клетки, которые размножаются и секретируют специфичные к нему антитела (а). Когда антиген находится в составе липосом, этот путь иммунного ответа интенсифицируется, так как каждая В-клетка связывает одновременно несколько молекул антигена (b). Другой путь, в котором принимают участие макрофаги, зачастую вообще не активируется свободными мелкими антигенами (c), но может быть приведен в действие липосомами (d). Когда липосомы содержат антиген, макрофаги поглощают их, перерабатывают антиген и он в измененном виде появляется на поверхности макрофагов. С этими макрофагами связываются Т-клетки и выделяют факторы, которые стимулируют превращение специфичных к антигену В-клеток в размножающиеся плазматические клетки, производящие антитела.

Мы не можем пока дать удовлетворительного ответа на этот вопрос, но есть основания полагать, что клетки ретикулоэндотелиальной системы способны разрушать или инактивировать некоторые лекарства, в том числе доксорубин. Такая деградация объясняет, почему при лечении рака доксорубин, который предположительно захватывается фагоцитирующими клетками, в составе липосом вызывает меньшее ослабление иммунного ответа, чем в свободном виде.

Ясно, что одной-единственной гипотезой нельзя объяснить все случаи успешного применения липосомного метода. Этот способ введения лекарств в организм улучшает их эффективность и снижает токсичность, вероятно, благодаря нескольким различным механизмам или комбинациям механизмов, пока не известных.

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ заболевания не менее важно, чем его лечение. В этом отношении липосомы тоже ценны: их можно использовать для получения безопасных и эффективных вакцин против вирусов, бактерий и паразитов. Со времен первой осповакцины, полученной около 200 лет назад, для создания вакцин использовались авирулентные или ослабленные штаммы микроорганизмов. Иммунная система организма распознает такие патогены как чужеродные и производит антитела против них. Иммунный ответ реализуется по крайней мере двумя путями. С одной стороны, поверхностные антигены патогена связываются с рецепторными молекулами белых клеток крови, называемых В-лимфоцитами. В результате эти клетки превращаются в плазматические клетки, которые размножаются и секретируют антитела, специфичные к данному патогену. Во-вторых, попавший в организм патоген поглощается циркулирующими макрофагами, и затем видоизмененный его антиген экспонируется на поверхности макрофага. С этим антигеном связываются другие белые клетки крови — Т-лимфоциты, что вызывает определенную последовательность событий, результатом которой является дальнейшее размножение плазматических клеток и увеличение количества антител.

Вакцины, содержащие патогенный микроорганизм в целом виде, стимулируют образование антител обоими путями, вызывая сильный иммунный ответ организма. В то же время они несут известный риск. Иногда после вакцинации ослабленным или убитым патогеном у человека возникает связанное с этим патогеном заболевание. Чаше при применении таких вак-

цин наблюдаются различные побочные эффекты: от простой лихорадки до синдрома Гийена—Барре (относительно редкого заболевания, заключающегося в воспалении нервов, обуславливающим, как правило, временный паралич; этот синдром связывают с некоторыми вакцинами против гриппа).

Из-за рискованности применения вакцин на основе цельного патогена многие исследователи обратились к технологии рекомбинантных ДНК и к методам синтеза пептидов. Эти подходы позволяют получать небольшие антигены, встречающиеся в мембранах вирусов, бактерий и паразитов. Инъекция животным таких неполных вакцин — пептидов, являющихся частью поверхностного компонента патогена, — при определенных условиях может стимулировать образование антител, которые впоследствии должны будут инактивировать вирусы, бактерии и паразитов, обладающих соответствующими поверхностными антигенами. К сожалению, на большинство мелких белков иммунный ответ, как правило, слабый. Макрофаги, в частности, неохотно захватывают и перерабатывают мелкие антигены.

Для усиления иммунного ответа у лабораторных животных антигены обычно смешивают с адьювантами — веществами, стимулирующими иммунный ответ. В состав адьювантов входят бактериальные экстракты. Они пригодны для животных, но у человека оказывают на ткани сильное местное токсическое действие, например, вызывают воспаление. За исключением одного слабого адьюванта, до сих пор не удалось подобрать эффективных адьювантов для введения человеку неполных вакцин на основе антигенов.

Эту проблему можно решить с помощью липосом. Антигены, включенные в состав поверхностной мембраны липосом, приобретают способность вызывать сильный иммунный ответ. Так, например, липосомы, содержащие в мембране липид А (нетоксичный компонент бактериального экстракта), предложено использовать в качестве адьюванта для антигенов, обычно встречающихся у возбудителей холеры, малярии, гепатита В и сальмонеллеза. Во всех случаях у лабораторных животных в ответ на антиген в составе липосом образовалось значительно больше антител, чем при иммунизации свободным антигеном. У многих животных «липосомные» вакцины вызвали тысячелетнее усиление образования антител.

Такие вакцины усиливают образование антител, по-видимому, благо-

даря стимуляции обоих описанных выше путей иммунного ответа. Вероятно, когда к В-лимфоциту прилипает липосома, содержащая в своей мембране молекулы антигена, и сразу множество таких молекул связывается с рецепторами В-клетки, то плазматические клетки, в которые превращаются эти В-лимфоциты, размножаются быстрее, чем после активации единичным антигеном. Так же и макрофаги слабо поглощают мелкие антигены, но легко и быстро осуществляют эндоцитоз липосом. Попав в результате эндоцитоза внутрь макрофага, антигены, заключенные внутри липосом или встроенные в их мембраны, высвобождаются при деградации липосом и, должным образом модифицированные, появляются на поверхности макрофага. Теперь эти антигены могут привести к активации Т-лимфоцитов и дополнительному размножению плазматических клеток, производящих антитела.

За два последних десятилетия липосомы превратились из предмета лабораторных исследований в перспективный объект практического использования. Одно время казалось, что коммерческое производство липосом, предполагающее получение стабильных, стандартных по размеру стерильных везикул в большом количестве, представляет невыполнимую задачу. Но удалось найти несколько плодотворных путей преодоления этих трудностей. Так, например, препараты липосом, которые часто имеют консистенцию молока, можно превращать в порошок (для этого их подвергают лиофилизации), а когда нужно — возвращать в исходное состояние. Можно делать «пустые» липосомы и нагружать их лекарством непосредственно перед использованием; при этом исчезает проблема «вытекания» лекарства из везикул. Появились методы, позволяющие контролировать размер липосом и получать большие (многолитровые) стандартные партии стерильных липосомных препаратов.

Несмотря на эти успехи и обнадеживающие лабораторные и клинические исследования, липосомный метод введения лекарств не найдет широкого применения, пока не станет известно более подробно, что происходит с липосомами в организме, и пока безопасность и эффективность лечебного действия липосомных препаратов не будет доказана в тщательных испытаниях на людях. На это нужно немало времени, но работа идет, и прогресс очевиден. Липосомы несут в себе очень много возможностей, особенно в отношении тех лекарственных средств, которые потенциально токсичны.

Эволюция руна

Свойства шерстного покрова овец и развитие текстильного ремесла тесно связаны между собой. Селекция овец на протяжении тысячелетий привела к появлению современных типов руна

МАЙКЛ Л. РАЙДЕР

ДОМАШНЯЯ ОВЦА имеет густой шерстный покров, а ее руно является ценным сырьем. С эволюционной точки зрения прошло совсем немного времени с тех пор, когда шерстный покров домашней овцы был почти таким же, как у многих других диких животных. «Всего» 8000 лет назад овца была покрыта не белым руном, а коричневой шерстью, состоявшей из выступающих остевых, или грубых, волос, которые ежегодно линяли, и тонкого подшерстка, также периодически сбрасываемого. Использование человеком этих животных, подобных североамериканским толсторогам, не могло способствовать развитию текстильной технологии (стрижке шерсти, ее крашению, прядению и ткачеству), вызванному целенаправленным выведением домашней овцы.

Большая часть селекционной работы, приведшей к созданию известных сегодня типов руна, относится к доисторическому времени, однако развитие овцеводства даже в более поздний период хронологически почти не отмечено. Тем не менее сохранились три косвенных свидетельства. Так, были найдены образцы шерсти, датированные 1500 г. до н.э., в виде кусочков ткани, а также в виде шерстного покрова на остатках овечьей кожи. Дошедшие до нас изображения овцы (скульптурные, рельефные и в росписях) дают возможность составить представление о еще более древних рунах. Третьим, самым древним свидетельством могут служить некоторые породы овец, еще существующие в отдаленных районах, или те животные, которые много веков назад отбились от человека и с тех пор не были одомашнены. Их шерстный покров почти не изменился с того времени, и эти животные являются как бы живой иллюстрацией того, с чего начинался процесс, приведший к появлению современного руна.

Изменение качества шерстного покрова овцы, а следовательно, и качества руна следует рассматривать в тесной связи с развитием текстильного дела. В некоторых случаях те или

иные новшества в текстильной технологии приводили к изменению (селекционным путем) определенных свойств шерстного покрова. В других случаях происходило обратное явление, когда какие-то особые свойства шерсти стимулировали новые способы ее обработки.

ПО КАЧЕСТВУ шерсть диких овец мало отличалась от шерсти других диких животных, поэтому овец стали одомашнивать скорее всего не из-за шерсти. Как и многие другие животные, дикие овцы служили нуждам человека: они давали мясо и жир, их кости и рога использовались для изготовления орудий труда, а шкуры — для одежды. Постепенно эти животные стали приобретать все большее значение для человека каменного века.

Форма охоты, при которой охотники, преследовавшие добычу не убивали, а стремились изловить животных, возможно, явилась первым этапом в процессе постепенного их одомашнивания. Пойманных животных необходимо было поместить в загон и защищать. Процесс одомашнивания закончился самое позднее 11 000 лет назад. Остатки, по-видимому, уже одомашненных овец находят при раскопках поселений эпохи неолита (когда стали появляться первые поселения земледельцев) у подножия Загросских гор, где проходит граница между Ираном и Ираком. Вместе с козами, которые были одомашнены приблизительно в это же время, овцы стали первыми представителями домашнего скота.

Одомашнив овцу, человек стал все больше использовать это животное для своих хозяйственных нужд. Однако шерстистое руно было получено им далеко не сразу. На Корсике и Сардинии сохранилась порода овец, муфлоны, которые, как полагали сначала, были всегда дикими. Теперь же считается, что именно муфлоны были «предками» домашних овец на этих островах, где первые поселения появились примерно в шестом тысячелетии до н.э. Шерстный покров муфло-

нов состоит из тонкого подшерстка и грубого остевого волоса и отличается совсем мало от шерстного покрова настоящих диких овец, например толсторога. Это означает, что в течение 3000—4000 лет после одомашнивания овцы на Среднем Востоке ее шерстный покров изменился незначительно. (Действительно, так называемая шерстная африканская и индийская овца, как и муфлон, все еще имеет остевой волос, несмотря на длительный процесс одомашнивания. Это можно объяснить отсутствием спроса на шерсть в условиях тропического климата.)

Поначалу одомашненная овца служила главным образом источником мяса. Это животное давало также шкуру для изготовления одежды. Можно предположить, что уже на этой стадии производился, хотя и непреднамеренно отбор животных с более мягким шерстным покровом. Овцы с очень тонкой мягкой шерстью, видимо, ценились больше, чем грубошерстные, и сохранялись дольше перед забоем, поэтому они оставляли больше потомства.

Живые одомашненные животные ценились больше, чем забитые, даже если они не давали такой продукции, как шерсть. В качестве «живых» запасов пищи, они служили подтверждением престижности и экономической гарантией. Забитая овца стоила не больше, чем ее мясо, кости, рога и шкура. Возможно, что, стремясь сохранить стада, первые пастухи стали доить овец, а не забивать их. Вероятно, по той же причине они вместо шкур начали использовать их шерсть.

ВОЙЛОК из шерсти, видимо, был самым древним текстильным изделием, изготовленным из волокон животного происхождения. Вопрос о том, какой из образцов войлока, обнаруженных археологами, является самым древним, пока остается нерешенным. Археологи, проводившие раскопки в Катар-Хьюке (Турция), датированном 6500 г. до н.э., сообщили, что ими были обнаружены образцы войлока, однако исследованная



МУФЛОНОВЫЕ И МЕРИНОСОВЫЕ ПОРОДЫ ОВЕЦ находятся на противоположных концах истории развития руна. Овца породы муфлон (фото вверху) появилась на островах Корсика и Сардиния, как предполагается, вместе с первыми поселенцами около 6000 лет назад. Позже муфлоны отбились от людей и сохранились как порода диких овец. Коричневый шерстный покров этих живот-

ных состоит из грубого волоса, называемого остью, и тонкого подшерстка, такого же, что и у диких овец. Как и все дикие овцы, муфлоны линяют. Мериносовые породы овец появились в Испании в средние века. В настоящее время они разводятся во многих регионах земного шара. Шерсть овец этой породы очень однородна по тонине, имеет белый цвет и не линяет.

мною ткань, найденная в этом месте, оказалась льняной. Самые ранние, признанные всеми, образцы войлока датируются значительно более поздним временем. Однако изготовление войлока — дело гораздо более простое, чем прядение и ткачество. Как получать войлок, возможно, подсказала людям сама природа.

Процесс свойлачивания зависит от микроскопической чешуйчатой структуры шерстяного волокна. Когда волокна в своей массе трутся друг о друга, чешуйки поверхностного слоя заставляют их перемещаться только в одном направлении, в результате чего шерсть оказывается необратимо запутанной. Тепло, делающее волокно более мягким, и влага, как бы смазывающая его, ускоряют свойлачивание. В результате шерстный покров овец ко времени линьки превращается в связанную массу. У таких примитивных пород овец, как муфлоны, чья шерсть стала впервые использоваться для изготовления войлока, я наблюдал, как подшерсток часто перепутывался с остевым волосом и сваливался перед тем, как отделиться при линьке. Возможно, что подобные наблюдения навели людей на мысль, как изготавливать войлок. Постепенно значение селекционного разведения этих животных с целью улучшения их шерстного покрова возросло, особенно в то время, когда первобытные люди научились получать из волокна пряжу и изготавливать из нее ткань. Самые древние образцы шерстяной ткани, изготовленной примерно в 1500 г. до н.э., которые обнаружены в болотах Дании, несомненно, свидетельствуют о существовании в то время прядения и ткачества. Хотя более древние из найденных образцов являются льняными, есть основания предполагать, что первым сырьем в прядении и ткачестве была шерсть. Получение волокна из льна — это более длительный процесс, тогда как шерсть, снятая во время линьки, может сразу перерабатываться в пряжу.

Большое значение имело открытие того факта, что сучение делает пряжу более прочной. Как и открытие свойлачивания, оно, возможно, было подсказано наблюдением за самими животными, в частности, в период линьки. Чтобы сбросить шерсть, овца в этот период обычно трется о различные предметы, при этом отдельные пучки волокон скручиваются в длинные пряди, напоминающие грубую пряжу. Я сам как-то собрал 20 таких прядей (некоторые длиной более 1 м) во время линьки одного муфлона. Можно предположить, что человек каменного века, уже умевший плести корзины из прутьев растений, пытался плести из таких естественно скру-

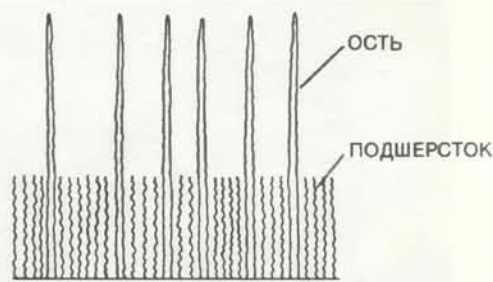
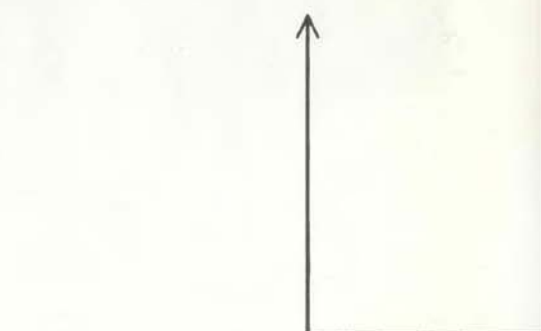
ченных прядей грубую ткань. Мне удалось изготовить кусок такой ткани из собранной мною пряжи.

КАК И ЗАРОЖДЕНИЕ сукноделия, процесс постепенного превращения шерстного покрова овец с остевым волосом в руно невозможно точно датировать. Однако о конечном этапе этого процесса можно судить по археологическим находкам прядильных шерстяных волокон и уцелевшим примитивным породам овец. Различные свидетельства позволяют восстановить в общих чертах процесс изменения шерстного покрова овцы.

На протяжении нескольких тысячелетий грубый остевой волос шерстного покрова муфлонов в результате селекции постепенно становился тоньше. В то же время тонкий подшерсток стал несколько грубее, что, возможно, явилось ответной «биологической реакцией». Средний диаметр волоса подшерстка у диких овец равен 15 мкм. У большинства древних образцов шерсти диаметр тонких волокон составляет в среднем 20 мкм — показатель, сохранившийся до настоящего времени для тонкой шерсти. Образцы, обнаруженные в Дании, видимо, соответствуют промежуточному этапу. Их остевой волос тоньше, чем у диких животных, однако средний диаметр волокон тонкого подшерстка все еще составляет 15 мкм.

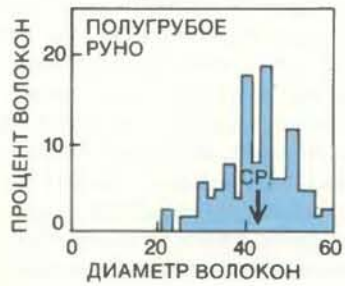
На Среднем Востоке к началу бронзового века, т. е. к 3000 г. до н.э., а в Европе — к 1500 г. до н.э. сформировались два вида примитивного руна. Сначала стали получать «промежуточное руно», в котором остевой волос, утратив ломкость и характерную грубость, стал походить на волокно более грубого подшерстка. В результате дальнейшего уменьшения диаметра острого волокна превратилось в шерсть средней тонины. Позже в процессе развития поверхностный слой руна смешался с подшерстком, и это привело к появлению промежуточного руна «общего типа».

Шерсть таких рун могла перерабатываться в пряжу различных видов. В пряже камвольного типа большинство волокон расположено параллельно. Прежде считалось, что камвольное прядение впервые появилось в Англии в средние века. Однако оно могло возникнуть и в доисторическое время: камвольную пряжу могли получать из шерстного промежуточного руна. Такое руно, содержащее большое количество волокон, растущих параллельно, можно было легко расчесывать гребнем и таким образом подготавливать к прядению. Камвольная пряжа получалась только из шерсти с правильно ориентиро-

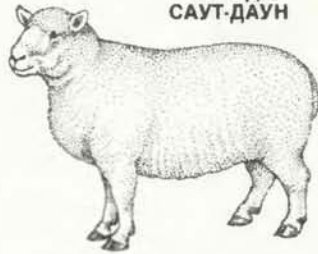


СТРУКТУРА ШЕРСТНОГО ПОКРОВА овцы изменялась в течение 6000 лет. На графике показано уменьшение диаметра волокна в рунах древних и современных пород. Показатели тонины шерсти современных пород неизменно выше. Этапы развития шерстного покрова древних пород, показанные на верхнем графике, заключались в сближении параметров волокон. Грубое остевое волокно становилось тоньше и постепенно превращалось в рунное, а волокно подшерстка несколько огрублялось. В современных рунах диапазон тонины стал достаточно узким (справа вверху). Средний диаметр волокна (ср.) самый большой в полугрубых рунах, средний — в короткошерстных и самый малый в тонкорунной шерсти. Четвертый тип современного длиноволокнистого руна развивался иным путем. Распределение в нем волокон по тонине мало чем отличается от длинношерстного полугрубого руна древнего типа. Однако самые грубые волокна развивались из линяющего острого покрова и превратились в равномерное грубое волокно.

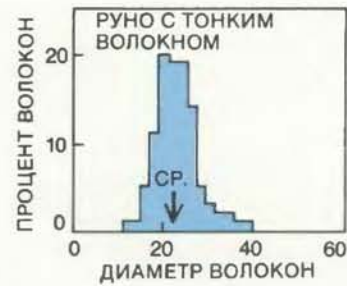
ДЛИННОШЕРСТНАЯ ПОРОДА КОТСУОЛД



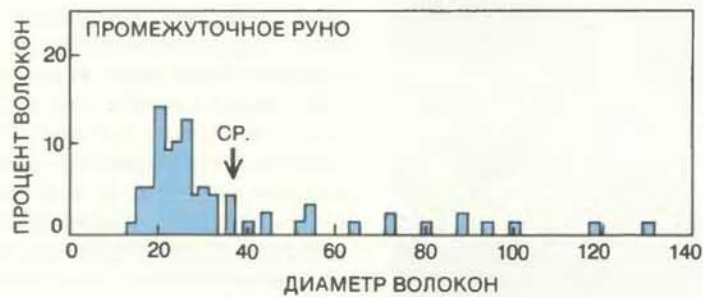
ПОРОДА САУТ-ДАУН



МЕРИНОС



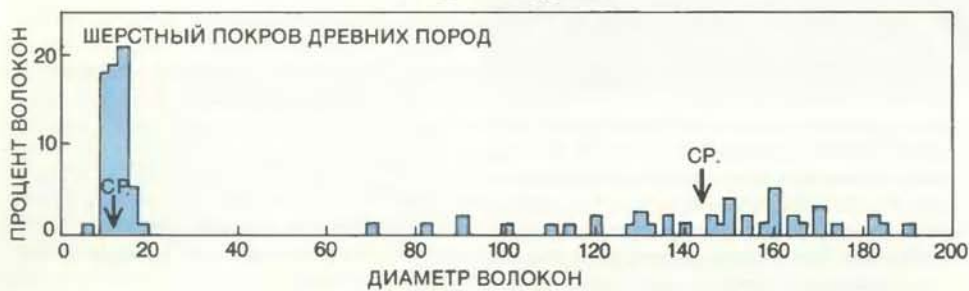
ПОРОДА СОЙА



ШЕРСТНАЯ ПОРОДА СОЙА



МУФЛОН



ШЕРСТНЫЙ ПОКРОВ ДРЕВНИХ ПОРОД

ванными волокнами. В промежуточном руно общего типа волокна, наоборот, перепутаны, и расчесывать такую шерсть гребнем очень трудно. Обычно ее разрыхляют, чтобы разделить волокна, поэтому в прядении получается пряжа, в которой волокна имеют неориентированное расположение.

Археологические находки свидетельствуют о том, что оба типа древних рун в различных регионах появились в разное время. Самые древние образцы найдены на Среднем Востоке. Так, в Сарабе (Иран) обнаружена глиняная фигурка овцы с признаками руна, датируемая примерно 5000 г. до н.э. Шерстный покров диких овец имеет ровную поверхность, руно же выглядит клочковатым, поскольку шерсть обычно скручивается, образуя пучки, известные как «штапели». У овец с примитивным руном, где есть еще ость, штапели имеют пирамидальную форму. Вершина «пирамиды» формируется самым длинным волосом, а основание — более многочисленными короткими и тонкими волосами. Шерстный покров сарабской овцы имеет множество V-образных линий, что могло бы соответствовать штапелям промежуточного руна с остевым волосом.

Даже если рунные овцы появились 7000 лет назад, то находки, датированные третьим тысячелетием до н.э., позволяют предположить, что овцы каменного века (с остевым волосом) еще были распространены тогда в отдельных регионах. На некоторых фигурках и рельефных изображениях овец, найденных в Месопотамии и относящихся к тому времени, пучки шерсти напоминают штапели. Другие подобные образцы больше похожи на овец с ровным шерстным покровом (имеющим остевой волос),

поскольку он изображен в виде параллельных полос. Среди находок в Египте, относящихся к периоду первых династий, обнаружены изображения овец только каменного века. В Египте первые четкие признаки штапелей V-образной формы, свидетельствующие о выведении овец, имеющих промежуточное руно с остью, появляются в находках, датируемых значительно позже: первым тысячелетием до н.э.

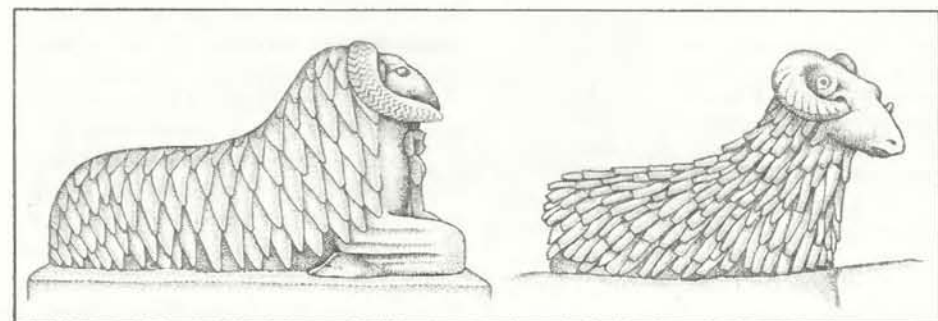
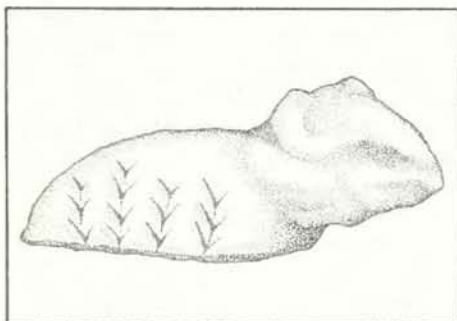
На Среднем Востоке остатки тканых материалов, относящихся к эпохе, предшествовавшей Римской империи, находят редко. Возможно, это объясняется тем, что условия не способствовали сохранению шерсти или тем, что первых археологов интересовали прежде всего предметы искусства. В Северной Европе, наоборот, свидетельством существования руна в бронзовый век являются чаще остатки шерсти, чем произведения искусства. Болота, из которых были извлечены многие древние остатки шерсти, представляют собой кислую среду с низким содержанием кислорода; оба эти фактора способствовали сохранению этих остатков. По извлеченным остаткам можно было судить не только о толщине волос овец бронзового века, которые оказались такими же, как в промежуточном и общем типах руна, но и об их цвете, унаследованном от диких овец. Этот цвет был коричневым.

Руна бронзового века можно изучать не только по древним остаткам шерсти, но и непосредственно. На островах Сент-Килда, в 70 км западнее Гебридских островов, живут породы сойя. Это потомки древних животных, завезенных туда первыми поселенцами. У них, так же как и у первых одомашненных овец, коричневая спина и белый живот. В по-

голове представлены два типа руна: с грубым волосом и шерстное. Судя по диаметру волокна, руно сойи соответствует промежуточному и общему типу, характерному для бронзового века. Такие совпадения в сочетании со сходством скелета древнейших пород с породой сойя подтверждают предположение о том, что на островах Сент-Килда живут овцы, которые были распространены в Европе в бронзовом веке. Примечательно, что древние породы овец и сейчас существуют в очень отдаленных районах северо-западной Европы. Они оказались как бы изолированными от тех улучшенных пород, которые пришли со Среднего Востока и распространились по Европейскому континенту.

ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ и общий тип руна, сформировавшийся в бронзовом веке, существовал и в железном веке, который на Среднем Востоке начался около 1500 лет до н.э., а в Северной Европе — около 750 г. до н.э. Однако обнаруженные остатки текстильных материалов и сохранившиеся породы овец говорят о том, что в последнее тысячелетие до н.э. произошли еще два значительных изменения. Одно из них состояло в том, что шерстный покров овец стал разнообразнее по цвету. Уже в железном веке ткани изготавливаются не только из коричневой, но и из черной, белой и особенно серой шерсти. В этой шерсти темные и белые волокна были смешаны. Еще позже некоторые породы овец утрачивают способность к ежегодной линьке и их шерстный покров растет непрерывно в течение нескольких лет. Эти изменения были тесно связаны с изобретением двух технологических новшеств: красителей и ножниц для стрижки овец.

Цвета шерсти, характерные для же-



ПЕРВЫЕ ПРИЗНАКИ появления руна имеются на древней глиняной фигурке овцы, обнаруженной археологами в Сарабе (Иран). Этой фигурке 7000 лет. V-образные линии на боках похожи на штапели, или косицы, шерсти. Такого шерстного покрова не могло быть у диких овец и очень древних одомашненных пород.

НА ДРЕВНИХ ФИГУРКАХ овец видны штапели, свидетельствующие о формировании руна. На фигурке слева, найденной в Кауа (Судан) и датируемой 680 г. до н.э., штапели уже имеют конусообразную форму. Такие овцы, возможно, имели шерстистое полугрубое руно, в котором короткие волокна расширяют основание штапеля, а остевой волос вытягивает его конец. Фигурка, найденная в Ираке и датируемая 3000 г. до н.э., представляет, по-видимому, другой вид древнего руна общего типа, где остевой волос превратился в полугрубое волокно (справа). Поскольку длина волокна в этом руно, так же как и его тональность, более выравнены, штапель уже не имеет заостренную форму.

лезного века, и сейчас встречаются среди пород овец, сохранившихся в отдаленных уголках Европы. Это шетландские и оркнейские породы, живущие на двух группах островов северо-восточнее Шотландии, готская порода с острова Готланд в Балтийском море, местная порода французского острова Ушан и греческая порода драма. У этих животных сохранилось анатомическое соответствие с овцами железного века, они ежегодно сбрасывают шерсть, а их преобладающий цвет — серый; все это говорит о том, что они являются живыми «остатками» железного века.

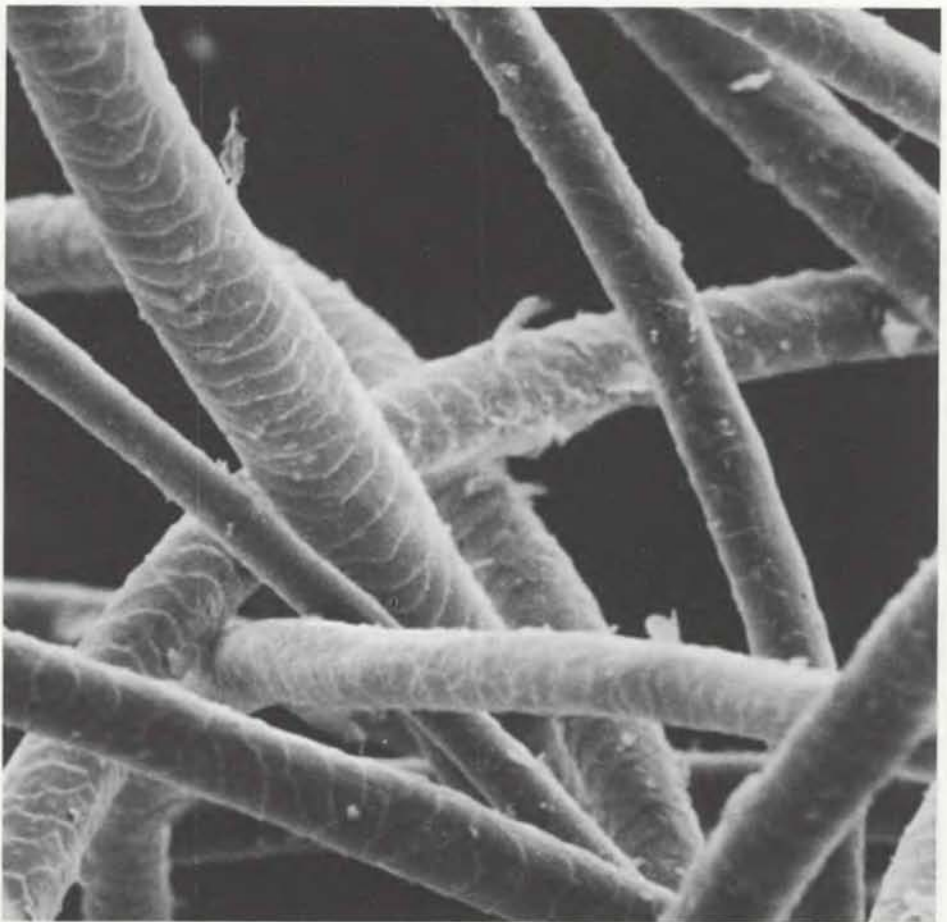
Появление пород овец с разным по цвету шерстным покровом в отличие от единого коричневого цвета, характерного для овец бронзового века, является результатом длительного одомашнивания этих животных. Коричневый цвет шерстного покрова диких овец позволял им наилучшим образом маскироваться от хищников. Под защитой же человека смогла проявиться вся гамма окраски шерстного покрова. Появление белого, черного или серого цветов давало возможность отбора для получения широкого цветового разнообразия.

Новым стимулом для селекции по цвету на Среднем Востоке около 1000 г. до н.э. явилось крашение шерсти. Когда и где возникло это ремесло, определить точно невозможно, однако широкое распространение крашения шерсти очевидно. Финикийцы, жившие на территории, которая теперь называется Ливаном, в период 1400—400 г. до н.э. уничтожили два вида пурпурных моллюсков, из которых добывали пурпурный тиряновый краситель у восточных берегов Средиземного моря. Горы выброшенных ракушек и теперь отмечают места расположения многих финикийских колоний. Красильное производство требовало белой шерсти, и образцы тканей первого тысячелетия до н.э. на Среднем Востоке свидетельствуют об увеличении поголовья овец белого цвета. Почти все другие найденные образцы тканей были изготовлены из окрашенной белой шерсти.

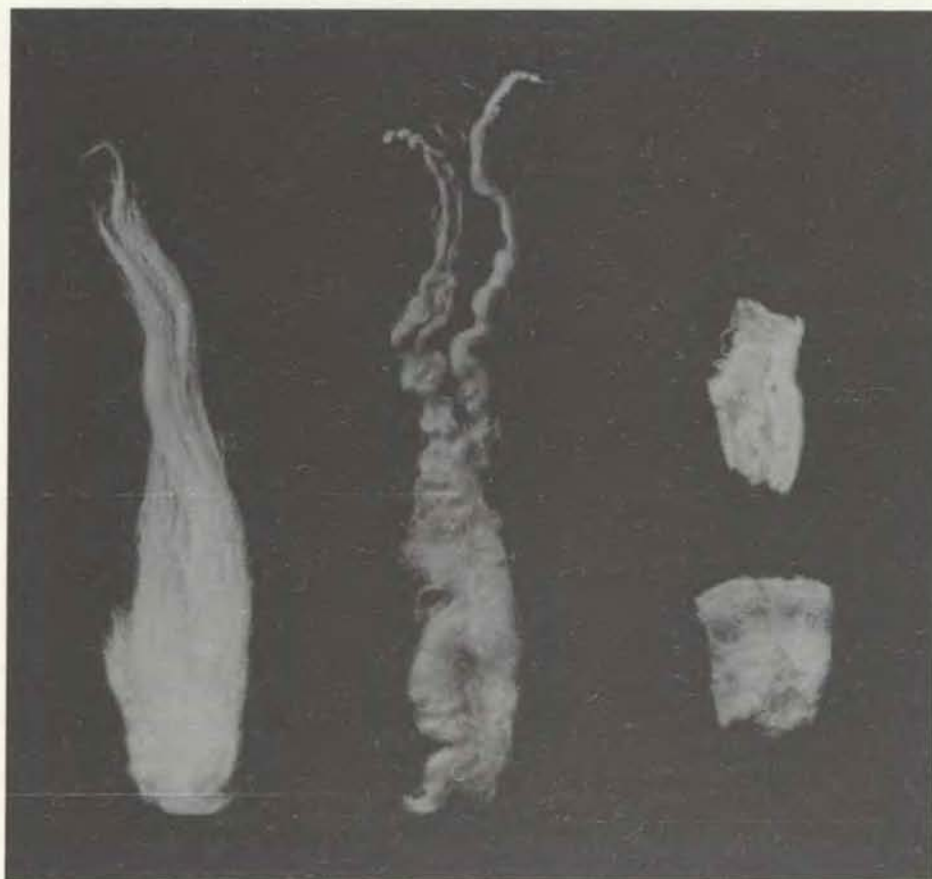
ДАЖЕ ЕСЛИ развитие крашения шерсти стимулировало разведение белых овец, то сама идея крашения была предопределена биологически: наличием белых животных в общем многоцветном поголовье. Если бы не существовало белой шерсти, то не нужно было бы получать красители. Это такой же взаимосвязанный процесс, что и производство войлока или прядение, когда определенные свойства шерсти стимулировали развитие новой технологии. Случайное



ВЫЩИПЫВАНИЕ ОВЕЦ во время линьки — единственный способ добычи шерсти до изобретения ножниц примерно в 1000 г. до н.э. На фотографии 1892 г. показана весенняя щипка овец примитивных пород, которые разводились на Шетландских островах. Ежегодная линька таких животных отличает их от современных пород, шерсть которых растет непрерывно. Для овцеводов добыча шерсти методом выщипывания непременно приводит к потерям определенного количества волокна.



ИЗОБРАЖЕНИЕ чешуек шерстяного волокна, полученное с помощью сканирующего электронного микроскопа. Благодаря чешуйчатой структуре поверхности волокон шерсть обладает свойлачиваемостью. Чешуйки шерсти могут двигаться только в одном направлении, в результате чего образуется плотная перепутанная масса шерсти. Свойлачивание шерсти может произойти и непосредственно на овце в период ее линьки. Возможно, что, наблюдая за этим естественным процессом, человек научился сам делать войлок.



ШТАПЕЛИ ШЕРСТИ современных типов рун могут иметь различную длину и тонины волокон. Слева показана косица длинношерстного руна, которое состоит из двух видов волокон: прямого длинного, выступающего над общей массой шерсти и более тонкого. Другой образец представляет полугрубое руно, где волокна длинные, грубые и шерстистые. Короткий штапель (внизу справа) принадлежит коротковолокнистому (полутонкому) руно. Верхний правый образец — это самое тонкое волокно, которое дают тонкорунные породы овец. Как короткая, так и тонкая шерсть имеют очень узкий диапазон длины и тонины волокон.

окрашивание белой шерсти соком фруктов или ягод могло привести к первым экспериментам по окрашиванию шерсти.

Соотношение между технологией и биологическими изменениями могло быть иным в случае выведения пород с непрерывным ростом шерсти (без ежегодной линьки) и изобретения ножниц для стрижки овец. До изобретения ножниц на Среднем Востоке примерно в 1000 г. до н.э. шерсть собирали путем ошиповывания овец в период линьки. В древнеримских источниках упоминается о применении такой практики варварскими племенами. На Шетландских островах, где сохранившиеся породы овец железного века до сих пор линяют, выщипывание шерсти применялось до начала нынешнего столетия.

Выщипывание шерсти с овец древних пород, которые имеют остевой волос, обладает преимуществом перед стрижкой. Остевой волос выпадает позже, чем подшерсток, поэтому сбор тонкой шерсти может проводиться именно тогда, когда начинают

выпадать тонкие волосы. При этом овец, которые линяют, можно не выщипывать, а вычесывать. Такой метод распространен в северо-западном Китае, где у кашмирских коз вычесывается пух, а у местных овец — шерсть, с тем чтобы отделить ее от ости.

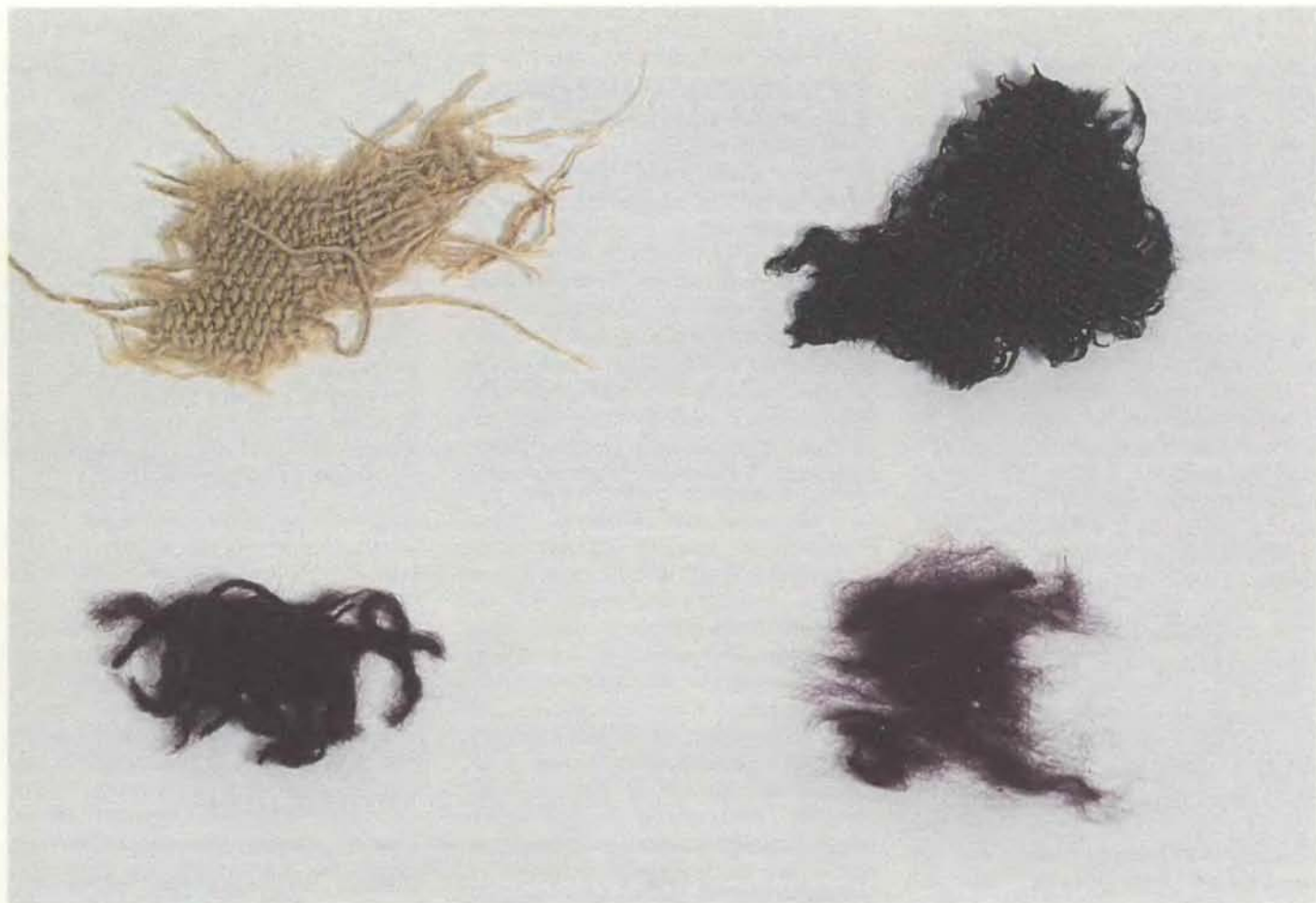
Вычесывание шерсти у линяющих овец применялось, вероятно, еще в глубокой древности. В раскопках поселения железного века в Гластоунбери (Англия) обнаружены изделия из кости, названные ткацкими гребнями, поскольку они напоминают приспособление, которым ткач прибавляет уточную нить на ткацком станке. В действительности же изогнутое сечение такого гребня делает непригодным его для использования с этой целью. Такие гребни могли применяться для расчесывания и подготовки шерсти промежуточных рун, имеющих остевой волос, для прядения и выработки камвольной пряжи. Однако, возможно, что такие гребни использовались для вычесывания шерсти с овцы в период линьки.

На практике получение шерсти во время линьки овец является неэффективным. Некоторые животные начинают линять раньше основного времени сбора шерсти, другие — позже. Однако представляется маловероятным, что селекция, нацеленная на исключение линьки, начала проводиться до того, как были найдены другие способы снятия руна. В данном случае изобретение ножниц для стрижки овец, возможно, привело к биологическому изменению. Относительно большие ножницы с парой лезвий, соединенных железной перемычкой, действующей как пружина, часто находят при раскопках в Европе поселений позднего железного века и древнеримских поселений. Остатки шерстяных тканей и овечьих шкур, относящиеся к этому же периоду, указывают на изменение структуры руна.

Волокна промежуточного руна — одного из типов примитивного руна — представляют собой довольно грубый волос. Такой покров ежегодно линял, а в найденных образцах древних тканей грубые короткие волокна легко выявляются. Кусок овечьей шкуры, обнаруженный при раскопках одного из скифских курганов и датированный 400 г. до н.э., а также образцы тканей, найденные в Европе, свидетельствуют о том, что в позднем железном веке остевой волос промежуточного руна трансформируется у отдельных пород овец в рунный волос. В то время как остевой волос зимой прекращает свой рост и готовится к весенней линьке, рунные волосы становятся тоньше, но продолжают расти и весной не выпадают. В результате рунная шерсть отличается от острого волокна и длиной и тониной.

Появление грубой шерсти привело к получению грубошерстного руна с длинным волокном, которое сегодня является сырьем для производства ковровых изделий и твидов. Замена острого волоса в промежуточном руно грубой шерстью — это только один результат селекции, приведшей к выведению пород с непрерывным ростом шерсти. Изобретение ножниц, возможно, позволило овцеводам устранить линьку у других пород овец — с руном общего типа. Остевой волос в руно общего типа к тому времени стал тоньше и по тоне приближался к среднему волосу, поэтому переход от линьки к непрерывному росту шерстного покрова невозможно обнаружить в образцах древних текстильных материалов по изменению тонины волокна.

ОСТАТКИ текстильных изделий Эпохи Римской империи многочисленны и отражают окончательные



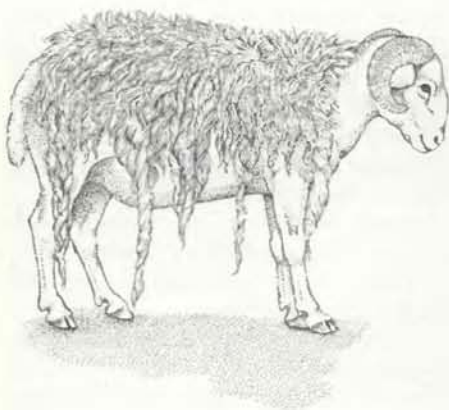
ОБРАЗЦЫ КРАШЕНОЙ ШЕРСТИ (нижний справа), окрашенной пряжи (нижний слева) и крашеного тканого материала (вверху), который был найден в пещере Леттерс в Израиле. Образцы датируются вторым столетием нашей эры. Так же

как в тканях времен Римской империи, в них имеются как полугрубые, так и тонкие волокна. Развитие крашения стимулировало отбор овец для получения поголовья белого цвета.

изменения руна. Развитие общего типа промежуточного руна в дальнейшем шло по трем направлениям, которые привели к различным видам шерсти, производимым сегодня. Первый путь — это формирование однородного руна с тонкой шерстью. В

этом случае остовый волос шерстного покрова диких пород сначала превратился в полугрубый волос, а затем стал еще тоньше, в результате чего образовалось руно с однородными по диаметру тонкими волокнами. Сегодня такая шерсть, называемая тонко-

рунной, является основным сырьем для изготовления одежды. Другой путь — обратная трансформация, при которой произошло огрубление тонкого волоса и образование руна с однородной полугрубой шерстью, которая сейчас используется для изготов-



ИДЕЯ превращать шерсть в пряжу могла быть подсказана видом шерстного покрова овец древних пород в период линьки, когда линяющие волокна сами скручивались в пряди (слева). Люди каменного века, умевшие плести корзины,

возможно, таким способом сплетали грубую ткань подобно той, которую сделал автор из шерстяных прядей, образовавшихся во время линьки у муфлонов (справа).

ления верхней одежды, одеял и ковров. Третий путь заключается в выравнивании волос по тонине и формировании руна с полутонкой шерстью. Сегодня мы называем такую шерсть короткой, она используется для производства чулочно-носочных изделий и трикотажа.

Тонкая шерсть появилась, видимо, первой. Породы тонкорунных овец впервые были выведены, скорее всего, на Среднем Востоке — регионе, где овцеводство и технология переработки шерсти получили наибольшее развитие. Очень скоро эти породы распространились по всему миру, вероятно, благодаря древним грекам — мореплавателям. Самые ранние образцы тонкой шерсти, датируемые пятым веком до н.э., найдены в греческой колонии Нимфей в Крыму. Изображения овец из Древней Греции и Древнего Рима также говорят о том, что там существовали породы тонкорунных животных. На этих изображениях штапели шерстного покрова имеют не пирамидальную, а скорее трапециевидную форму. По мере того как руно становилось тоньше, его волокна все больше выравнивались по тонине и длине. В результате штапель тонкорунной шерсти, пользуясь терминологией шерстяников, стал «закрытым», а не «коническим».

Два других вида современного руна: короткоштапельное и полугрубое появились во времена Римской империи. В Виндоланде, римском поселении I в. н.э., находящегося у Адриана вала, проходящего вдоль границы между Англией и Шотландией, обнаружены образцы пряжи, свидетельствующие о существовании там рун нового типа. Я измерил диаметр волокон в коллекции, состоящей из 57 образцов. Около половины образцов относилось к общему типу шерсти, одна треть — к более древнему, 2% — к короткошерстным образцам и 4% — к полугрубой.

На территории Римской империи, так же как в Виндоланде, были распространены породы овец с более древним типом руна. Шерсть, обнаруженная при раскопках других римских поселений, обычно содержит волокна средней тонины. Это указывает на то, что овец с руном общего типа активно разводились даже тогда, когда появились новые породы с современным типом руна. Виндоландские образцы очень отличаются от других образцов шерсти времен Римской империи по цвету. Волокно средиземноморского происхождения того же времени, как правило, имеет белый цвет. В образцах изученной мною пряжи было 40% белого волокна и 51% серого. Такая пропорция ха-

рактерна для шерсти пород железного века.

В БОЛЕЕ поздние века в Британию и другие части Северной Европы продолжали завозить древние породы овец. Даже после средних веков, когда получили распространение короткошерстные и полугрубые породы, все еще разводились овцы с грубым переходным руном и руном общего типа. Средиземноморье, напротив, становится регионом активного разведения тонкорунного поголовья. В этом регионе история руна после классических времен концентрируется на тонкорунном поголовье мериносовых овец, которые в наши дни явля-

ются основным источником шерстяного сырья во всем мире.

Мериносовые породы были выведены в Испании в средние века. Они ценились столь высоко, что их запрещалось экспортировать в другие страны. Отары овец даже изменили ландшафт Испании, а овцеводы оказывали влияние на политическую жизнь страны. В XVIII в. Испания утрачивает свою монополию на мериносовых овец, и менее чем через сто лет они появляются в других европейских странах и Южном полушарии. Одомашнивание овцы привело к биологическому изменению этого животного, которое в свою очередь сыграло важную роль в истории развития человека.

Наука и общество

Пандемия AIDS?

ЛЮБАЯ БОЛЕЗНЬ, поражающая какую-то часть населения, вообще говоря, поражает весь народ. И все же еще недавно основное население промышленно развитых стран могло чувствовать себя надежно изолированным от групп, которые были преимущественными жертвами синдрома приобретенного иммунного дефицита (AIDS) — мужингомосексуалистов; наркоманов, злоупотребляющих внутривенными инъекциями; гаитянцев; некоторых африканских негров и больных гемофилией. Сейчас эта завеса безопасности исчезла. Крупнейшие авторитеты в области здравоохранения утверждают, что AIDS — проблема, касающаяся всех и каждого. В конце прошлого года главный медицинский инспектор США настаивал на распространении среди населения специальной информации по AIDS и по профилактике заражения им. Вскоре Медицинский институт Национальной академии наук (IN/NAS) опубликовал доклад, в котором мероприятия против AIDS, осуществляемые правительством США, характеризуются как «прикорбно неадекватные» и рекомендуется в ближайшие 4 года в 8 раз увеличить ассигнования на научные исследования заболевания и соответствующее санитарное просвещение. Этот

доклад был составлен комиссией, возглавляемой нобелевским лауреатом Д. Бэлтимором из Института медико-биологических исследований в Уайтхед и Массачусетского технологического института и Ш. Уолффом из Медицинской школы Университета Тафта. Наконец, Всемирная организация здравоохранения при ООН (ВОЗ) подняла проблему до международного уровня. Генеральный директор ВОЗ Х. Малер назвал AIDS «катастрофой масштабов пандемии» и призвал к созданию широкой международной программы борьбы с ним.

Члены научно-исследовательского объединения, занимающегося AIDS, почти единодушно одобрили этот призыв. Действительно, некоторые ученые считают, что упомянутый доклад мог бы выдвинуть еще более высокие требования в отношении федеральных ассигнований. «На таких позициях мы стояли два года назад, — говорит М. Эссекс из Медицинской школы Гарвардского университета. — Теперь же есть основания для большей озабоченности».

Безусловно, угрозу AIDS нельзя недооценивать, но, как считают другие ведущие специалисты в области здравоохранения, общественность не должна недооценивать и того, что уже сделано. «Полиомиелит, оспа, туберкулез — вспомним все бичи человечества, — говорит Р. Уиндом, заме-

ститель министра здравоохранения и социальных служб США, — ни за одну из этих болезней медики не взялись так быстро и эффективно, как за AIDS. Я думаю, люди того просто не осознают».

Уиндом прав. По иронии судьбы AIDS — болезнь, появившаяся вовремя. Десятилетие назад среди биологов даже не было уверенности в том, что существуют ретровирусы человека, и представления о физиологии иммунной системы были далеко не ясными. Самое большее, что было во власти ученых, — это следить за распространением заболевания. Однако, как отмечает Г. Джафф из системы Центров по изучению болезней, всего лишь за шесть лет, прошедших с тех пор, как впервые был описан AIDS, исследователи выделили предполагаемый возбудитель — ретровирус, научились культивировать его в лаборатории и установили, что именно он является причиной заболевания. Удалось разработать методы обнаружения антител, образующихся при AIDS, и тем самым резко снизить риск заражения при переливании крови; найдены потенциальные лекарства, например азидотимидин. Наконец, уже начата грандиозная работа по созданию вакцины.

Социальное и медицинское значение этих успехов огромно. Без таких внушающих надежду достижений вспышка AIDS привела бы, вероятно, к жесткой санкционированной общественным мнением дискриминации и физической изоляции лиц, несущих угрозу заражения. Даже в той относительно разумной атмосфере, которая преобладает сейчас, во время выборов в Калифорнии, проходивших в ноябре 1986 г., на голосование ставилось предложение о карантине для жертв AIDS (это предложение не прошло).

Итак, с учетом достигнутых на сегодняшний день успехов в исследованиях, следует ли увеличить федеральные ассигнования на борьбу с AIDS до 1 млрд. долл. в год к 1991 г., как предложила комиссия IM/NAS? «Расходы могут быть велики, — считает Р. Галло, установивший, что причиной AIDS является HTLV-III (Т-лимфотропный вирус человека типа III; см. статью на с. 27 в этом номере журнала). «Я думаю, мы могли бы требовать больших средств, — добавляет он, — но, если верно распределить средства и правильно организовать их использование, мы будем меньше дублировать работу друг друга и меньше заниматься рутинной». Утверждая, что до сих пор «результаты получали в основном всего несколько исследователей», Галло

предлагает системе Национальных институтов здравоохранения (NIH) выделить при штаб-квартире в Бетезде (шт. Мэриленд) здание для временного института по изучению AIDS, где специалисты имели бы возможность объединить свои усилия и результаты.

Другие не согласны с необходимостью централизации. «В централизованном руководстве есть много отрицательного», — говорит М. Хирш, проводящий в Медицинской школе Гарвардского университета испытания азидотимидина, с которым связывают много надежд. «Когда Никсон объявил войну раку, и она велась под руководством маленькой группы сотрудников NIH, много смелых идей и творческой энергии не получило поддержки». Хирш подчеркивает также, что выделение крупных ассигнований вовсе не обязательно означает прогресс в медицине. Управление по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств США (FDA), например, всего лишь ускорило процедуру утверждения лекарств, и одно это позволяет теперь быстро переходить к испытаниям новых средств, в частности азидотимидина. Кроме того, Хирш расценивает рекомендации главного медицинского инспектора США К. Купа как «в высшей степени обнадеживающие». Поскольку Куп считается политически консервативным деятелем, Хирш полагает, что его мнение в конечном итоге может подействовать на правительство сильнее, чем более известный доклад IM/NAS.

Вместе с тем в связи с обилием сведений об AIDS, уже распространенных средствами массовой информации, возникает вопрос о том, насколько следует увеличить финансируемое государством санитарное просвещение. Успехи научных исследований, эпидемиология, программы общественных действий, данные о заболеваемости и смертности — начиная с 1981 г. все это не сходило с первых полос газет. Проблема AIDS широко обсуждалась не только в Нью-Йорке, Сан-Франциско и Лос-Анджелесе, где болезнь проявила себя наиболее ярко, но и во внутренних районах страны. Однако вызывает беспокойство, что эта информация не доходит до тех, кто больше всего в ней нуждается, т. е. до молодых людей, вступающих в период половой активности, и наркоманов.

Собственно, несмотря на всю свою скрытую опасность, AIDS не более смертелен, чем ряд других инфекционных заболеваний. К концу 1986 г. от него умерло около 15 тыс. американцев. Для сравнения стоит напо-

мнить, что только в 1957 г. грипп унес в США 18,5 тыс. жизней. Уолфф, один из авторов доклада IM/NAS, признает, что в принципе от AIDS легче уберечься, чем от гриппа. «Если пользоваться презервативами и не делать инъекции наркотиков, — говорит он, — все будет в порядке». Однако тот же Уолфф утверждает, что в XX в. не было эпидемии, столь же потенциально опасной, как AIDS.

Частичный ответ на вопрос, какова будет угроза AIDS в ближайшие годы, даст изучение генома вызывающего его вируса. Особенности белков вируса AIDS — это, пожалуй, самое тревожное его свойство. «Оболочка вируса, по-видимому, изменчива», — говорит иммунолог Д. Лоренс из Медицинского центра Корнеллского университета. Изменчивость инфекционного агента, проявляющаяся не только в масштабах популяции, но и у отдельных пациентов, крайне затрудняет создание вакцины. Еще одна опасность, добавляет Лоренс, состоит в том, что «среди выделяемых образцов вируса всегда могут оказаться новые, способные ускользнуть от принятой в США процедуры контроля и в результате донорская кровь, считающаяся сейчас здоровой, окажется зараженной. Возможно также возникновение более вирулентных штаммов».

Высказывались опасения, что ситуация, сложившаяся в Африке, где AIDS в равной мере заражены как мужчины, так и женщины, ожидает в будущем и США. Однако, по мнению специалистов, особая эпидемиология AIDS в Африке может объясняться такими местными факторами, как преобладание иных, чем в США, венерических заболеваний, приводящих к изъязвлению половых органов, использование нестерилизованных игл в клиниках и отсутствие соответствующей проверки донорской крови.

Способность вируса AIDS годами сохраняться в клетках в латентном состоянии затрудняет прогнозирование развития эпидемии в национальных или глобальных масштабах, отмечает Э. Фоси из Национального института аллергии и инфекционных болезней. Например, по оценкам во всем мире сейчас 10 млн. носителей этого вируса (из них 1,5 млн. в США), 25—30% этих людей заболеют AIDS в ближайшие 5 лет. Фоси подчеркивает, что «неизвестно, увеличится ли эта цифра в будущем». И несмотря на признание того, что крупные успехи в исследовании AIDS были достигнуты «за рекордно короткое время», Фоси предупреждает, что в данном случае «невозможно предугадать, когда окажешься в тупике».

Наука вокруг нас

Некоторые любопытные свойства отражений в воде

ДЖИРЛ УОЛКЕР

ЛУЖИ И ПРУДЫ обнаруживают несколько любопытных оптических свойств. При каких условиях можно видеть тени на воде? Почему иногда собственная тень видна, а тень человека, стоящего рядом, нет? Благодаря чему иногда образуются яркие лучики, которые расходятся от тени головы наблюдателя на поверхности водоема? Почему тени на поверхности водоема часто имеют цветное окаймление или на них накладываются отражения окружающих предметов?

Слабо взволнованная поверхность воды имеет особенно замечательные свойства. Если сфотографировать отражение парусного судна, то мачта на фотографии, как и следует ожидать, будет искривленной. Части ее, однако, изобразятся в виде отдельных замкнутых петель. Что создает эти петли? Всегда ли они замкнуты?

Начнем с теней. Они образуются на освещенной солнцем поверхности воды, когда непрозрачный предмет, скажем книга, задерживает часть света. Поверхность, на которую падают солнечные лучи, рассеивает их частично в сторону наблюдателя, так что эту область поверхности он воспринимает как освещенную, а тень — как темную. Тень воспроизводит форму книги. Границы тени образованы лучами света, проходящими по краям книги.

Если бы солнце представляло собой точечный источник света, так что его лучи были строго параллельны, тень казалась бы однородно темной. В действительности же, если посмотреть с близкого расстояния на тень книги, которую вы держите над тротуаром, можно увидеть, что границы тени несколько светлее ее внутренней области. Частично освещенная область называется полутенью, а более темная — полной тенью. Полутень возникает в результате того, что солнечный диск на небосводе занимает площадь около половины угловых градусов. Лучи, проходящие по краям книги, образуют пучок с такими же угловыми размерами. Часть из них освещает края тени, создавая тем самым полутень. Даже внутренняя область тени в обычных условиях не является абсолютно темной, поскольку

в нее попадает свет, рассеянный окружающими предметами.

Допустим, вы держите книгу над гладкой поверхностью воды. Будет ли видна ее тень, и если да, то где она находится? Ответы на эти вопросы зависят от нескольких факторов, включая глубину воды, ее мутность, а также от того, какое дно у водоема. Если водоем мелкий, вода в нем прозрачная, а дно выстлано чем-нибудь вроде бетона, который не поглощает весь свет, но и не отражает его подобно зеркалу, вы увидите тень на дне. Однако, как правило, ее видимое положение отличается от истинного.

Причина этого также кроется в поведении лучей, которые проходят по краям книги и определяют положение границ тени. Пересекая поверхность раздела воздух — вода, лучи света преломляются, поскольку скорость света в воде меньше скорости света в воздухе. Если солнце стоит прямо над головой, лучи остаются вертикальными; в других случаях они пересекают поверхность воды под некоторым углом к вертикали и преломляются так, что становятся ближе к вертикали.

Достигнув дна, лучи света рассеиваются в разных направлениях (этот процесс называют диффузным отражением. — *Ред.*). Некоторая часть света идет обратно вверх и преломляется на границе раздела вода — воздух. Если эти лучи не вертикальны, преломление приводит к увеличению угла между ними и вертикалью. Наблюдая изображение, вы бессознательно проследиваете путь света назад вдоль лучей в воду, не вводя поправку на преломление. Точки, откуда исходят лучи, кажутся находящимися в тех местах, где экстраполированные лучи пересекают дно. Эти точки образуют границу тени, поскольку промежуточные области кажутся темными. Из-за того, что ваша зрительная система не учитывает эффект преломления, видимая тень смещена от своего истинного положения.

Величина этого смещения зависит от угла зрения. Если вы смотрите на реальную тень прямо вниз, лучи, отраженные от дна, идут вертикально вверх через границу раздела вода — воздух и не изменяют направления

распространения. Экстраполяция этих лучей назад в воду приводит к тому, что вы видите тень на ее истинном месте. При любых других углах зрения реальная тень не видна там, где она должна быть.

Если дно полностью поглощает свет, тень не заметна. Можно ли увидеть ее, если дно отражает свет, подобно зеркалу, а солнце — единственный источник света? Да, но только если вы встанете так, что в ваши глаза попадет отраженный свет. При других углах зрения освещенная область дна будет казаться такой же темной, как и тень.

Тень на дне водоема не является, впрочем, совершенно темной, поскольку существует полутень и поскольку область тени рассеивает свет, попавший в нее от окружающих объектов. Кроме того, частично прямой солнечный свет рассеивается на дне, затем на поверхности раздела вода — воздух и распространяется в вашем направлении, как если бы он шел из области тени. Еще более яркий свет отражается сначала от окружающих объектов, включая небо, а затем от поверхности воды. Часть его идет к вам по траекториям, вдоль которых распространяется свет, проходящий по краям тени. В результате на тень накладываются слабые отраженные изображения. Получающаяся картина не может не вызвать удивления, так как отражения кажутся удаленными, а тень — лежащей на дне водоема.

Задавшись целью воспроизвести эти условия, я сел у лужи на тротуаре. Солнце находилось позади меня, а здание, силуэт которого был виден на фоне неба, — передо мной. В области, занятой моей тенью в луже, я видел отражения здания и неба. Кажущееся расстояние до здания было равно расстоянию между лужей и зданием и мне представлялось, что я смотрю через дыру, проделанную в тротуаре под лужей. Изображение бетонных стен здания было неясным. Изображения окон были более яркими, так как окна рассеивали больше света, чем стены. Еще ярче было изображение неба. Я мог видеть и свое отражение, если смотрел почти вертикально вниз на воду. Свет от окружающих объектов рассеивался на моем лице, падал в воду и отражался от поверхности раздела воздух — вода. Были заметны также слабо окрашенные пятна.

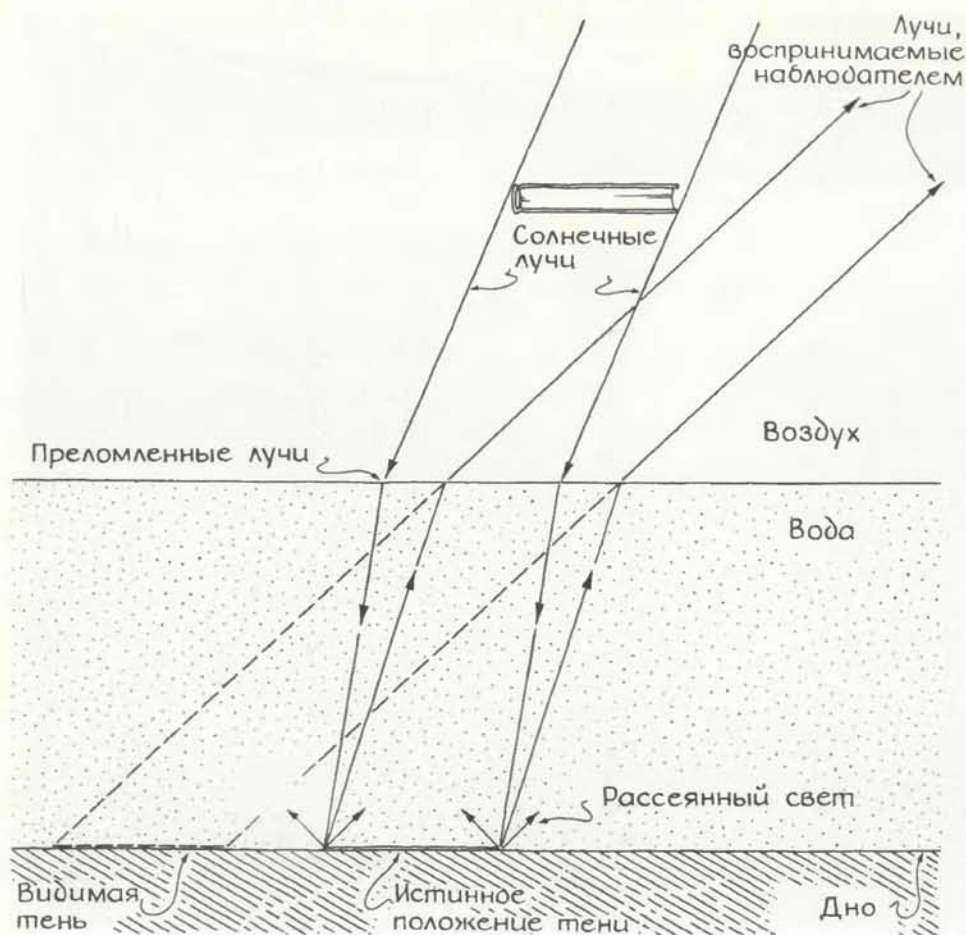
В глубоких водоемах с чистой водой часто образуются неотчетливые тени. Зона полутени здесь шире и тень различается хуже, а кроме того, создаются благоприятные условия для того, чтобы свет из области тени рассеивался в вашем направлении.



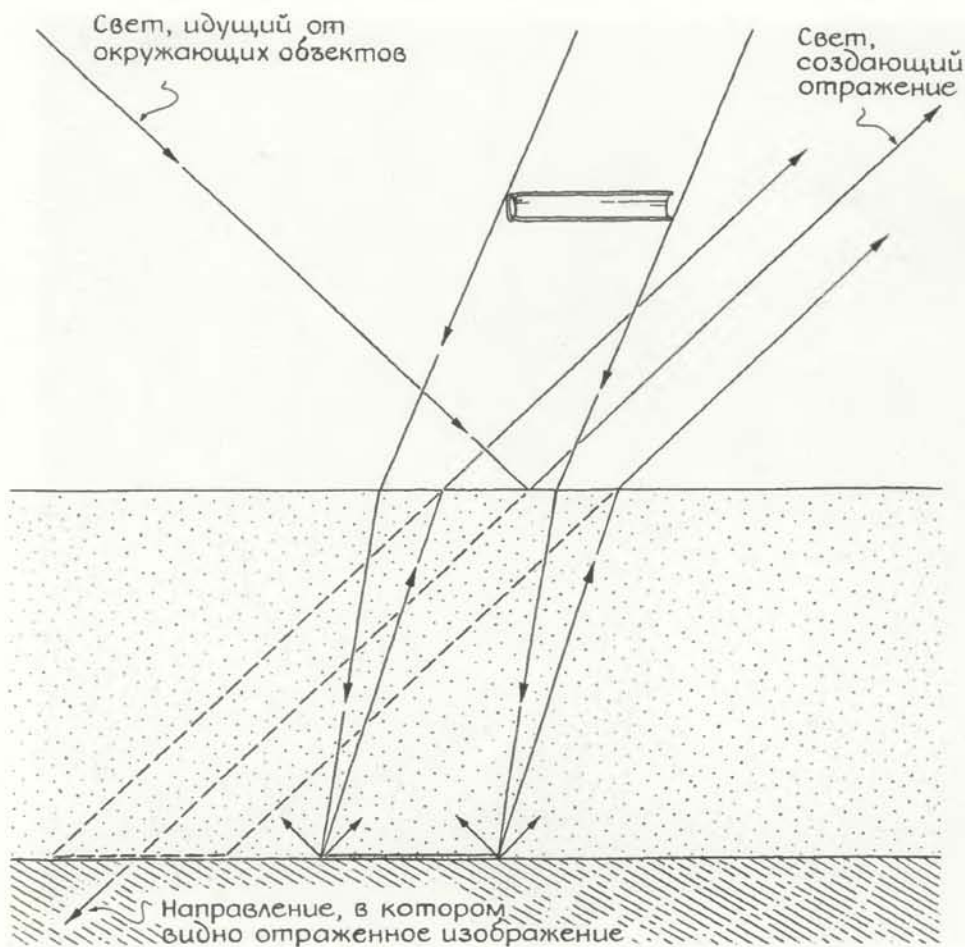
Отражения мачты судна



Лучики света, которые кажутся исходящими из области тени



Истинное и видимое положения тени



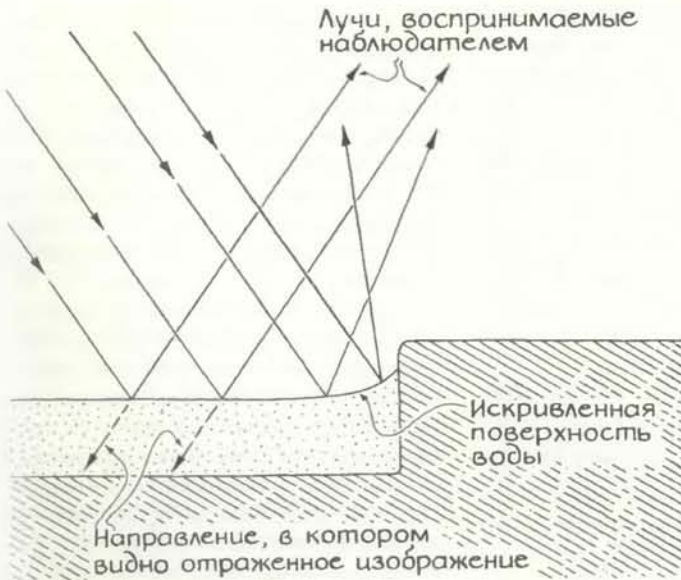
Как отраженное изображение накладывается на тень

Вид и положение тени наблюдателя в водоеме резко изменяются, если вода мутная. Свет рассеивается на взвешенных частицах. Если концентрация частиц не очень велика, а водоем не слишком глубокий, даже свет, отраженный от дна, может достичь ваших глаз. Ваша тень в этом случае остается заметной, но ее края расплывчатые, поскольку свет рассеивается в некотором объеме воды, а не на одной плоскости. Внутренняя область тени засвечивается рассеянным светом. Если мутность воды велика, света, достигающего дна, уже недостаточно для того, чтобы вы увидели на дне тень. Вместо этого вы видите свет, который рассеивается на взвешенном веществе вблизи поверхности водоема. Ваша тень кажется лежащей близ поверхности, а ее края также могут расплываться.

В своей книге «The Nature of Light & Color in the Open Air» М. Минэр утверждает, что при определенной мутности вы не увидите тень человека, стоящего на краю водоема в стороне от вас. Если вода в водоеме буквально насыщена взвесью, свет рассеивается на поверхности воды, почти не проникая вглубь. Ваша собственная тень и тени других предметов видны на поверхности там, где они действительно находятся. Поскольку рассеяние происходит в очень тонком слое, тени имеют резкие границы.

Лежащая рядом с водоемом и освещенная солнцем грязь кажется более темной, чем казалось бы сухая грязь. Почему влажная грязь темнее, чем сухая? К. Борен из Университета шт. Пенсильвания так объясняет этот феномен. Когда частицы окружены не воздухом, а водой, они рассеивают больше света вперед, т. е. вниз в подстилающий слой. Это связано с тем, что показатель преломления воды ближе к показателю преломления частиц грязи, чем показатель преломления воздуха. В результате изменения угловой зависимости рассеяния свет рассеивается на мокрых частицах во много раз чаще, чем на частицах, окруженных воздухом. При каждом акте рассеяния часть света поглощается. Следовательно, рассеянный свет, идущий от влажной грязи в вашем направлении слабее, чем свет, рассеиваемый на сухих частицах грязи.

Отражения в лужах иногда искажаются даже в том случае, когда поверхность воды гладкая. Рассмотрим лужу, лежащую в небольшой ступеньке между двумя бетонными плитами. Плоская часть поверхности воды в луже отражает окружающие объекты, как это делало бы зеркало, но часть поверхности, примыкающая к сту-



Влияние искривленной поверхности воды

пенке, создает искаженные изображения. В этом месте поверхность искривлена из-за притяжения между молекулами воды и веществ, входящих в состав бетона. Подобные искажения возникают в результате искривления поверхности воды вблизи листьев и других плавающих в луже предметов. Если поставить в лужу карандаш, вода поднимется вдоль него. Внезапное изменение отражений создает иллюзию, что карандаш притягивает их к себе. На самом деле на искривленной поверхности воды, по сравнению с плоской поверхностью, вы видите отражения предметов, находящихся дальше от вас.

В 1953 г. С. Джакобс из Аризонского университета заметил, что в водоеме с умеренно мутной водой при слабом ветре возникают любопытные картины. Глубина воды должна быть не меньше метра. Станьте у воды и посмотрите вниз в какое-нибудь место поблизости от тени вашей головы. Вы увидите яркие мерцающие лу-

чи, исходящие из тени. При этом может возникнуть иллюзия, что вся картинка вращается вокруг тени вашей головы.

Своим появлением лучи обязаны рассеиванию на взвешенных частицах и вы видите равномерно освещенный водоем. Если над водой дует легкий ветерок, изменение формы поверхности вызывает изменение в преломлении света, входящего в воду и выходящего из нее. В этом случае в ваши глаза попадает рассеянный свет уже не от всей освещенной солнцем части водоема. Джакобс считает, что рассеяние света в вашем направлении обеспечивает лишь те участки поверхности, которые в данный момент оказываются плоскими. Я лично думаю, что свою лепту в это вносят и некоторые искривленные участки. Но в любом случае в каждый момент вода кажется освещенной

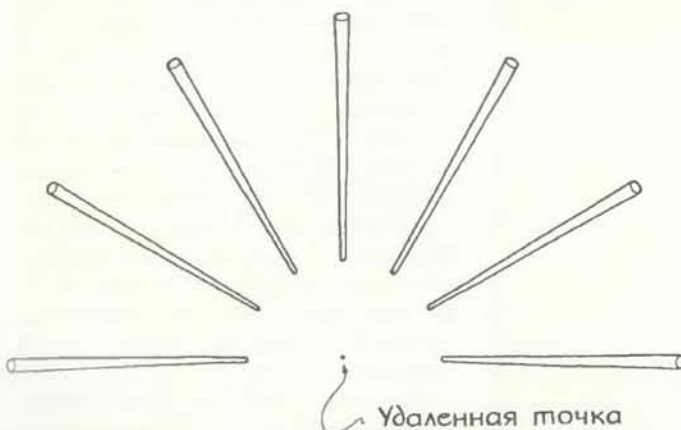
лишь в отдельных местах.

Почему эти освещенные участки выстраиваются в виде радиальных лучей? Каждый из них похож на луч света, проникающий в темную пыльную комнату. Реально вы видите свет, рассеянный частицами пыли, но воспринимаете увиденное как луч света, пересекающий комнату.

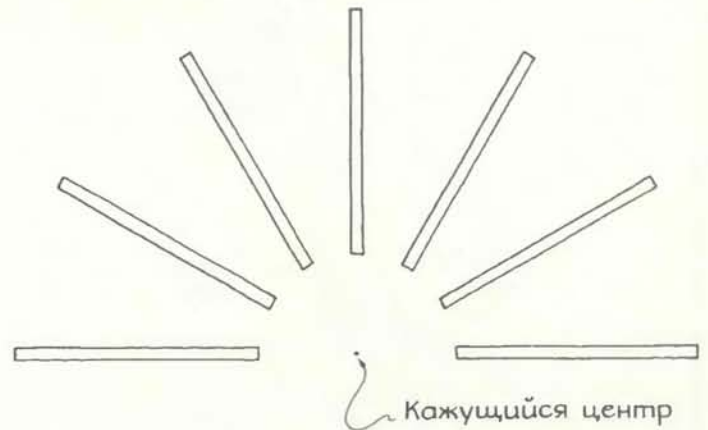
Радиальное расположение полос в воде — это не более чем иллюзия. Допустим, вы смотрите вдоль конструкции, состоящей из длинных параллельных стержней и показанной на рисунке внизу слева. Видимая картина дает по меньшей мере два ключа о глубине пространства. Концы стержней, лежащие на внешнем полукольце, кажутся находящимися ближе, так как вы видите здесь стержни с торца. Глубина пространства подчеркивается и тем, что стержни сужаются. Не располагая признаками глубины, вы могли бы вообразить, что перед вами находятся палочки, лежащие в одной плоскости и расположенные



Явление «излучения»



Аналогия с конструкцией, образованной длинными параллельными стержнями



Воспринимаемое плоское расположение стержней в случае, если бы они не казались суживающимися

вдоль радиусов окружности с центром в точке схождения линий перспективы. Точно так же вы интерпретируете картину, образованную световыми лучами в воде. Не располагая признаками глубины пространства, вы заключаете, что лучи идут вдоль поверхности воды и сходятся в том месте, где на тени вашей головы можно вообразить глаза.

Цветная окраска, которая может появляться в прозрачной воде, была обнаружена Ф. Кроуфордом-младшим из Калифорнийского университета в Беркли. Он обратил на нее внимание, когда сидел в горячей ванне.

Вода была покрыта пятнами света, создаваемыми солнечными лучами, которые проникали через листву деревьев. Его товарищ заметил, что солнечные «зайчики» на две ванны были либо совершенно белыми, либо имели окрашенные края, в зависимости от того, как их рассматривать. Если сидеть так, чтобы солнечные лучи падали из-за плеча, они кажутся белыми. Если сидеть лицом к солнцу, ближний край пятна кажется красным, а дальний — голубым.

Цветное обрамление обусловлено расхождением, или дисперсией, лучей разного цвета, которые составляют

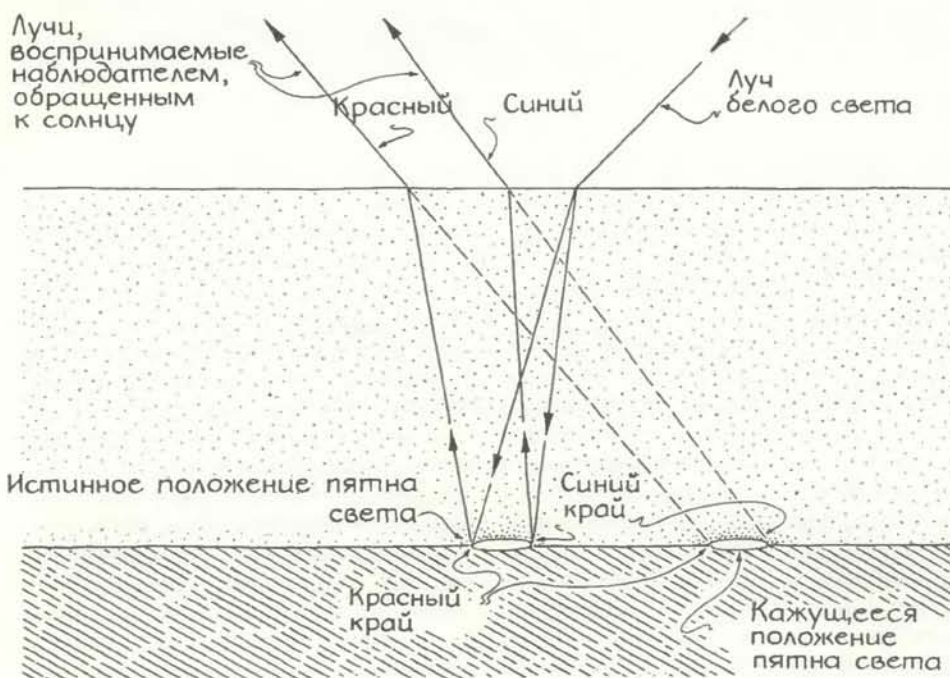
первоначальный белый луч. Дисперсия возникает при преломлении света на поверхности воды. Синие лучи отклоняются от направления распространения сильнее, чем красные. Лучи промежуточных цветов спектра отклоняются на углы с промежуточными значениями. Дисперсия приводит к тому, что красный и синий лучи падают на разные точки на дне.

Если вы сидите спиной к солнцу, единственные лучи, которые возвращаются к вам, рассеявшись на дне, — это те, которые распространяются в обратном направлении почти по первоначальной траектории. Луч каждого цвета распространяется к вам, таким образом, проходя через одну и ту же точку поверхности раздела вода — воздух. Комбинацию этих лучей вы воспринимаете как белый свет. Источником лучей кажется в этом случае единственное пятно света на дне. Видимое положение пятна отличается от его истинного положения, где происходит рассеяние лучей разного цвета, поскольку зрительная система не учитывает преломление света на границе раздела вода — воздух.

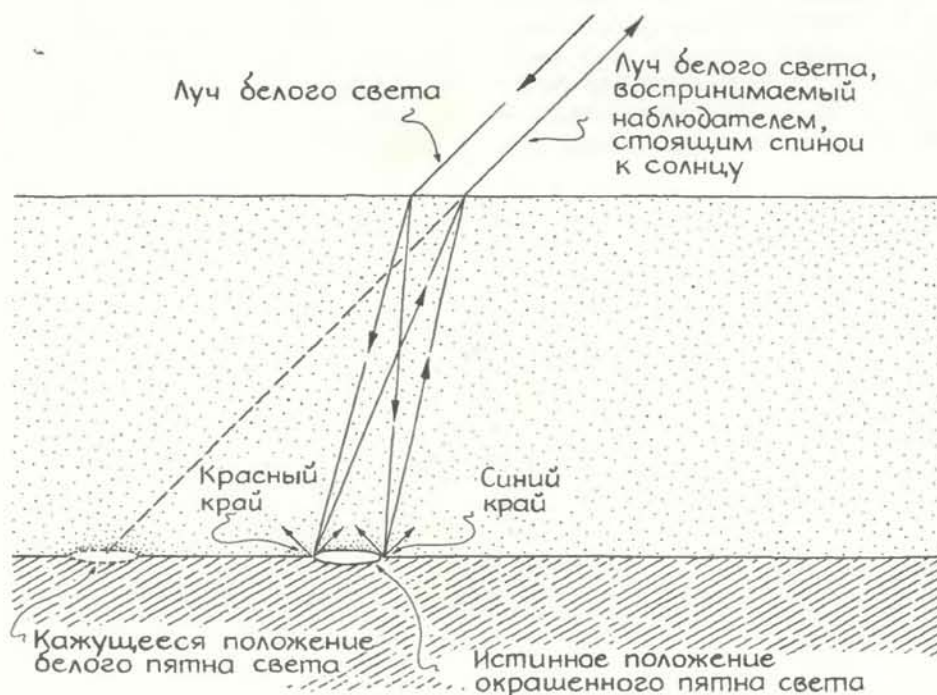
Если вы сидите лицом к солнцу, лучи разного цвета рассеиваются на дне и пересекают поверхность воды в разных точках. Наблюдатель воспринимает их, как исходящие из разных, но перекрывающихся пятен света на дне. Там, где пятна накладываются друг на друга, пятно света — белое, его дальний край имеет синюю, а ближний — красную окраску.

Не так давно Т. Гоулд из Корнелльского университета повторно обратил внимание на поразительные оптические свойства воды с взволнованной поверхностью. Фотографируя отражения мачты корабля, он увидел, что ее изображение, как и следовало ожидать, искривлено. В одной половине фотографии он обнаружил отдельную петлю, которая оказалась изображением короткой секции мачты. Внутри петли отражался участок неба, расположенный с дальней стороны от мачты, а вне петли — участок неба, находящийся с ближней стороны от мачты. Что же произошло? Во время фотографирования небольшой участок поверхности наклонился и искривился таким образом, что в нем отразилась секция мачты. Если поверхность в этом месте не покрыта крутыми волнами и не скрыта от взгляда, такие изолированные отражения мачты должны принимать вид замкнутых петель.

Для того чтобы понять, как образуются такие петли, пометим мысленно точки на мачте и соответствующие им точки на петле. Обозначим высшую точку А, и ее отражение — А'. Точка ниже, В, отражается в



Что происходит, если вы сидите лицом к солнцу



Что происходит, если вы сидите спиной к солнцу

двух местах — с обеих сторон от точки А. Самую нижнюю точку на секции мачты обозначим Z, а ее отражение — Z'. Точка, расположенная повыше, Y, отражается в двух местах — с обеих сторон от Z. Все точки, расположенные между А и Z, имеют по два отражения на петле. В результате секция мачты изображается в виде замкнутой петли.

Д. Линч из Лаборатории космических исследований компании Aerospace Corporation в Лос-Анджелесе дополнил наблюдения Гоулда, заметив, что на взволнованной поверхности воды можно обнаружить «лужицы суши» и «лужицы неба». Эти изображения представляют собой маленькие изолированные пятна, которые соответствуют отражениям протяженных объектов, например горам. Протяженное изображение может создать и точечный источник света. Если фотографировать поверхность воды с маленькой выдержкой, изображение оказывается искривленным и, возможно, состоящим из наложенных друг на друга изображений, поскольку во время длительной экспозиции волнение успевает изменить форму поверхности. Если выдержка мала, изображение представляет собой короткую линию, концы которой соответствуют моментам открывания и закрывания затвора. Попробуйте изучить и другие типы изображений, которые создаются при таких условиях фотографирования.



Отражение в виде петли

Издательство МИР предлагает:

Я. Перина

КВАНТОВАЯ СТАТИСТИКА ЛИНЕЙНЫХ И НЕЛИНЕЙНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Перевод с английского

Книга охватывает широкий круг вопросов, связанных с квантовой теорией излучения, статистикой фотонов и фотоотсчетов в измерениях различного типа, в том числе в лазерных измерениях. Научная новизна монографии заключается в том, что в ней с единых позиций метода когерентных состояний исследованы статистические свойства квантовых оптических полей и уделено особое внимание рассмотрению нелинейных оптических явлений. Всего в книге 10 глав. Первая глава является введением. Главы 2—4 (они базируются на материале книги Я. Перина «Когерентность света»: Мир, 1974) знакомят с аппаратом вторичного квантования и содержат информацию, необходимую для кванвостатистического толкования корреляционной теории излучения. В главе 5 общий метод когерентных состояний применяется к практически важным для оптической связи частным случаям поля, таким как гауссовы поля, лазерные поля и их суперпозиции. Остальные главы посвящены нелинейным явлениям, обзор которых с точки зрения традиционного описания содержится в главе 6.

В седьмой главе рассматриваются приближение Гейзенберга — Ланжевена и приближение обобщенного уравнения Фоккера — Планка применительно к статистическим свойствам излучения. Глава 8 содержит развитие квантовой динамической теории статистических свойств излучения в сплошных средах, включая рассмотрение собственного поля излучения среды. В главе 9 с единых позиций обобщенного уравнения Фоккера — Планка и уравнений Гейзенберга — Ланжевена исследованы наиболее важные нелинейные оптические явления. Особое внимание уделено антикорреляционным и расходящимся эффектам, а также субпласмоновскому поведению оптических полей, не имеющему классических аналогов. В заключительной, десятой главе автор формулирует проблемы, требующие решения в рамках теории кванвостатистических свойств нелинейных оптических явлений.

Для специалистов в области квантовой оптики и электроники, оптической локации и связи и смежных с ними областей современной физики, а также для студентов и аспирантов.

1987, 21 л. Цена 3 р. 10 к.



Занимательный компьютер

Анализ результатов первого турнира по компьютерной игре «Бой в памяти»

А. К. ДЬЮДНИ

«**Б**ОЙ В ПАМЯТИ» — игра, участники которой, компьютерные программы, пытаются уничтожить друг друга, привлекла к себе внимание в конце прошлого года, когда в музее вычислительной техники в Бостоне (шт. Массачусетс) состоялся первый международный турнир, организованный ее энтузиастами. В турнире принимала участие 31 программа, три из них, оказавшиеся самыми боеспособными, стали призерами соревнований. Абсолютным чемпионом была объявлена программа MICE (мышка). Ее автору Ч. Уэнделлу из Рочестера был вручен приз — специально изготовленная декоративная панель с элементами памяти для игры «Бой в памяти» в ее первоначальной версии, относящейся к тому времени, когда появились первые игровые программы, способные вести бой и выполнявшие на компьютере CDC 6600.

Игра «Бой в памяти» уже дважды была темой статей в рубрике «Занимательный компьютер» (см. «В мире науки», 1984, № 7 и 1985, № 5). Созданные людьми боевые программы начинают самостоятельную жизнь, вступая в сражение с противником на поле компьютерной памяти. Область памяти, отведенная под поле боя, называется CORE (сердечник) — так называлась оперативная память компьютера в те времена, когда ее ячейки представляли собой миниатюрные колечки из ферромагнитных сплавов. Эта игра стала настолько популярной, что ее любители организовали свое международное общество. Недавно это общество несколько изменило правила игры и теперь игроки будут придерживаться ее новой версии.

Основу игры составляют боевые программы, написанные на специальном языке низкого уровня под названием Редкод (Redcode). Именно такие программы и выступали на недавнем турнире. При помощи 10 простых команд программа может перемещать информацию из одной ячейки памяти в другую, складывать и вычитать числа, изменять порядок выполнения команд и даже выполнять не-

сколько команд одновременно (см. рисунок на с. 98). Рассмотрим, например, одну из основных команд на перемещение информации MOV. Она состоит из трех частей — кода команды и двух адресов — и занимает одну ячейку памяти. В общем виде команда записывается как MOV A B. Если A, скажем, равно 102, а B равно -5, то программа обратится к ячейке, отстоящей от данной ячейки на 102 адреса, и, прочтя информацию, которая там хранится, поместит ее в ячейку, расположенную на 5 адресов до ячейки, хранящей команду MOV.

Простейшая программа на языке Редкод состоит всего из одной команды MOV 0 1. Эта программа JMP (будем называть ее чертенком) перемещает содержимое ячейки с относительным адресом 0 (т. е. саму команду MOV) в ячейку с относительным адресом 1, т. е. в ячейку, расположенную на один адрес впереди. Команды языка Редкод обычно выполняются последовательно. Это означает, что после выполнения команды MOV 0 1 компьютер попытается выполнить команду, записанную в следующей ячейке. Но там теперь находится команда MOV 0 1, только что скопированная туда из ячейки с предшествующим адресом. В результате чертенок прыгает от адреса к адресу по памяти компьютера, сокрушая все на своем пути. Позади он оставляет след из команд MOV 0 1.

Чертенок может похитить самое главное в программе противника, а именно право на выполнение. Чтобы понять, как это происходит, предположим, что у нас есть боевая программа, выполняющаяся, как обычно, в том порядке, в каком расположены ее команды. Чертенок вторгается в пределы этой программы, заменяя ее команды бесконечной последовательностью MOV 0 1. Рано или поздно наша программа, наверное, передаст управление на поврежденный участок. Но в этом случае она сразу превратится в нового чертенка. Выступая под старым флагом, она вынуждена теперь следовать на поводу у противника, чертенок, до тех пор, пока сражение не кончится.

Чтобы обезопасить себя от нападения чертенка, программа для «Боя в памяти» должна по крайней мере содержать в себе специальный барьер. Этот предохранительный барьер состоит из двух команд, выполняющихся циклически:

```
MOV ≠ 0 - 1
JMP - 1
```

Первая команда перемещает целое число 0, записанное как ≠ 0, в ячейку с относительным адресом -1. Другими словами, при каждом выполнении команды MOV ячейка, расположенная непосредственно «над» ней (только отсюда следует ожидать вторжения чертенка), заполняется числом 0. Вторая команда JMP является командой перехода, или передачи управления. После того как она выполнена, управление переходит на ячейку с относительным адресом -1, т. е. на ячейку, расположенную непосредственно над командой MOV. При каждом цикле выполнения программа сбрасывает нулевую бомбу на то место, куда перед этим мог добраться чертенок, — на ячейку, прилегающую к барьеру сверху. В результате чертенок уничтожается.

Игра «Бой в памяти» основана на двух правилах. Первое заключается в том, что программы-соперники выполняют свои команды по очереди. За чередованием ходов следит управляющая система Марс (MARS — от слов Memory Array Redcode Simulator). Из этого несколько неуклюжего военного названия следует, что Марс имитирует действия компьютера. Марс постоянно изменяет содержимое ячеек оперативной памяти в соответствии с выполняемыми командами языка Редкод. Каждой стороне предоставляется право выполнения лишь одной команды, после чего выполняется команда программы противника. Второе правило состоит в том, что когда одна из программ не может выполнить свою очередную команду, то эта программа считается проигравшей.

Выполнение программы может разделиться на несколько линий. Если в программе, написанной на языке Редкод, встречается команда SPL A, то дальнейшее выполнение программы как бы идет по двум линиям. Одна линия начинается с команды, непосредственно следующей за SPL A, а другая перескакивает на команду с относительным адресом A. К сожалению, Марс не может выполнить обе эти команды одновременно, одну команду система выполняет на одном ходе, предоставленном данной программе, а вторую — на следующем

ходе. Таким образом сводится на нет, казалось бы, важное преимущество: чем больше у программы различных линий выполнения, тем медленнее выполняется каждая из этих линий. Но в итоге подобное замедление оказывается оправданным. Если у программы есть несколько линий выполнения, то она считается проигравшей лишь в том случае, когда ни одна из этих линий не может быть продолжена. Эта ситуация возникает, когда

система Марс, ожидая найти выполнимую команду языка Редкод, находит лишь то, что можно, образно выражаясь, назвать воронками от взорванных снарядов и бомб.

Чтобы проиллюстрировать возможности команды SPL, рассмотрим, к примеру, пять первых команд моей собственной программы, принявшей участие в турнире «Бой в памяти». Я назвал ее COMMANDO (десантник-диверсант) по причинам, о

которых скажу несколько позже.

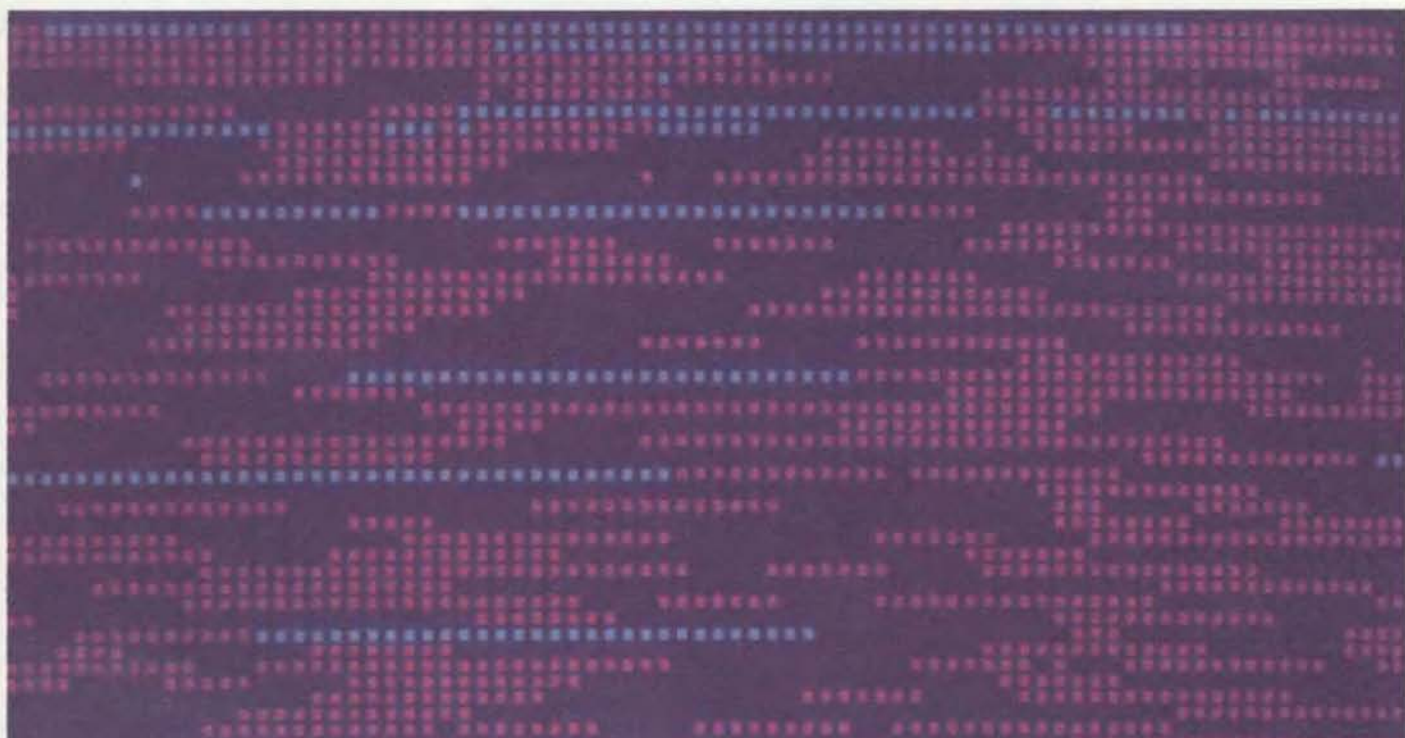
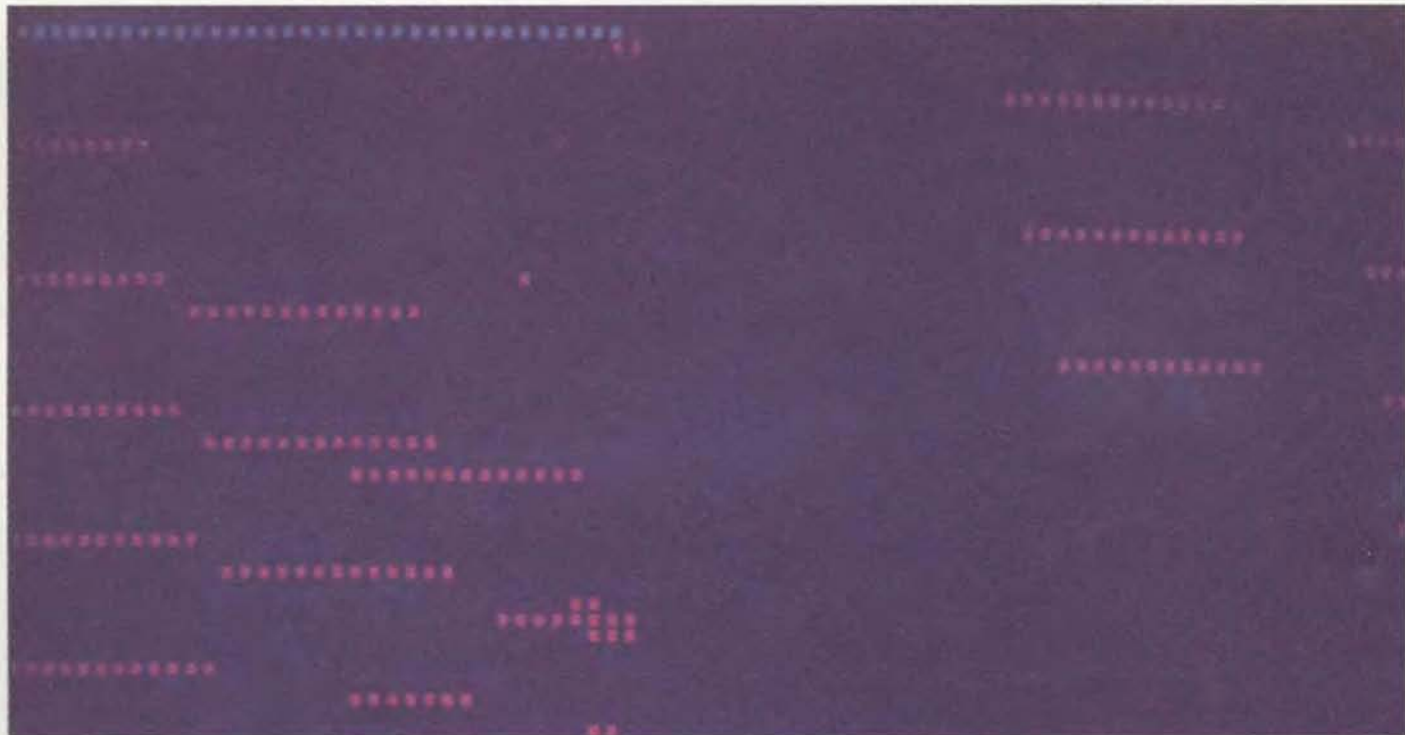
```
MOV ≠ 0 - 1
JMP - 1
SPL - 2
MOV 10 113
SPL 112
```

```
.
```

```
.
```

```
.
```

В первых двух командах читатели, наверное, узнали барьер, предохра-



Одна из начальных и одна из завершающих стадий в сражении между программами MICE (красный) и CHANG1 (синий)

няющий программу от вторжения чертенка. Выполнение самой программы начинается с третьей команды: SPL — 2. На следующих двух ходах, предоставленных программе COMMANDO, будут выполнены первая и четвертая команды, а затем при следующих двух очередных ходах — вторая и пятая команды. Каждая линия программы развивается независимо от другой и с вдвое меньшей скоростью, если можно так выразиться. В рассматриваемом нами примере COMMANDO сначала запускает свой оборонительный фрагмент, который в дальнейшем работает самостоятельно. Затем она запускает своего собственного чертенка (начиная с ячейки, отстоящей на 10 адресов от второй команды MOV) в далекую ячейку (отстоящую на 113 адресов). Второй чертенок запускается следующей командой SPL.

Остальные команды программы COMMANDO предназначены для того, чтобы скопировать всю программу в другую область, которая удалена на 100 адресов от ее теперешнего положения. Новая копия программы, как десантник, только что приземлившись на территории противника, запускается командой JMP в исходной программе. Старый экземпляр COMMANDO, за исключением барьерного фрагмента, прекращает свое существование и больше не выполня-

ется. Затем описанный процесс повторяется для нового экземпляра программы, который в свою очередь копируется на новое место в памяти.

Ну а насколько успешно выступила программа COMMANDO против своих соперников? Турнир был организован так, чтобы между программами-участниками (а их, как уже отмечалось, было 31) состоялось как можно больше поединков. Розыгрыш по полной круговой системе, когда каждый участник встречается со всеми другими участниками, потребовал бы проведения 465 поединков и занял бы слишком много времени. Поэтому участники были поделены произвольно на две приблизительно равные группы: группа I и группа II. Затем внутри каждой группы был проведен турнир по полной круговой системе.

Известие о том, что COMMANDO стала победителем турнира в группе II, я встретил со смешанным чувством. С одной стороны, я был очень горд тем, что мое кибернетическое творение так хорошо проявило себя в действии. В то же время я испытывал некоторое беспокойство при мысли о том, что моя программа может оказаться победителем соревнований. Дело в том, что я согласился выступить в роли комментатора финальных состязаний и чувствовал, что мне трудно будет сохранить объективность.

Четыре лучшие программы из каждой группы выступили затем в новом круговом турнире. Победителями в этом турнире оказались три программы: CHANG1 — автор М. Чанг из Флорал-Парка (шт. Нью-Йорк) и две программы Ч. Уэнделла MIDGET и MICE. Моя программа COMMANDO, получив смертельное ранение, пала смертью храбрых. Интересно сложился финал, выигранный программой MICE. MIDGET и MICE свели свои поединки с CHANG1 вничью, но MICE получила решающее выигрышное очко, добившись победы в поединке с MIDGET.

Матч между каждой парой финалистов состоял из четырех боев, проводившихся один за другим. Поединки были ограничены по времени: каждая сторона могла сделать не более 15 тыс. ходов (команд), что приблизительно соответствует двум минутам машинного времени. Две встречающиеся в поединке боевые программы помещались в выбранные случайным образом непересекающиеся области памяти, после чего они запускались. Получилось так, что бои, проведенные между всеми парами программ, закончились с одним и тем же результатом. В частности, все бои между программами MICE и CHANG1 завершились вничью.

Очень интересно наблюдать за развитием боя. На турнире использовался дисплей, на котором отображалось поле боя в виде последовательности полос с клеточной структурой (см. рисунок на с. 97). Каждая клетка представляла одну ячейку (и один адрес) в памяти, причем последняя клетка в нижнем ряду была соседней по отношению к первой клетке в верхнем ряду. Таким образом, поле боя было замкнутым. Программа, которой предоставлялся первый ход, в исходном положении занимала область памяти, начинавшуюся с адреса 0, и ее команды последовательно заполняли прилегающие ячейки. Клетки, занятые этой программой, окрашивались в голубой цвет. Программа-соперник занимала произвольно выбранную область ячеек, не пересекавшуюся с областью, занятой первой программой. На экране эта область окрашивалась в ярко-красный цвет. А вообще цвет любой клетки на дисплее определялся тем, какая из соперничавших программ изменила ее содержимое последней. Таким образом, перед глазами наблюдателя разворачивалась картина сражения.

На темно-синем фоне экрана MICE и CHANG1 переползали с места на место, запускали чертиков, разбрасывали бомбы и воспроизводили сами себя (самопроизвольным делением).

КОМАНДА	ОБОЗНАЧЕНИЕ	ОПЕРАНДЫ	ПОЯСНЕНИЯ
Определить	DAT	B	Невыполняемая команда; B — значение элемента данных
Переместить	MOV	A B	Переместить содержимое ячейки A в ячейку B
Сложить	ADD	A B	Сложить содержимое ячеек A и B
Вычесть	SUB	A B	Вычесть содержимое ячейки A из содержимого ячейки B
Перейти	JMP	A	Передать управление в ячейку A
Перейти, если 0	JMZ	A B	Передать управление в ячейку A, если в ячейке B находится 0
Перейти, если больше 0	JMN	A B	Передать управление в ячейку A, если содержимое ячейки B больше 0
Уменьшить и перейти, если больше 0	DJN	A B	Вычесть 1 из содержимого ячейки B и передать управление по адресу A, если содержимое B становится больше 0
Сравнить	CMP	A B	Сравнить содержимое ячеек A и B; если они равны, пропустить следующую команду
Разветвить	SPL	A	Разветвить выполнение команд: выполнить следующую команду и команду в ячейке A

Проследим за тем, как развивались события в одном типичном бою между этими программами. CHANG1 возникла в виде голубой полоски в левом верхнем углу экрана, а появление на свет программы MICE было ознаменовано красной полоской, возникшей несколько ближе чем на полпути к нижнему краю экрана. Почти сразу же и очень быстро «мышки» начали разбегаться по экрану.

Одна из самых коротких известных мне самовоспроизводящихся программ MICE состоит всего из восьми команд, две из которых создают новую копию программы в области памяти, отстоящей на 833 адреса от положения, занимаемого ею на момент копирования (см. рисунок справа). Эти две команды демонстрируют некоторые дополнительные возможности языка Редкод:

```
loop MOV @ ptr < 5
      DJN loop ptr
```

Здесь слово *loop* (цикл) представляет собой просто метку, обозначающую адрес (в данном случае ячейки, в которой содержится команда MOV). Благодаря использованию меток написанные программы на Редкоде значительно упрощаются. По команде DJN (уменьшение и переход к ненулевому значению операнда) происходит передача управления на команду, помеченную меткой *loop*, если значение величины, хранящейся в ячейке с другим адресом (помеченным меткой *ptr*), не равно нулю. Значок @ означает способ адресации, называемый косвенным: при выполнении команды MOV перемещается не содержимое ячейки, помеченной как *ptr*, а содержимое содержимого, если можно так выразиться. Число, хранящееся по адресу *ptr*, является адресом той ячейки, содержимое которой следует переместить. В данном случае это содержимое представляет собой одну из команд программы MICE.

Число, хранящееся в ячейке с адресом *ptr*, все время изменяется благодаря функции уменьшения, содержащейся в команде DJN. Исходное значение этого числа равно последнему адресу программы, затем оно постепенно уменьшается до 0 и здесь цикл копирования завершается. Аналогичным образом адреса, по которым должны разместиться команды программы на новом месте, также заданы косвенно. Ячейка с относительным адресом 5 первоначально хранит число 833, и первая команда, перемещаемая программой, приземлится в ячейке, отстоящей на 832 адреса от команды MOV. Как показывает значок <, адрес назначения уменьшается

CHANG1				MICE			
	MOV	#0	-1	<i>ptr</i>	DAT	#0	
	JMP	-1		<i>start</i>	MOV	#12	<i>ptr</i>
	DAT		+9	<i>loop</i>	MOV	@ <i>ptr</i>	<5
<i>start</i>	SPL	-2			DJN	<i>loop</i>	<i>ptr</i>
	SPL	4			SPL	@3	
	ADD	#-16	-3		ADD	#653	2
	MOV	#0	@-4		JMZ	-5	-6
	JMP	-4			DAT	833	
	SPL	2					
	JMP	-1					
	MOV	0	1				

Участники чемпионата игр «Бой в памяти»

при каждом выполнении команды MOV. Мышки копируют себя как бы от хвоста к голове.

Команда SPL (от англ. split — разветвление), следующая сразу же за циклом копирования, передает управление только что созданному экземпляру программы MICE. Но вслед за рождением отпрыска старый экземпляр программы выполняется сначала. В принципе количество отпрысков, порождаемых подобной программой, не ограничено. И каждая новая программа работает, следуя все той же процедуре. Действительно, получают такие же мышки!

Так было и в типичном сражении с программой CHANG1. Мышки размножались с невероятной быстротой. Вскоре весь экран был усеян маленькими красными полосками. Тем временем CHANG1 запустила своеобразную фабрику, производящую на свет чертиков и спускающую их «вниз по течению». Эта фабрика была построена всего лишь из трех команд:

```
SPL 2
JMP - 1
MOV 0 1
```

Когда управление достигает команды SPL, процесс выполнения команд разветвляется на две ветви. Одна из них начинается с команды MOV 0 1. Другая ветвь выполняет команду JMP - 1, которая начинает весь описанный процесс заново. Тем временем один чертенок уже покинул конвейер и отправился на охоту за мышками. Основная проблема, возникающая при массовом производстве чертиков, заключается в том, что большое число независимых линий выполнения замедляет каждый из выполняемых процессов. 1000 чертиков движутся в 1000 раз медленнее, чем один чертенок. Во всяком случае, роковая орда чертиков стала медленно спускаться из верхней части экрана в виде все удлинявшейся сплошной голубой полосы. Смогут ли они перехитрить мышек?

Пока размножались чертики, несколько экземпляров программы MICE, или несколько мышек, были убиты бомбами, брошенными программой CHANG1. Такая бомба представляет собой обычно число 0, «сбрасываемое» командой MOV предположительно на территорию противника. Ключевая команда в программе Чанга — это MOV ≠ 0 @ -4. Нулевая бомба падает в ячейку, адрес которой содержится в ячейке четырьмя адресами «выше» команды MOV. Адрес назначения постоянно увеличивается на 16 единиц, тем самым обеспечивается равномерный обстрел «по площади».

В то время как некоторые мышки погибали от бомб, чертики тоже начали причинять вред противнику. Однако в каждом экземпляре программы MICE заложена возможность самоубийства. Программа постоянно проверяет свою первую команду, которая представляет собой команду описания данных и должна содержать в себе число 0. Если там уже не 0, то программа совершает переход на (невыполнимую) команду описания данных и таким образом предпочитает погибнуть, чем стать жертвой крошечного неприятеля.

Но если одни мышки погибали под бомбами, а другие, так сказать, кончали жизнь самоубийством, чтобы избежать плена, то как же им удалось все-таки выжить? Объяснение, конечно, заключается в их чрезвычайной плодовитости. Ведь в конце концов многие новые экземпляры приземлились на голову противника. На самом деле незадолго до истечения времени поединка один из экземпляров программы MICE приземлился прямо на территории основной программы CHANG1 и уничтожил ее. Однако к этому моменту CHANG1 создала достаточно много чертиков, чтобы протянуть время до финального звонка. Поединок завершился с ничейным исходом.

Искусство создания программ для



Карикатура
на среднестатистическое лицо

игры «Бой в памяти» находится еще в своей начальной стадии. Конечно, здесь будут сделаны свои открытия и будет наблюдаться постепенный неуклонный прогресс. Какому-нибудь изобретательному программисту, возможно, удастся открыть абсолютно надежное средство против угрозы чертиков, другой сумеет найти простой способ самовосстановления поврежденной программы.

Боевые программы следующих поколений, наверное, будут длиннее теперешних призеров, но зато их «живучесть» будет на несколько порядков величины выше. Они будут способны заниматься разведкой, оставлять ложный след и наносить внезапные сокрушительные удары по противнику. Эти тенденции, возможно, проявятся уже на втором международном турнире по игре «Бой в памяти», который должен состояться осенью этого года в музее вычислительной техники. А пока читатели имеют возможность солидно подготовиться, вложив в программы всю свою изобретательность и коварство.

Своим успехом прошлогодний турнир был в значительной степени обязан М. и Б. Кларксонам, а также Г. Беллу, возглавляющему музей вычислительной техники, и Оливеру Стримпелу, куратору музея. В заключение нужно, наверное, сказать несколько слов о самом музее.

Музей вычислительной техники в Бостоне, пожалуй, единственный в мире музей, экспозиция которого целиком посвящена компьютерам. Размещенный в перестроенном (и теперь роскошном) здании бывшего складского помещения на набережной, он демонстрирует компьютеры — от чудовищ, собранных на вакуумных электронных лампах, до персональных компьютеров, полностью предназначенных для игр. Стены помещения украшены удивительной графикой: здесь представлена полная

компьютерная система NORAD SAGE и многие другие экспонаты как развлекательного, так и образовательного плана. Читатели, которые будут в Бостоне и посетят старинный корабль в бостонской бухте, могут заглянуть и в музей вычислительной техники, это буквально в двух шагах от бухты.

В ДЕКАБРЬСКОМ номере журнала за прошлый год в рубрике «Занимательный компьютер» была помещена статья с описанием программы, строящей карикатуры и созданной под влиянием работы С. Бреннан, сотрудницы фирмы Hewlett-Packard Laboratories в Пало-Альто (шт. Калифорния). В качестве входных данных в программу вводится цифровая версия портрета, карикатурное изображение которого должна построить программа. Введенный цифровой портрет программа сравнивает со среднестатистическим лицом, также хранящимся в памяти компьютера в цифровой форме. Затем программа увеличивает каждую черту представленного ей портрета с коэффициентом, пропорциональным тому расстоянию, на которое отстоят друг от друга соответствующие точки двух портретов. Если, например, ухо окажется несколько большим, чем у среднестатистического лица, то программа сделает его еще большим, помножив расстояния между соответствующими точками на множитель искажения k .

Читателей, которые хотели бы сами реализовать программу FACEBENDER, возможно, несколько отпугивает перспектива перевода в цифровую форму своего собственного лица с фотографии. П. Макалузо из Уайт-Плейнза (шт. Нью-Йорк) в качестве исходного портрета для карикатуры использует среднестатистическое лицо. «Главное, — пишет Макалузо, — подобрать диапазон вариаций таким образом, чтобы он соответствовал размеру данной черты лица. Так, например, величина уха может варьировать в более широких пределах, чем ямочка на подбородке. Для каждой черты лица мы просто строим «описывающий» ее прямоугольник, вычислив максимально возможные и минимально возможные координаты x и y для этой черты». В этих зафиксированных диапазонах фактор искажения выбирается с использованием датчика случайных чисел в ходе выполнения программы. Таким образом, пользуясь версией программы FACEBENDER, созданной Макалузо, можно без труда получить целую галерею портретов. Одна из построенных этой программой карикатур на-

поминает портрет Леонардо да Винчи. Она показана слева.

Читатель из Пасадина (шт. Калифорния), известный нам только по своим инициалам Д. М. И., сделал предложение, позволяющее избежать «безликости» — ужасного состояния программы, когда коэффициент искажения становится слишком большим. Все черты лица превращаются при этом в какое-то невообразимое и неузнаваемое птичье гнездо из многоугольников. Представим себе, что лицо, предназначенное для карикатуры, наложено на среднестатистическое лицо и что соответственные точки обоих портретов связаны между собой пружинками. Теперь, когда искажающая процедура пытается переместить представительные точки введенного лица, она встречает со стороны пружинки определенное сопротивление. На относительно небольшие искажения оно оказывает пренебрежимо малое воздействие, но при увеличении размеров искажения сопротивление пружинки растет и в конечном итоге не позволяет изображению стать «безликим».

Издательство
МИР
предлагает:

Э. Баннаи, Т. Ито
АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ
КОМБИНАТОРИКА:
Ассоциативные
схемы

Перевод с английского

Книга известных японских математиков, систематически излагающая новый подход к решению разнообразных задач алгебры и комбинаторики, основанный на применении ассоциативных схем. В последние годы интерес к этой тематике возрос в связи с приложениями в теоретической и прикладной математике.

Для математиков разных специальностей, аспирантов и студентов как учебное пособие по дискретной математике.

1987, 19 л. Цена 2 р. 50 к.



Издательство МИР предлагает:

Р. Токхейм
**ОСНОВЫ
 ЦИФРОВОЙ
 ЭЛЕКТРОНИКИ**

Перевод с английского



Последовательное и сжатое изложение принципов действия и возможностей практически всех видов цифровых элементов и устройств. Рассматриваются вентильные логические схемы, способы двоично-десятичного кодирования, принципы действия и построения логических и

арифметических модулей, архитектура и ЗУ микрокомпьютеров, а также методы сопряжения цифровых и аналоговых устройств.

Для инженеров, желающих использовать цифровую аппаратуру, и студентов, изучающих электронную технику.

1987, 22 л. Цена 1 р. 90 к.



Применение удобрений в США; фракталы; включения в драгоценные камни

ФИЛИП MORRISON

Ричард А. Вайнс. УДОБРЕНИЯ В АМЕРИКЕ: ОТ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ДО РАЗРАБОТКИ РЕСУРСОВ

FERTILIZER IN AMERICA: FROM WASTE RECYCLING TO RESOURCE EXPLOITATION, by Richard A. Wines. Temple University Press (\$34.95)

ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ. Третье издание. Под редакцией *О. П. Энгелстада*

FERTILIZER TECHNOLOGY AND USE, Third Edition, edited by O. P. Engels-tad. Soil Science Society of America, Inc. (\$40)

К 1850 г. Нью-Йорк уже в течение целого поколения был самым крупным городом США. Информацией об этом важнейшем торговом и промышленном центре открывался каждый справочник по стране. Сено для его лошадей, свежие продукты к столу для его жителей и дрова для их печей и каминов поступали с ферм, расположенных в соседних провинциях Куинз и Нассау, славящихся своими садами.

На Американском континенте вновь расчищенные под пашни земли около ста лет давали хороший урожай за счет питательных веществ, содержащихся в земле, где прежде были леса. Проблема удобрений не ощущалась здесь столь остро, как в Европе. Ознакомившись с американским способом ведения хозяйства, европейские специалисты были весьма удивлены тем, что американские фермеры совершенно не заботились об удобрении полей.

Из своих питательных веществ почва чаще всего первым теряет фосфор, затем — азот и наконец — калий. Приблизительно к 1800 г., когда начал разрастаться городской рынок, на обрабатываемых землях давно заселенных восточных районов США стала снижаться урожайность. А в 30-х годах прошлого века в американских сельскохозяйственных журналах появляются статьи о повышении плодородия почв с помощью внесенных в них компостов и навоза.

Вблизи Нью-Йорка фермерам не удавалось восстановить плодородие почвы с помощью собственных ресур-

сов. Например, фермеры Лонг-Айленда продавали около половины своего сена в город, чтобы не остановился «городской транспорт»; они также не выделяли больших участков земли под пастбища, поскольку им было выгоднее выращивать овощи и продавать их на городском рынке. Поэтому фермерам приходилось доставать где-то органические вещества для удобрения своей песчанистой почвы. В частности, источником удобрений служило море. Все, что не шло в пищу, — мелкая рыбешка, мечехвосты и морские водоросли — вносилось в больших количествах в борозды вместе с другими органическими удобрениями, что представляло собой весьма трудоемкий процесс.

Постепенно Нью-Йорк превратился в гигантскую «фабрику по производству навоза». К 1840 г. между городом и окружающими его фермами был налажен настоящий товарообмен: пароходы и поезда, доставлявшие в Нью-Йорк сельскохозяйственные продукты, уходили обратно нагруженные конским навозом, печной золой, костями забитого на бойнях скота и даже вонючим уличным мусором. Теперь наиболее высокий урожай стали получать те фермеры, которые вносили больше органических удобрений. Проблема восстановления плодородия почвы дала импульс коллективному процессу изыскания всевозможных источников удобрений в городах и средств их доставки в сельские районы.

Нью-Йорк стал поставщиком еще одного вида удобрений — нечистот. Каждую ночь ассенизационные тележки перевозили этот продукт из туалетов и выгребных ям к пристани и сваливали его в кучу. Зловоние распространялось по всему Манхэттену. В течение двух десятилетий одна предприимчивая компания грузила на свои пароходы часть муниципальных «щедрот», превращала их в сухой порошок, добавляя к нему торф. Однако, несмотря на созданный ему рекламу, порошок этот был малоэффективен, так как содержал лишь небольшой процент питательных веществ.

Затем появляется гуано (слово это

пришло из языка инков, а сам продукт впервые стал употребляться в Перу два тысячелетия назад). К 1845 г., всего через 5 лет после того, как первая партия гуано была продана в Ливерпуле, фермеры США буквально «помешались» на этом наиболее эффективном из всех натуральных удобрений: для заметного повышения плодородия почвы гуано нужно было вносить по сравнению с другими видами удобрений в несколько десятков раз меньше.

Гуано собирали сначала на трех крошечных островках, омываемых течением Гумбольдта и расположенных вблизи от засушливого побережья к югу от Лимы. Гуано образовалось в результате уникальных природных условий этого района: богатая питательными веществами, в частности планктоном, проточная холодная вода, избоблюющая рыбой, которая служила пищей целым колониям морских птиц, а также полное отсутствие дождей способствовали в течение столетий накоплению птичьего помета с сохранением всех растворимых ингредиентов.

Год за годом острова Чинча представляли гуано (в некоторых местах толщина его слоя достигала 60 м) целой армии торговцев, корабли которых выстраивались сотнями в ожидании погрузки удобрения. За 30 лет 10 млн. тонн гуано было доставлено в Европу и Северную Америку. Нигде в мире, кроме этого побережья, не удалось найти равноценных запасов гуано. Это ценное удобрение даже послужило причиной территориальных притязаний. Так, к 1880 г. около 70 островов — источников гуано, — разбросанных в Тихом океане и Карибском море, были объявлены США своей собственностью. Некоторые из них объявлялись собственностью дважды. Конечным итогом «гуанолихорадки» стало то, что к США отошли такие крошечные владения, как Суон, Хауленд и Бэйкер. Следует сказать, что гуано, добытое не в Перу, было менее ценным: дожди вымывали азотистые удобрения, поэтому в них оставалось больше труднорастворимых фосфатов.

В 1867 г. в Южной Каролине было открыто крупное месторождение фосфатов. Этот источник удобрений начал столь интенсивно разрабатываться, что к 1880 г. здесь добывалось в 10 раз больше удобрений, чем их ввозилось с далеких островов.

Большую роль на американском рынке удобрений сыграли суперфосфаты — размельченные кости, обработанные кислотой, делающей их растворимыми и тем самым лучше усваиваемыми корнями растений, —

способ получения которых был предложен Юстусом Либихом (немецким химиком, одним из основателей агрохимии. — *Ред.*). В 70-х годах прошлого века американские фермеры могли приобрести питательную смесь из различных минеральных удобрений в пропорции, дающей наилучший результат для сельского хозяйства. В ее состав входило 2—3% азота, 6—8% растворимой фосфорной кислоты и около 2% поташа.

На карте 1880 г. показано, какие удобрения имели наиболее широкое распространение среди фермеров Восточного побережья США от Бостона до Норфолка. Широко использовались они и на Юге, но скорее как краткосрочное решение проблемы нехватки рабочей силы и кредитов в период после гражданской войны, чем как способ повышения плодородия почвы. К концу прошлого столетия удобрения стали все больше применяться в центральных районах страны. Таким образом, еще столетие назад в Америке «практически сформировалась система производства и использования удобрений, основные черты которой сохранились и до наших дней».

В наше время более миллиарда человек во всем мире питаются сельскохозяйственными продуктами, выращенными с применением удобрений. После постоянного роста в течение последних 20 лет производство удобрений достигло примерно стабильного уровня и составляет сейчас около 23 кг в год на человека (причем половина всех удобрений — азотные). Центры производства удобрений сместились из развитых стран в развивающиеся, в особенности в те из них, которые располагают сырьевыми ресурсами.

На предприятиях по производству азотных удобрений атмосферный азот фиксируется в виде аммиака под большим давлением с применением катализа. Эти предприятия постоянно модернизируются. Однако по-прежнему в основе метода лежит способ, разработанный Фрицем Хабнером из Карлсруэ незадолго до начала первой мировой войны. Фосфорнокислый аммоний служит основным источником фосфора; калий имеет широкое распространение в виде соединений с хлором. Фиксация азота требует большого количества энергии. Наиболее дешевый способ основан на использовании природного газа, который также служит поставщиком водорода. Не случайно заводы по производству азотных удобрений строятся теперь вблизи месторождений природного газа, крупнейшие из которых находятся в СССР и Китае.



PERUVIAN GUANO SUBSTITUTE.

BAUGH & SONS,

NONE GENUINE



ON EVERY

WITHOUT THE

SACK AND BARREL

Торговые марки некоторых компаний XIX в., производивших минеральные удобрения

Фосфаты добываются открытым способом из обнажений осадочных горных пород. Основные их залежи находятся на юге США и в Марокко. При обработке их серной кислотой получается фосфорная кислота, которая затем вступает в реакцию с аммиаком. Соли калия, напротив, добываются под землей, главным образом в Саскачеване и на Украине.

Вторая из рецензируемых книг — своего рода справочник — представлена специалистами из Общества почвоведения. Примерно половину ее страниц составляют прогнозы, описание проблем сбыта и использования важнейших типов удобрений. Вторая половина посвящена техническим проблемам.

Читатель найдет в книге много интересного. Так, он узнает о системе трубопроводов, по которым жидкий безводный аммиак поступает с побережья Мексиканского залива в северные районы США — производители кукурузы и соевых бобов. Крупнейшие из этих линий связывают заводы, расположенные в штате Луизиана (где осуществляется процесс химического синтеза), с системой приемных пунктов, разбросанных на большой территории от Индианы до Небраски. Железнодорожные цистерны и

специальный грузовой транспорт ежегодно перевозят на поля миллионы тонн аммиака.

Дождевая вода в наше время содержит соли серной кислоты. Роль дождя в восполнении серы в почве всегда была существенной (элемент этот поглощается растениями в виде ионов солей серной кислоты). Все более широкое применение искусственных удобрений с низким содержанием серы, а также надежды на то, что произойдет некоторое очищение атмосферы, должно привлечь все большее внимание к этому виду удобрения. В США и Канаде все чаще ощущается нехватка серы в почве. Дело в том, что, несмотря на многочисленные естественные источники солей серной кислоты, наблюдается уменьшение содержания ее в почве, поскольку этот элемент постоянно вывозится с полей вместе с урожаем. В настоящее время появились признаки, позволяющие надеяться на некоторое улучшение этой ситуации.

Современные фермеры стремятся как можно меньше полагаться на природу. Искусственно орошаемые поля вместе с водой получают и удобрения, которые дозируются и смешиваются с помощью специальных приспособлений. Обработка земли с по-

мощью рыхлительного культиватора и посев без предварительной глубокой вспашки ведут к некоторой дополнительной потере азота. Однако урожаи при этом не уменьшаются: у этой системы есть свои преимущества, компенсирующие потери азота.

Следует отметить, что даже в США, где широко применяются минеральные удобрения, естественное обогащение почвы питательными веществами — за счет бактерий, живущих на корнях бобовых, растительных остатков и навоза — возвращает на поля несколько больше азота, чем его вносится в виде минеральных удобрений. Проблема восстановления плодородия почвы будет существовать до тех пор, пока с помощью генной инженерии основные культуры наших полей не получат (подобно бобовым) способность фиксировать азот из воздуха.

РОСТ И ФОРМА: ФРАКТАЛЬНЫЕ И НЕФРАКТАЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ В ФИЗИКЕ. Под редакцией *Х. Е. Стэнли, Н. Островски*

ON GROWTH AND FORM: FRACTAL AND NON-FRACTAL PATTERNS IN PHYSICS, edited by H. Eugene Stanley and Nicole Ostrowsky. Martinus Nijhoff Publishers, Kluwer Academic Publishers, (\$44.50)

СТРУКТУРА вещества в природе часто принимает замысловатые ветвящиеся формы, напоминающие обтрепанные края ткани. Примеры таких структур многообразны: это и коллоиды, и отложения металла при электролизе, и клеточные популяции. Эта классическая, но сложная макроскопическая категория структур привлекла к себе внимание физиков из многих стран мира. Вместе с несколькими увлеченными студентами они провели неформальную летнюю сессию, доклады которой представлены в рецензируемом издании. Первую половину тома составляют вводные сведения, названные в совокупности «курсом», а вторую («семинары») — доклады по отдельным работам.

Изложенный в книге материал доставит удовольствие и неспециалисту. Рассматриваемые в ней проблемы относительно просты, так же, например, как в теории чисел. Но, как и в последней, математический аппарат, применяемый для решения поставленных задач, быстро выходит за рамки понимания неподготовленного читателя. Однако авторы описали простые и в то же время удивительные эксперименты, над которыми можно поразмыслить, а также интересные компьютерные модели, пред-

ставленные в графической форме.

Если в теории чисел часто упоминаются Евклид и Диофант, то эта книга представляет молодую область. Статья, опубликованная в 1960 г., в этом смысле кажется почти «древнегреческим» источником. Ссылки на пару таких пионерных статей часто встречаются в тексте; путь для исследований был открыт в середине 1970-х годов, а большинство основных результатов получено в 1980-х. Здесь перед нами пример научного направления, переживающего счастливую пору роста.

Начнем с эксперимента, проведенного в 1984 г., о котором рассказывает один из его соавторов в короткой вводной главе. Из синезеленого раствора путем электролиза был получен слой меди. Зарегистрированная зависимость тока от времени позволила вычислить массу отложившейся меди как функцию растущего радиуса. В области, охватывающей 4 или 5 порядков массы, данные хорошо описываются степенным законом. Однако измеренная масса не растет пропорционально кубу радиуса, как это должно быть для всякой «уважающей себя» чисто металлической сферы; она увеличивается с меньшим показателем степени, а именно 2,4. В этих тщательно подобранных условиях медь откладывается не в виде сплошного кристаллического слоя, а в виде губчатого, пористого образования из перистых дендритов. Полученное отложение представляло собой крошечное зернышко металла, процесс был ограничен медленной диффузией ионов меди к катоду, так что «зародыш то рос, то нет». Субмиллиметровый шарик меди имел фрактальную структуру, т. е. структуру, подобную самой себе в широком диапазоне масштаба. Геометрию таких объектов, содержащую в себе случайный элемент, можно описывать в рамках своеобразной дробной размерности.

Теоретики (и их компьютеры) были готовы к этому. Вот их модель. Начинаем с одной частицы — зародыша. Затем второй частице предоставляется возможность диффундировать к первой по случайной траектории, в ходе обычного броуновского движения в трех измерениях. Вводим простейшее правило для агрегации: в тот момент, когда частица касается другой частицы, она прилипает к ней и остается на месте. Рост продолжается — вычислительные алгоритмы, моделирующие этот процесс эффективно и дешево, отнюдь не просты — до 50 000 или 100 000 частиц. Эксперимент повторяется, скажем, 64 раза, и средние результаты отмечаются на диаграмме зависимости между мас-

сой и радиусом. Кривая описывается степенным законом, и с точностью до нескольких процентов наиболее подходящим показателем степени оказывается равным 2,5.

В одной из «классических» работ, выполненных в 1960-х годах, изучалась сходная модель, в которой частицы движутся к зародышу извне не в ходе случайного движения, а вдоль случайно выбранной прямой линии. Если частица сталкивается с одной из своих предшественниц, она остается на месте столкновения. Этот процесс, называемый баллистическим ростом, порождает плоские структуры, которые после нескольких тысяч испытаний выглядят как слегка пористые округлые пятна с «обтрепанными» краями. Моделирование показывает, что если рост продолжается достаточно долго — скажем, до нескольких миллионов испытаний — то кружева начинают постепенно исчезать. Площадь, заполненная материалом, растет как квадрат радиуса, и края структуры вырисовываются все четче. В этом случае фрактальная размерность приближается к обычному евклидовому значению, равному 2.

Агрегация, ограниченная диффузией, — лишь одно из достижений в этой новой области статистической механики. Пример с электролизом несколько проигрывает от элегантно представленной электрической стороны эксперимента. Мы почти не видим здесь древовидной структуры медных отложений. Более фотогеничный материал дает эксперимент с медленным впрыскиванием подкрашенной синей краской воды в тонкий прозрачный слой вязкой жидкости между двумя близко расположенными друг от друга пластмассовыми пластинками. Вода «разбегается» от места впрыскивания, образуя протяженные, многократно ветвящиеся радиальные узоры.

Измеренная оптически площадь синих прожилок также растет по степенному закону, как функция радиуса сферы распространения ветвей. Таким образом, здесь возникает фрактал с показателем степени 1,7. В данном случае пространственная среда эксперимента, конечно, двумерна, в то время как опыт с электролизом проводился в трех измерениях. Модель агрегации, ограниченной диффузией, предсказывает для плоского фрактала показатель степени 1,68 опять-таки с точностью до нескольких процентов. Данная модель также изучалась главным образом посредством имитационных экспериментов, и как теоретики, так и экспериментаторы допускают статистическую ошибку. (В этой молодой обла-

сти теоретик и экспериментатор все еще являются партнерами — иногда один и тот же физик выступает в обеих ролях.)

Физика всегда богаче даже самой удивительной геометрии. Можно очень много сказать о свойствах вещества фрактальных структур как в реальном мире, так и в модели. А что, например, если структура состоит из соединенных резисторов, чему будет равно ее полное сопротивление, измеренное от одного конца до другого? Какова вероятность возникновения замкнутого пути, когда кластеры растут сразу из нескольких зародышей в большой области? Насколько прочной будет фрактальная структура по отношению к механическим нагрузкам? Каков спектр ее акустических колебаний? В своей обзорной статье редактор сборника Х. Стэнли, физик из Бостонского университета, перечисляет и обсуждает не менее 10 характеристических размерностей, связанных с физическими свойствами моделируемых фракталов. Здесь уже затрагивается наиболее сложный аспект предмета: его отношение к глубоким общим теориям фазовых изменений. Это уже в общем-то недоступно для неподготовленного читателя.

Разветвленные структуры электрического разряда, возникающего при пробое диэлектрика, также попадают в поле зрения теории. Электрическое поле обладает теми же «средними» закономерностями, которые присущи случайному движению, поэтому аналогия выглядит оправданной. Здесь, однако, приходится допускать некоторые вольности по отношению к полностью определенной модели агрегации, ограниченной диффузией; мы еще не знаем, как связать скорость роста на кончиках разряда с электрическим полем в их окрестностях. Это отношение параметризуется в согласии со степенным законом. При такой подгонке изящные ветвящиеся формы разряда (так называемые фигуры Лихтенберга) дают, как и следовало ожидать, фрактальную размерность.

Летом 1986 г. группа исследователей, возглавляемая одним из редакторов книги, добились значительного успеха, сумев воспроизвести наиболее знакомую нам самоповторяющуюся структуру — чудесную снежинку. Конечно, ее шестиугольную природу нетрудно встретить в объект, если позволить частицам диффундировать на треугольной решетке. К процессу добавляется свойство «шума» — на каждом его шаге точка роста определяется случайным образом из многих равновероятных вариантов. Это, например, равносильно введению случайных элементов в модель пробоя ди-

электрика. Количеством шума можно управлять, манипулируя вероятностями. Затем добавляется анизотропия, за счет чего некоторые направления в решетке становятся предпочтительными. Обработанные результаты показывают убедительные модельные рисунки снежинок, хотя корреляции между боковыми ветвями различных выступов, настолько очевидные во многих реальных снежинках, все еще отсутствуют. Может быть, они являются результатом некоторых дефектных источников двойникового кристалла, распространяющегося от центра снежинки.

Оперативная публикация сборника похвальна. Однако заимствовать заглавие у знаменитой работы научной классики — не очень удачная идея, даже если это делается под прикрытием даны уважения. Обращение к случайному элементу могло бы помочь редакторам найти свое собственное звучное и выразительное название. Однако то, что они пишут, — несомненно, новое в бесконечном эпическом конфликте между случайным и необходимым.

Эдвард Дж. Гюбелин, Джон И. Койвула. ФОТОАЛЬБОМ: ВКЛЮЧЕНИЯ В ДРАГОЦЕННЫЕ КАМНИ
PHOTOATLAS OF INCLUSIONS IN GEMSTONES, by Eduard J. Gübelin and John I. Koivula. ABC Edition, (\$175)

ПРЕДСТАВИМ себе, что на длинном стенде разложены сотни драгоценных камней таких гигантских размеров, какими вряд ли мог бы

похвастаться какой-нибудь принц — огненно-красные рубины, зеленые изумруды, синие топазы и сверкающие бриллианты. Мы заглядываем внутрь каждого из них через отполированное окно размером с визитную карточку и видим в чарующей глубине загадочные и разнообразные включения в кристалл.

Реальная картина отличается от нарисованной выше лишь порядком величины. Драгоценные камни, о которых идет речь, — великолепные экземпляры привычных нам размеров — приблизительно с человеческий ноготь. В книге приведены красивые, исполненные фантазией и в то же время детальные их фотографии, сделанные с помощью обычного микроскопа, дающего увеличение в несколько десятков раз. При съемках использовались разнообразные оптические методы: фазовый контраст, интерференция, миниатюрные волоконно-оптические устройства и т. п. Описание примененной аппаратуры сопровождается объяснениями общего характера, а также специальной статьей, посвященной генезису алмаза, кварца и жидких включений. Далее следуют фотографии включений самых разных минералов, начиная от амфибола и кончая цирконом. Затем показана коллекция, образцы которой сгруппированы на основе минералов, содержащих включения. И наконец, третья и последняя коллекция состоит из искусственных драгоценных камней.

Э. Гюбелин и Дж. Койвула (авторы как текста, так и снимков) — специалисты по драгоценным камням. За плечами у старшего из них (Э. Гюбе-



Ящерица, «забальзамированная» в куске янтаря 30 миллионов лет назад.

лина) — опыт 40-летней работы в этой области, первые годы которой прошли в лаборатории его отца в Люцерне. Его младший коллега — один из известнейших в США ювелиров. Цель, которую ставили перед собой авторы альбома, — установление подлинности драгоценного камня, поскольку именно включения, а не сам кристалл дают возможность отличить природный драгоценный камень от искусственного. Не исключено, что теперь, когда человек научился создавать драгоценные камни искусственным путем, он перестанет наконец считать, что «те драгоценные камни, которые не имеют изъяна, и есть самые ценные».

Авторы не только восторгаются своими образцами: книга содержит описание диагностики включений, а также призывает учиться получать эстетическое наслаждение от созерцания этой «игры природы». На трех фотографиях мы видим «антикристалл» — граненую пустоту в сапфире из Шри-Ланки. Однако это лишь кажущаяся пустота: на самом деле внутри кристалла находится крошечный подвижный пузырек. Полость заполнена жидкостью и ее испарениями. Это становится особенно заметно, когда пузырек исчезает, что происходит при нагревании камня до температуры, при которой граница между жидкой двуокисью углерода и той его частью, которая находится в газообразном состоянии, исчезает. Аналогичная диагностика может быть применена к голубому топазу из Зимбабве, в котором имеется сразу несколько «антикристаллов». Внутри драгоценных камней встречаются пустоты, заполненные жидким метаном, пустоты, заполненные смесью двуокиси углерода и воды, и пустоты, содержащие флюоресцирующие масла. Какую бы форму ни принимали эти включения, напоминают ли они иглы, водоросли, трещинки или розочки, они дают нам ключ к разгадке секрета образования кристалла (правда, мы иногда не догадываемся, как можно воспользоваться этим ключом). Подвергнуты анализу все «искрящиеся» камни: кошачий глаз, лунный камень и т. д.

Около полусотни фотографий демонстрируют органические включения в янтаре — натуральный полимер, поперечная связь между цепочками которого формировалась на протяжении 30 млн. лет. Крупнейшее из известных включений — маленькая ящерица длиной около 7 см, надежно «забальзамированная» в янтаре. Скелет ящерицы был подвергнут рентгеновскому анализу. Исследования велись палеонтологами из Музея естественной истории в Базеле. Возможно, что

скоро будет сделан также анализ ДНК нашего отдаленного родича.

В заключение читатель знакомится с великолепными искусственными опалами, изумрудами и лазуритами. Новейшие образцы искусственных изумрудов, полученных гидротермальным путем, замечательны тем, что имеют спирали, образовавшиеся

на месте бывших трещин — особенность, присущая (как считали прежде) лишь естественным изумрудам. Теперь ясно, что эта особенность связана с характером процесса образования кристаллов. Каковы причины, как говорил Ньютон, таково и следствие.

Наука и общество

Квазикристалл?

ИССЛЕДОВАТЕЛИ нескольких лабораторий как в США, так и в других странах получили достаточно большие образцы материалов с удивительными свойствами, называемых квазикристаллами. Теперь при наличии таких образцов ученые с помощью аналитических методов могут попытаться найти ответ на основной вопрос: как расположены атомы в этой вновь открытой фазе вещества?

Термин «квазикристалл» был введен для описания определенных свойств, впервые обнаруженных у сплава алюминия и марганца. Дифракционные картины некоторых об-

разцов такого сплава имеют поворотную симметрию пятого порядка. Кристаллическая структура, состоящая из периодически повторяющихся «элементарных ячеек», не может иметь симметрию пятого порядка, поэтому было выдвинуто предположение, что новый сплав имеет квазипериодическую структуру: она не является строго периодической, но атомы расположены не хаотически.

Л. Полинг утверждает, что рентгеноструктурный анализ не дает представления о фазе вещества, а просто позволяет наблюдать один из примеров кристаллографического явления, называемого двойникованием, которое в данном случае не играет существ-



КВАЗИКРИСТАЛЛ, полученный Ф. Гейлом из Reynolds Metals Company, имеет граненые дендриты (ветви). Симметрия пятого порядка в расположении граней (пять граней сходятся в одной вершине) указывает на такую же симметрию микроструктуры квазикристалла. Длинная диагональ самой большой грани, видной на этом снимке, равна примерно 100 мкм.

венной роли. Тем не менее некоторые исследователи считают, что «квазикристалл» — неподходящий термин. Они полагают, что эти материалы представляют собой новую фазу вещества, структура которой не квазипериодическая; ее лучше назвать икосаздрическим стеклом. В таком стекле некоторые атомы могут быть связаны в группы, по форме похожие на икосаздр (многогранник с 20 треугольными гранями; икосаздр имеет симметрию пятого порядка, поскольку у каждой его вершины сходятся пять граней). Икосаздры могут быть ориентированы в одном направлении, но расположены нерегулярно в объеме материала, который по всем другим свойствам является аморфным, или стеклообразным.

До сих пор ученые не имели возможности проверить подобные предположения, так как им удавалось получать образцы квазикристаллов только микрометровых размеров. Новые образцы, изготовленные из сплава алюминия, лития и меди, значительно больше. Некоторые из них, например, образец, полученный И. Роба из Университета шт. Пенсильвания, имеют форму, подобную зубочистке, с диаметром 0,1—0,2 мм и длиной более 2 мм. Другие, такие, как образец, полученный Б. Дьюбостом и его коллегами из Исследовательского центра Пешини (Франция) и Ф. Гейлом из Reynolds Metals Company, представляют собой куски материала, обрамленные красивым узором ветвящихся граней. Грани на каждой ветви расположены точно так же, как и на всех других ветвях, и эта граненая структура покрывает площадь, равную примерно 1 см², что свидетельствует о том, что каждый образец представляет в некотором смысле «монокристалл».

Исследователи приступили к изучению таких образцов дифракционными методами, которые обычно применимы только к монокристаллам. Анализ, проведенный П. Хорном из Исследовательского центра Т. Уотсона фирмы IBM, П. Хейни из Пенсильванского университета и его учеником П. Бенселом, позволяет предположить, что для описания фаз с симметрией пятого порядка модель икосаздрического стекла является более подходящей, чем квазикристаллическая модель.

В дополнение к рассмотренным вопросам имеется несколько других. Гейл указывает, что ни квазикристаллическая модель, ни модель икосаздрического стекла не включают однородных плоскостей атомов. Как же тогда происходит рост образцов, при котором образуются такие гладкие грани?

О МОЩНОСТИ СОВЕТСКИХ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ВООРУЖЕНИЙ

SOVIET STRATEGIC FORCES: REQUIREMENTS AND RESPONSES. Robert P. Berman and John C. Baker. The Brookings Institution, 1982.

THE VERIFICATION OF A COMPREHENSIVE NUCLEAR TEST BAN. Lynn R. Sykes and Jack F. Evernden in *Scientific American*, Vol. 247, No. 4, pages 47—55; October, 1982.

NUCLEAR WEAPONS DATABOOK: U.S. NUCLEAR FORCES AND CAPABILITIES. Thomas B. Cochran, William M. Arkin and Milton M. Hoenig. Ballinger Publishing Company, 1984.

ARMS CONTROL VERIFICATION: THE TECHNOLOGIES THAT MAKE IT POSSIBLE. Edited by Kosta Tsipis, David W. Hafemeister and Penny Janeway. Pergamon-Brassey's, 1986.

WORLD ARMAMENTS AND DISARMAMENT: SIPRI YEARBOOK 1986. Stockholm International Peace Research Institute. Taylor & Francis, Ltd., 1986.

Сухой В. За частоколом мифических цифр. — «Правда», 16 января, 1987.

Котов Б. Рейкьявик: восстановить истину. — «Правда», 23 января, 1987.

ПЛАНЕТА УРАН

THE NEW SOLAR SYSTEM. Edited by J. Kelly Beatty, Brian O'Leary and Andrew Chaikin. Cambridge University Press & Sky Publishing Corporation, 1982.

URANUS AND THE OUTER PLANETS: PROCEEDINGS OF THE IAU-RAS COLLOQUIUM. Edited by Garry Hunt. Cambridge University Press, 1982.

VOYAGER 2 MISSION TO URANUS. In *Science*, Vol. 233, No. 4759; July 4, 1986.

ВИРУС СИНДРОМА ПРИОБРЕТЕННОГО ИММУННОГО ДЕФИЦИТА

ISOLATION OF A T-LYMPHOTROPIC RETROVIRUS FROM A PATIENT AT RISK FOR ACQUIRED IMMUNE DEFICIENCY SYNDROME (AIDS). F. Barré-Sinoussi, J. C. Chermann, F. Rey, M. T. Nugeyre, S. Charet, J. Gruet, C. Dauguet, C. Axler-Blin, F. Vézinet-Brun, C. Rouzioux, W. Rozenbaum and L. Montagnier in *Science*, Vol. 220, No. 4599, pages 868—871; May 20, 1983.

DETECTION, ISOLATION, AND CONTINUOUS PRODUCTION OF CYTOPATHIC RETROVIRUSES (HTLV-III) FROM PATIENTS WITH AIDS AND PRE-AIDS. Mikulas Popovic, M. G. Sarngadharan, Elizabeth Read and Robert C. Gallo in *Science*, Vol. 224, No. 4648, pages 497—500; May 5, 1984.

THE EPIDEMIOLOGY OF AIDS: CURRENT STATUS AND FUTURE PROSPECTS. James W. Curran, W. Meade Morgan, Ann M. Hardy, Harold W. Jaffe and William R. Dowdle in *Science*, Vol. 229, No. 4720, pages 1352—1357; September 27, 1985.

HUMAN T-LYMPHOTROPIC RETROVIRUSES. Flossie Wong-Staal and Robert C. Gallo in *Nature*, Vol. 317, No. 6036, pages 395—403; October 3, 1985.

NEW HUMAN T-LYMPHOTROPIC RETROVIRUS RELATED TO SIMIAN T-LYMPHOTROPIC VIRUS TYPE III (STLV-III_{AGM}). Phyllis J. Kanki, Francis Barin, Souleyman M'Boup, Jonathan S. Allan, Jean Loup Romet-Lemonne, Richard Marlink, Mary Frances McLane, Tun-Hou Lee, Brigitte Arabelle, François Denis and M. Essex in *Science*, Vol. 232, No. 4747, pages 238—243, April 11, 1986.

A SECOND POST-TRANSCRIPTIONAL TRANS-ACTIVATOR GENE REQUIRED FOR HTLV-III REPLICATION. Joseph Sodroski, Wei Chun Goh, Craig Rosen, Andrew Dayton, Ernest Terwilliger and William Haseltine in *Nature*, Vol. 321, No. 6068, pages 412—417; May 22, 1986.

Немов А. ТАК ЧТО ЖЕ ТАКОЕ СПИД? «Советская Россия», 11 февраля, 1987.

„Манн Дж. СПИД: ГЛОБАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ. «Здоровье мира», № 11, с. 12, 1986.

НАУЧЕНИЕ НА ОСНОВЕ ИНСТИНКТА

ETHOLOGY: THE MECHANISMS AND EVOLUTION OF BEHAVIOR. James L. Gould. W. W. Norton & Co., 1982.

THE BIOLOGY OF LEARNING. Edited by Peter Marler and Herb S. Terrace. Springer-Verlag, 1984.

ЭНЕРГИЯ, ИЗВЛЕКАЕМАЯ ИЗ ОКЕАНА

POWER FROM THE TROPICAL SEAS. Georges Claude in *Mechanical Engineering*, Vol. 52, No. 12, pages 1039—1044; December, 1930.

THE MANAGEMENT OF PACIFIC MARINE RESOURCES: PRESENT PROBLEMS AND FUTURE TRENDS. John P. Craven. Westview Press, 1982.

(начало см. на с. 3)

в Сиракьюсском университете (шт. Нью-Йорк). После присуждения докторской степени работал в Медицинском центре Иллинойского университета в качестве научного сотрудника, а также доцента микробиологии и иммунологии. В 1981 г. Остро начал свою деятельность в Liposome Company, но при этом сохраняет связь с академическим миром: он доцент в Университете медицины и стоматологии в Пискатавэй (шт. Нью-Джерси).

Michael L. Ryder (МАЙКЛ Л. РАЙДЕР «Эволюция руна») — начал интересоваться вопросами овцеводства в 1951 г., когда работал в исследовательской ассоциации шерстяной промышленности в Лидсе (Великобритания). С тех пор совершил поездки в более чем 40 стран и написал 200 статей, посвященных историческим, археологическим и биологическим вопросам, связанным с разведением домашнего скота. Получил степень бакалавра в Лидском университете в 1951 г., затем 9 лет занимался исследованием фолликул шерстного покрова овец. В 1954 г. получил в том же университете степень бакалавра, а в 1956 г. — степень доктора философии. Два года работал в Университете Новой Англии (Австралия), после чего в 1962 г. перешел в Эдинбургский университет, где был старшим научным сотрудником в исследовательском отделе разведения домашних животных, входящем в состав Совета по исследованиям в области сельского хозяйства. В 1984 г. стал сотрудником исследовательской организации контурного земледелия. После ухода на пенсию Л. Райдер планирует создать международный исследовательский институт и музей овцеводства и шерстяной промышленности.

ENERGY FROM THE OCEAN. R. Cohen in *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Series A, Vol. 307, No. 1499, pages 405—437; October 20, 1982.

POTENTIAL ENVIRONMENTAL IMPACTS OF OPEN-CYCLE THERMAL ENERGY CONVERSION. M. S. Quinby-Hunt, P. Wilde and A. T. Dengler in *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 6, pages 77—93; 1986.

Вершинский Н. В. ЭНЕРГИЯ ОКЕАНА. — М.: Наука, 1986.

ФРАКТАЛЬНЫЙ РОСТ

DIFFUSION-LIMITED AGGREGATION, A KINETIC CRITICAL PHENOMENON. T. A. Witten, Jr., and L. M. Sander in *Physical Review Letters*, Vol. 47, No. 19, pages 1400—1403; November 9, 1981.

THE FRACTAL GEOMETRY OF NATURE. Benoit B. Mandelbrot. W. H. Freeman and Company, 1982.

DIFFUSION-LIMITED AGGREGATION. T. A. Witten and L. M. Sander in *Physical Review B*, Vol. 27, No. 9, pages 5686—5697; May 1, 1983.

TENUOUS STRUCTURES FROM DISORDERLY GROWTH PROCESSES. T. A. Witten and M. E. Cates in *Science*, Vol. 232, No. 4758, pages 1607—1612; June 27, 1986.

ЛИПОСОМЫ

LIPOSOMES AND IMMUNOBIOLOGY. Edited by Baldwin H. Tom and Howard R. Six. Elsevier-North Holland, 1980.

LIPOSOMES. Edited by Marc J. Ostro. Marcel Dekker, Inc., 1983.

LIPOSOME TECHNOLOGY. Edited by Gregory Gregoriadis. CRC Press, 1984.

ЭВОЛЮЦИЯ РУНА

SHEEP AND MAN. Michael L. Ryder. Duckworth, 1983.

A RE-ASSESSMENT OF THE BRONZE AGE WOOL. M. L. Ryder in *Journal of Archaeological Science*, Vol. 10, No. 4, pages 327—331; July, 1983.

SHEEP REPRESENTATIONS, WRITTEN RECORDS AND WOOL MEASUREMENTS. M. L. Ryder in *Animals and Archaeology, 3: Early Herders and Their Flocks (B. A. R. International Series 202)*, edited by Juliet Clutton-Brock and Caroline Grigson. B. A. R. [British Archaeological Reports], 1984.

НАУКА ВОКРУГ НАС

THE NATURE OF LIGHT & COLOR IN THE OPEN AIR. M. Minnaert. Dover

Publications, Inc., 1954.

REFLECTIONS ON CLOSED LOOPS. David K. Lynch in *Nature*, Vol. 316, No. 6025, pages 216—217; July 18, 1985.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 20.02.87.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/8.

Гарнитуры таймс, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 6,75 бум. л.

Усл.-печ. л. 13,50.

Уч.-изд. л. 16,74.

Усл. кр.-отт. 46,86.

Изд. № 25/5512. Заказ 75.

Тираж 24100 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

Набрано в редакции по подготовке оригинал-макетов издательства «Мир» на фотонаборном комплексе «Компьютиграфик»

Типография В/О «Внешторгиздат»
Государственного комитета СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
127576, Москва, Илимская, 7



Издательство МИР предлагает:

Д. Мак-Фарленд

ПОВЕДЕНИЕ
ЖИВОТНЫХ

Перевод с английского



Книга английского автора — современное, увлекательно написанное руководство по поведению животных. Отличие данной книги от других подобных изданий — в сбалансированном освещении различных аспектов поведения: зоологического, физиологического и психологического.

Содержание: Эволюция поведения (генетика; естественный отбор; эволюция и социальное поведение). Механизмы поведения (физиология и экология органов чувств; координация и ориентирование; поддержание гомеостаза; физиология и пове-

дение в изменчивых условиях среды; научение). Сложные формы поведения (инстинкт; механизмы принятия решений; проявления рассудочной деятельности).

Положительное качество этой книги — ее универсальность. Это и учебник для студентов-биологов, это и научное пособие для специалистов, начинающих заниматься поведением животных.

Предназначена для этологов, психологов, физиологов, зоологов, студентов-биологов, для всех, кто интересуется проблемами высшей нервной деятельности.

1988, 45 л. Цена 3 р. 45 к.



В следующем номере:



ГОЛОД В США

МИКРОТРУБОЧКА — ВНУТРИКЛЕТОЧНЫЙ МОТОР

САМЫЕ СТАРЫЕ ПУЛЬСАРЫ

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ РЕКОМБИНАЦИЯ

БАЛЛИСТИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОНЫ
В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

КИТЫ И МОРЖИ — ПАХАРИ
МОРСКОГО ДНА

ВЛИЯНИЕ ЗАМУЖЕСТВА И МАТЕРИНСТВА
НА ТВОРЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ЖЕНЩИН-УЧЕНЫХ

КОМПЬЮТЕР В РОЛИ МУЗЫКАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

СЕКРЕТЫ МИКРОВОЛНОВОЙ ПЕЧИ

ТРЕХМЕРНЫЕ ВЕРСИИ
КОМПЬЮТЕРНОЙ ИГРЫ «ЖИЗНЬ»