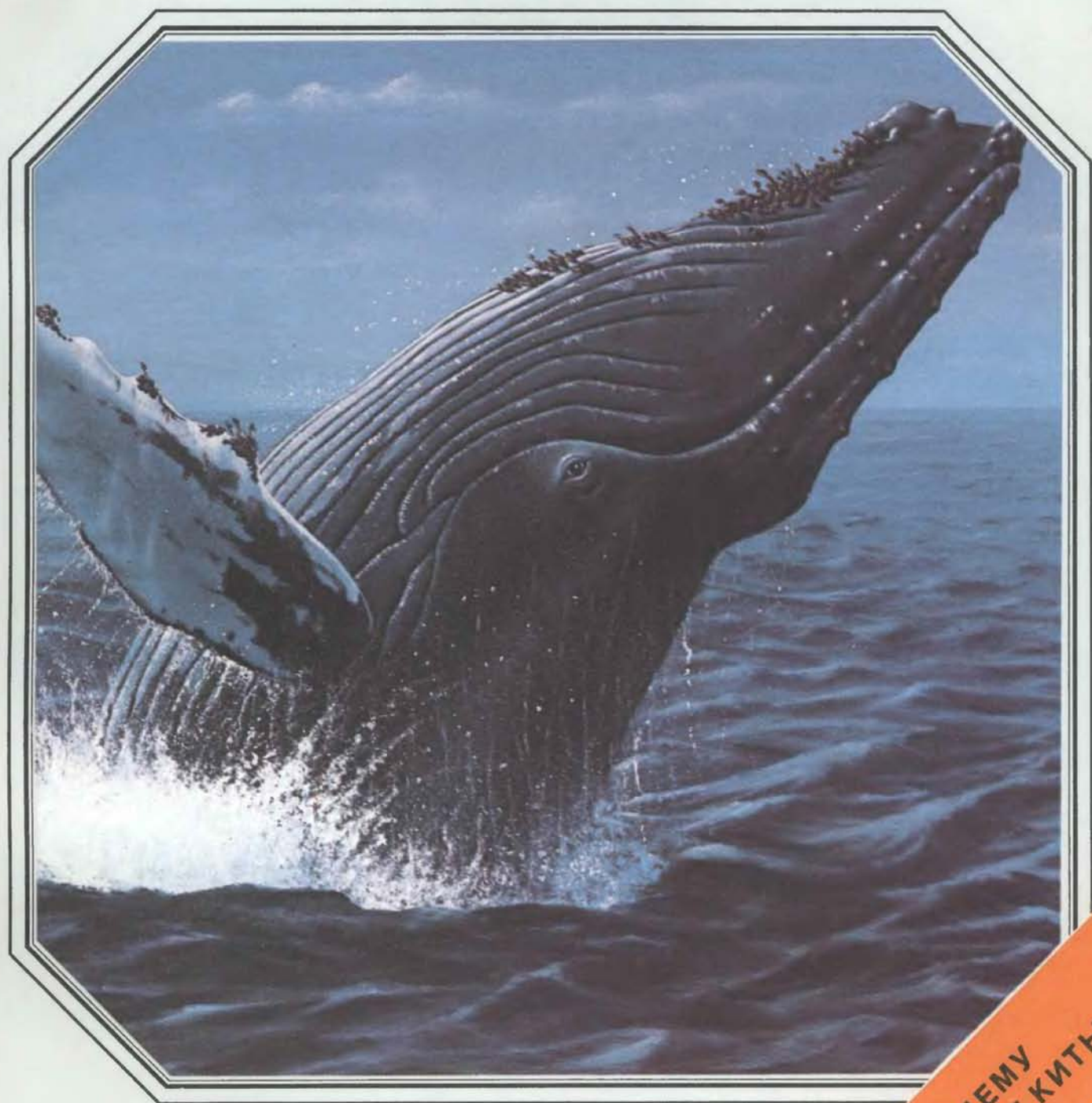


В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Май **5** 1985

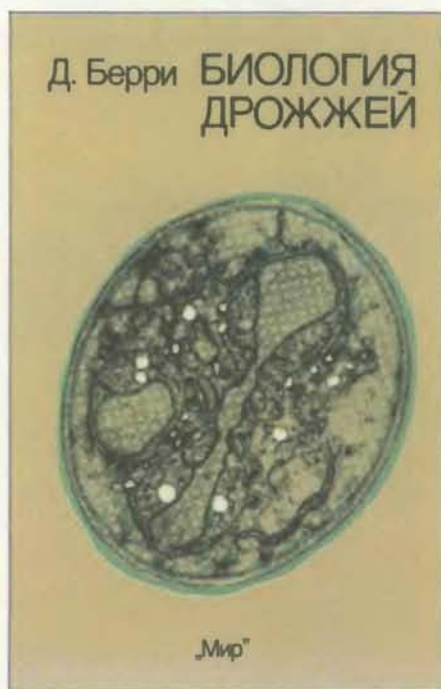
ПОЧЕМУ
ПРЫГАЮТ КИТЫ

Издательство МИР предлагает:

И. Берри

БИОЛОГИЯ ДРОЖЖЕЙ

Перевод с английского



В краткой монографии английского ученого приведены основные сведения о дрожжевых организмах.

Содержание: Исторический очерк использования дрожжей в человеческой практике. Классификация дрожжей. Строение дрожжевой клетки. Питание и обмен веществ у дрожжей. Структура хромосом, биосинтез белка и регуляция синтеза белка у дрожжей. Клеточный рост и деление у дрожжевых организмов.

Половая репродукция дрожжей. Генетика и генетические методы в исследовании дрожжей. Использование дрожжей в промышленном производстве (получение этилового спирта, пекарских дрожжей, кормовых и пищевых препаратов, пивоварение).

Для микробиологов, специалистов микробиологической промышленности, для студентов и аспирантов биологического и биотехнологического профиля.

1985, 5 л. Цена 60 к.



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

№ 5 · МАЙ 1985

В номере:

СТАТЬИ 4 Вулканы и облака Венеры *Рональд Дж. Принн*

О существовании действующих вулканов на Венере свидетельствуют радарные карты поверхности этой планеты и химический анализ ее атмосферы и коры. Серусодержащие вулканические газы, вероятно, формируют глобальный облачный покров из капель серной кислоты (Scientific American, March 1985, Vol. 252, No. 3)

18 Транслокации хромосом и рак у человека *Карло М. Кроче, Джордж Клейн*

Хромосомы в клетках иммунной системы иногда обмениваются сегментами ДНК. Этот процесс может активировать гены, вызывающие рак, если в результате рядом с ними оказываются последовательности ДНК, которые усиливают их активность (Scientific American, March 1985, Vol. 252, No. 3)

26 Скрытые измерения пространства-времени *Даниэл З. Фридман,*

Питер ван Ньювенхойзен

Пространство-время, которое обычно считают четырехмерным, может иметь семь дополнительных измерений. Такие одиннадцатимерные конструкции, которые изучаются в настоящее время, могли бы послужить основой для единого описания четырех фундаментальных сил природы (Scientific American, March 1985, Vol. 252, No. 3)

36 Почему прыгают киты *Хэл Уайтхэд*

Наблюдающийся у китов поведенческий акт, который называют выпрыгиванием, кажется нам целенаправленным. По-видимому, он имеет отношение к социальным аспектам жизни китов и, возможно, служит им средством общения (Scientific American, March 1985, Vol. 252, No. 3)

42 Неолитическое укрепление и могильник *Р. Дж. Мерсер*

Раскопки на Хэмблдонском холме в юго-западной части Англии показали, что около 3600 г. до н.э. там совершались сложные погребальные обряды. После того как могильник пришел в упадок, на его месте было построено большое укрепление (Scientific American, March 1985, Vol. 252, No. 3)

50 Ионная имплантация *Томас Пикро, Пол Пирси*

Внедрение примесных ионов в поверхность материала придает ей новые свойства. Метод имплантации приобретает все большее значение как в промышленности, так и в науке (Scientific American, March 1985, Vol. 252, No. 3)

59 Химические основы биологического действия чеснока и лука *Эрик Блок*

Почему лук вызывает слезы? Почему чеснок так едко пахнет? Эти их свойства обусловлены несколькими своеобразными серусодержащими соединениями, с которыми связано также и лечебное действие чеснока и лука (Scientific American, March 1985, Vol. 252, No. 3)

РУБРИКИ 3 Об авторах

16 50 и 100 лет назад

13, 17, 25, 35 Наука и общество

66 Наука вокруг нас

70 Занимательный компьютер

76 Книги

83 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan B. Piel
PRESIDENT AND EDITOR
BOARD OF EDITORS

Philip Morrison
BOOK EDITOR

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

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR
Richard Sasso
PRODUCTION MANAGER

George S. Conn
GENERAL MANAGER

Gerard Piel
CHAIRMAN

Dennis Flanagan
EDITOR EMERITUS

© 1985 by Scientific American, Inc.

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

В МИРЕ НАУКИ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
С. П. Капица

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
Л. В. Шепелева

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

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

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. А. Стулов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
И. В. Лунёва

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОНАБОРА
Г. С. Азимов

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
Т. К. Такташова

КОРРЕКТОР
Р. Л. Вибке

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

ТИТУЛЬНАЯ НАДПИСЬ,
ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ
В. В. Ефимов

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

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

На обложке



ПОЧЕМУ ПРЫГАЮТ КИТЫ

Перед вами выпрыгивающий из воды горбатый кит *Megaptera novaeangliae*. Выпрыгивание, или бричинг, рассматривается в настоящее время как специфический поведенческий акт, имеющий определенный смысл. Оно связано с социальными взаимодействиями особей и, по-видимому, служит им средством общения (см. статью Х. Уайтхеда «Почему прыгают киты» на с. 36). Кит, изображенный на обложке, совершает прыжок с поворотом — наиболее часто наблюдаемый вид выпрыгивания. В этом прыжке животное появляется из воды на боку, с помощью грудных плавников закручивается в воздухе и падает на спину. Иногда киты делают прямой прыжок: оставаясь все время спиной вверх, животное выныривает и приводняется на брюхо. У китов в складках кожи на брюшной поверхности тела поселяются разнообразные паразитические организмы, в том числе морские желуди (на которых в свою очередь живут другие паразиты — морские уточники) и китовые вши. Нередко кит носит на себе по полтонны таких «пассажиров».

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Peter Ott

| СТР. | АВТОР/ИСТОЧНИК | СТР. | АВТОР/ИСТОЧНИК | СТР. | АВТОР/ИСТОЧНИК |
|------|---|-------|---|-------|--------------------------------------|
| 4 | Larry W. Esposito, University of Colorado at Boulder | | Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry | | National Laboratories (справа) |
| 6 | Eric M. Eliason, U.S. Geological Survey (вверху); Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology (внизу) | 19 | Janet Finan and William Fore | 60-61 | Gabor Kiss Jerome Kuhl |
| 7 | Donald B. Campbell, Arecibo Observatory | 20-21 | Ilil Arbel | 66 | C. W. Schwartz, Animals, Animals |
| 8 | Peter G. Ford and Gordon H. Pettengill, Massachusetts Institute of Technology (вверху); Ilil Arbel (внизу) | 22 | Janet Finan and William Fore | 67-69 | Michael Goodman |
| 9-10 | Ilil Arbel | 23-24 | Ilil Arbel | | |
| 11 | V. L. Barsukov, V. I. Vernadsky | 27-32 | Ian Worpole | | |
| | | 37 | Lewis Trusty, Animals, Animals | | |
| | | 38-41 | Patricia J. Wynne | | |
| | | 43 | West Air Photography | | |
| | | 44 | Andrew Tomko | | |
| | | 45-48 | Alan D. Iselin | | |
| | | 51 | J. Narayan, Oak Ridge National Laboratory | | |
| | | 52-55 | Gabor Kiss | | |
| | | 56 | Gabor Kiss (слева), Sandia | | |

Об авторах

Ronald G.ripp (РОНАЛЬД ДЖ. ПРИНН «Вулканы и облака Венеры») — профессор Отделения по изучению Земли, атмосферы и планет в Массачусетском технологическом институте (МТИ). Степени бакалавра наук в области чистой и прикладной математики и химии, а также магистра наук в области химии получил в Оклендском университете (Новая Зеландия); степень доктора наук в области химии — в МТИ. Принн работает в МТИ с 1971 г. В 1981 г. был приглашенным профессором Отделения геологии и изучения планет Калифорнийского технологического института. С 1981 г. является членом Американского геофизического союза.

Carlo M. Croce, George Klein (КАРЛО М. КРОЧЕ, ДЖОРДЖ КЛЕЙН «Транслокации хромосом и рак у человека»). Кроче родился в Милане. В 1969 г. в Римском университете получил степень доктора медицины; в это время он работал в Риме у Дж. Андреса в Институте клинической медицины. Кроче также профессор генетики человека в Медицинской школе Пенсильванского университета, профессор Вистаровского института анатомии и биологии в Филадельфии и помощник директора Вистаровского института. Клейн родился в Будапеште. Степень доктора медицины получил в 1951 г. в Королевском институте в Стокгольме, где он, будучи профессором онкологии, в настоящее время возглавляет отдел онкологии. Клейн — член Королевской академии наук Швеции, а также многих других известных научных обществ в разных странах, издатель журналов "Advances in Cancer Research" и "Advances in Viral Oncology".

Daniel Z. Freedman, Peter van Nieuwenhuizen (ДАНИЭЛ З. ФРИДМАН, ПИТЕР ВАН НЬЮВЕНХОЙЗЕН «Скрытые измерения пространства-времени») — известные физики-теоретики. Д. Фридман — профессор прикладной математики в Массачусетском технологическом институте. Свою дипломную работу выполнил в Университете Уэсли в Миддлтауне (шт. Коннектикут). Степень доктора наук в области физики Фридман получил в 1964 г. в Висконсинском университете в Мадисоне. В 1968 г. он стал работать в Университете шт. Нью-Йорк в Стони-Брук, а в 1980 г. перешел в МТИ. П. ван Ньювенхойзен — профессор Института теоретической физики в Стони-Брук. Докторские степени в области математики и физики получил в Университете в Утрех-

те (Голландия) в 1969 г. С 1975 г. работает в Стони-Брук. Там П. ван Ньювенхойзен и Дж. Фридман совместно с Серджио Феррарой занимались исследованиями, которые привели в 1976 г. к построению теории супергравитации. С тех пор они активно участвуют в изучении супергравитации и связанных с ней проблем.

Hal Whitehead (ХЭЛ УАЙТХЭД «Почему прыгают киты») — ассистент в Нью-Фаундлендском институте северных морей. Родился в Англии, в семье моряка. Окончил Кембриджский университет со степенью бакалавра по математике. Китами заинтересовался, увидев их впервые во время путешествия на лодке вдоль побережья Новой Шотландии из Коннектикута к острову Нью-Фаундленд. Некоторое время работал в составе исследовательской группы под руководством Р. Пэйна в Нью-Йоркском зоологическом обществе. Затем вернулся в Кембридж; там он был награжден дипломом за работу, называвшуюся «Статистический анализ развития игрового поведения у котят». В 1981 г., также в Кембридже, получил степень доктора философии в области зоологии за исследования поведения и экологии горбатого кита. В Нью-Фаундлендском институте северных морей работает с 1981 г.

R. J. Mercer (Р. ДЖ. МЕРСЕР «Неолитическое укрепление и могильник») — доцент и исполняющий обязанности заведующего кафедрой археологии Эдинбургского университета. Получил степень магистра по археологии в Эдинбургском университете в 1967 г. Мерсер работает на факультете с 1974 г. До этого он пять лет служил инспектором британского Управления по охране окружающей среды, где его основными обязанностями были охрана и учет памятников древности в южной и юго-западной Англии. Последние 10 лет Мерсер осуществляет разработанную им программу учета памятников доисторической эпохи, средневековья и нового времени на территории Шотландии и юго-западной Англии.

S. Thomas Picraux, Paul S. Percy (ТОМАС ПИКРО, ПОЛ ПИРСИ «Ионная имплантация») — сотрудники национальной лаборатории в Сандии (шт. Нью-Мексико). Пикро — методист отделения, занимающегося исследованиями взаимодействия ионов твердых веществ. Пирси — управляющий отдела по изучению ионной имплантации и физических явлений, свя-

занных с радиацией. Пикро получил степень бакалавра в области электротехники (Университет шт. Миссури, 1965 г.) и степень доктора философии в области физики и технических наук (Калифорнийский технологический институт) после того, как в Кембриджском университете он в течение года изучал физику в качестве стипендиата фонда Фулбрайта. В 1967—1968 гг. занимался научной работой в Чок-Риверской лаборатории ядерных исследований, а в 1969 г. перешел в Национальную лабораторию в Сандии. Пикро — член Американского физического общества. Пирси получил докторскую степень в Висконсинском университете в Мадисоне (1966 г.) и затем поступил на работу в фирму Bell Laboratories в Мюррей-Хилл (шт. Нью-Йорк). В Национальной лаборатории в Сандии Пирси работает с 1968 г. Пирси — председатель одной из секций Научного общества по исследованию материалов.

Eric Block (ЭРИК БЛОК «Химические основы биологического действия чеснока и лука») — профессор химии в Университете шт. Нью-Йорк в Олбани. Окончил Куинз-Колледж Нью-Йоркского городского университета в 1962 г. со степенью бакалавра; в 1967 г. в Гарвардском университете получил степень доктора философии по химии. С 1967 по 1981 г. работал в Миссурийском университете, после чего перешел в Университет шт. Нью-Йорк. В настоящее время ведет исследования на средства Гугенхаймовского фонда, а также является консультантом французской нефтяной компании Société Nationale Elf-Aquitaine. Область научных интересов — химия органических соединений серы.

Вулканы и облака Венеры

О существовании действующих вулканов на Венере свидетельствуют полученные радарные карты поверхности этой планеты и химический анализ ее атмосферы и коры. Серусодержащие вулканические газы, вероятно, формируют глобальный облачный покров из капель серной кислоты

РОНАЛЬД ДЖ. ПРИНН

АКТИВНОСТЬ геологических процессов на Земле можно рассматривать как одно из наиболее загадочных свойств нашей планеты. Потоки тепла из ее недр обуславливают процессы постоянного обновления земной поверхности. Одним из показателей геологической активности служит вулканизм, т.е. поступление на поверхность газов и расплавленных горных пород сквозь трещины в земной коре. Единственным телом Солнечной системы, на котором обнаружены вулканические извержения, является Ио — спутник Юпитера. А Венера? Эта ближайшая соседка Земли в Солнечной системе во многом напоминает Землю: обе планеты имеют примерно одинаковые размеры и массу и сформировались в одной и той же зоне конденсации Солнечной туманности. Поэтому можно предположить, что Земля и Венера прошли примерно одинаковый путь эволюции. Тогда закономерен вопрос: существуют ли действующие вулканы на Венере?

В течение длительного времени существовали лишь различные теоретические предположения, поскольку сплошной мощный облачный покров, окутывающий Венеру, сводил на нет попытки наблюдать ее поверхность. За последние годы ситуация изменилась. Несмотря на то что облака не пропускают видимое излучение, они прозрачны по отношению к радиоволнам и волнам микроволнового диапазона. Это позволило осуществить картирование поверхности планеты с помощью радара, установленного на борту американского спутника «Пионер-Венера», который был выведен на орбиту вокруг Венеры в 1978 г. Кроме того, имеются новейшие радиояркие изображения поверхности, полученные с более высоким разрешением с двух советских искусственных спутников Венеры, а также с помощью наземных радиотелескопов. На всех этих картах зафиксированы структуры, напоминающие вулканы.

Сам факт наличия сплошного облачного покрова можно рассматривать в качестве убедительного, хотя и косвенного доказательства существования активной вулканической деятельности. Слой облаков расположен в высотном интервале 50—70 км от поверхности планеты и состоит из капель концентрированной серной кислоты и вещества, поглощающего в ультрафиолетовой области спектра, по-видимому, элементарной серы. В последние годы был запущен ряд зондов и спускаемых аппаратов, которые смогли «выжить» в течение срока, достаточного для проведения измерений химического состава атмосферы и пород поверхности Венеры в условиях высокой температуры (460 °С на поверхности), а также коррозионного воздействия компонентов атмосферы. Это позволило исследовать взаимодействие атмосферы с корой и попытаться объяснить сложные циклические процессы, при которых происходят фотохимические и термохимические реакции превращения серусодержащих газов в облачные частицы. Полученные данные показывают, что единственным механизмом, ведущим к постоянному поступлению серусодержащих газов в атмосферу, может быть вулканическая деятельность. Действительно, приборы, установленные на спутнике «Пионер-Венера», зарегистрировали резкое изменение концентрации газообразного диоксида серы (SO₂) в надоблачной тропосфере. Это позволяет предположить, что в течение последнего десятилетия на Венере происходили мощные вулканические извержения.

НЕОПРОВЕРЖИМЫЕ свидетельства существования действующих или потухших вулканов на Венере получены при радиолокационных исследованиях. Начиная с 60-х годов радиотелескопы Обсерваторий Аресибо (о. Пуэрто-Рико) и Голдстоун (шт. Калифорния) нацелены на Венеру. С помощью радиотелескопов удалось получить первые достоверные изме-

рения ее радиуса — 6052 км (радиус Земли — 6378 км) и периода вращения — 243 суток, а также первые изображения крупных структурных единиц поверхности, например обширного континента Земля Иштар, расположенного в северном полушарии. В 1977 г. Р. Соундерс и М. Малин из Лаборатории реактивного движения предположили, что гора Тейи в области Бета представляет собой крупный шитовой вулкан. Это асимметричная вулканическая структура, сформированная в результате последовательных спокойных извержений горячих лав, потоки которых имеют значительную протяженность. Гора Тейи достигает 700 км в поперечнике (что намного превосходит размеры шитовых вулканов на Гавайях), но уступает размерам горы Олимп на Марсе — подлинного гиганта среди гор этого типа.

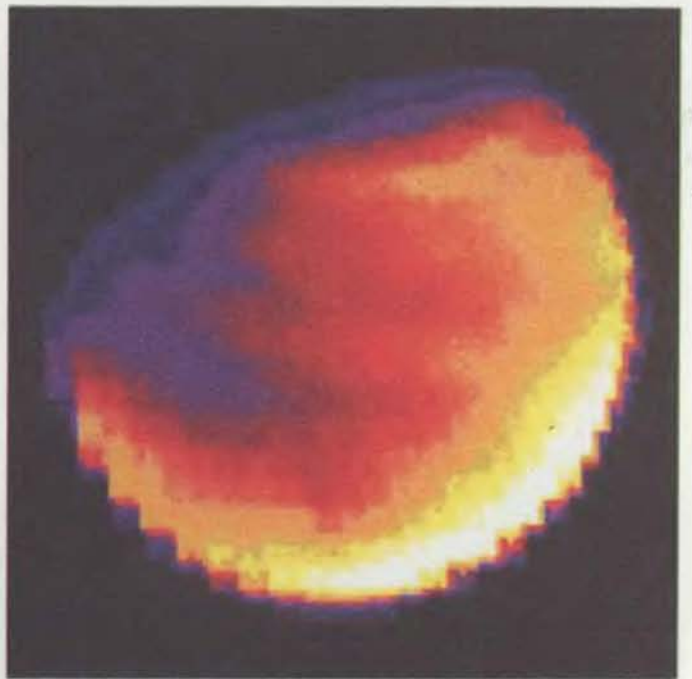
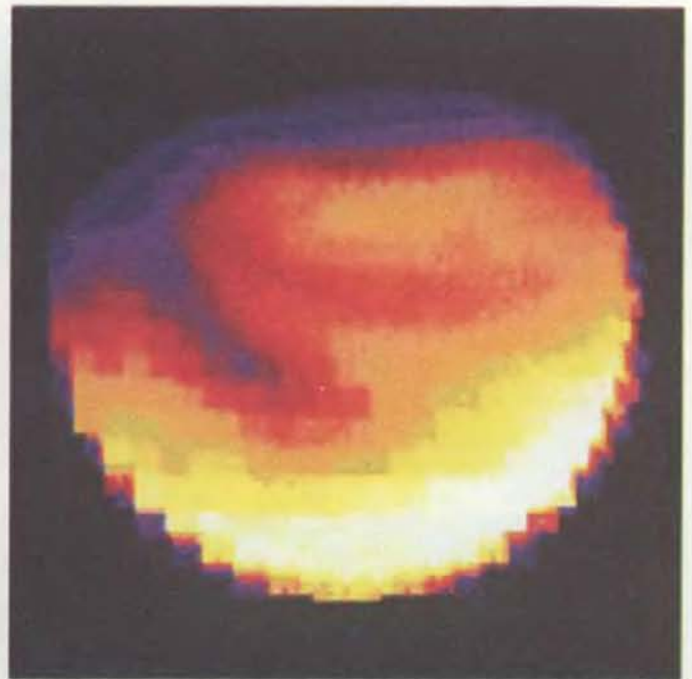
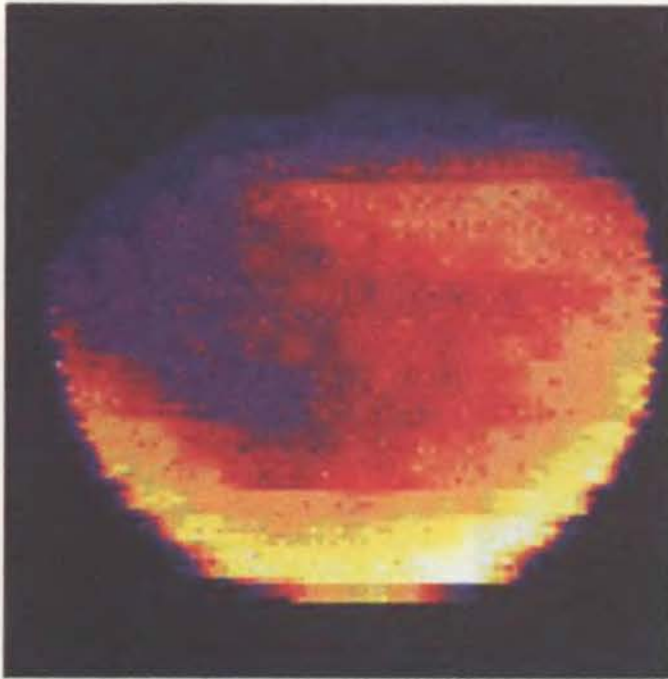
После вывода на околопланетную орбиту спутника «Пионер-Венера» в декабре 1978 г. возникла возможность получить радарные изображения высокого пространственного разрешения и построить топографическую карту Венеры. На основании этих данных Г. Мазурский из Геологической службы США, Г. Петтенджилл из Массачусетского технологического института и их коллеги в 1980 г. опубликовали статью, в которой вся область Бета, включая гору Тейи и гору Реи (каждая из которых достигает высоты 4,5 км), рассматривается как грандиозная вулканическая структура, сформированная путем медленного накопления и воздымания лавового материала. Позднее Г. Мак-Джилл с сотрудниками из Амхерстского университета (шт. Массачусетс) выдвинул другую гипотезу: вулканы представляют собой сравнительно небольшие лавовые постройки, венчающие удлинённую куполовидную структуру приподнятого блока коры Венеры.

Согласно этой гипотезе, существует скорее региональная, чем локальная система каналов подъема магмы,

находящаяся под областью Бета. Такое толкование подтверждается наблюдениями за изменениями орбиты спутника «Пионер-Венера», из которых следует, что гравитация над областью Бета превышает ее среднее

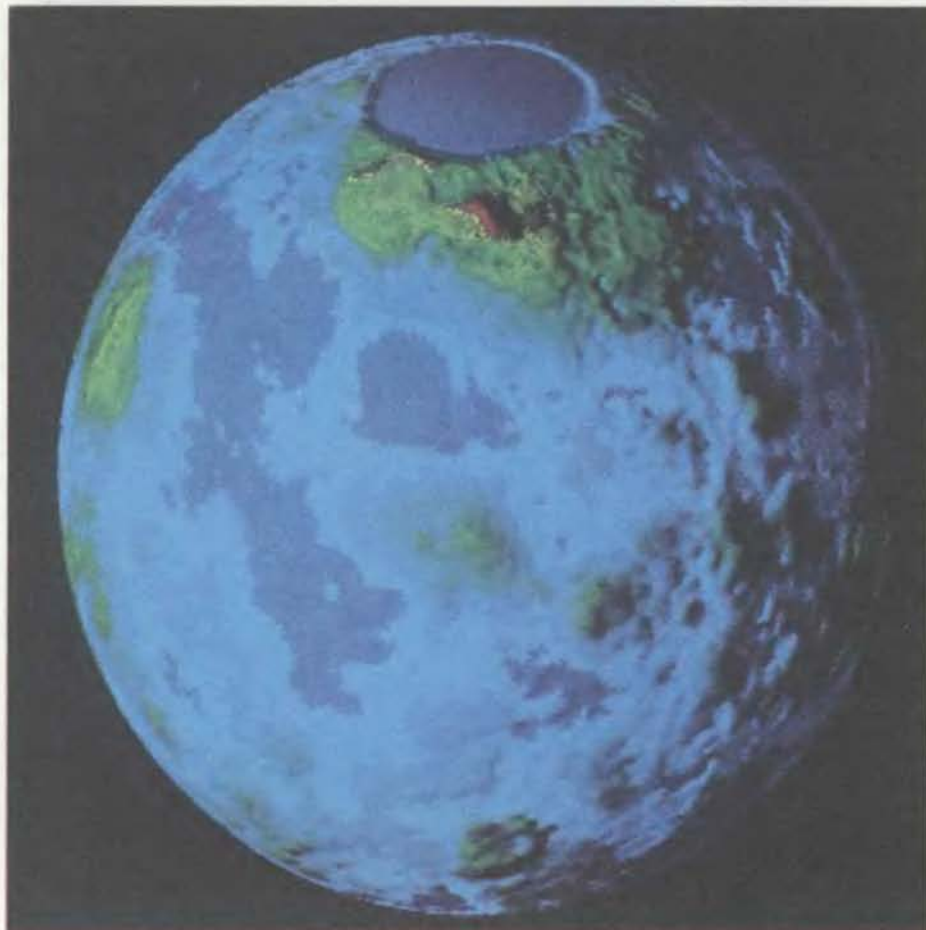
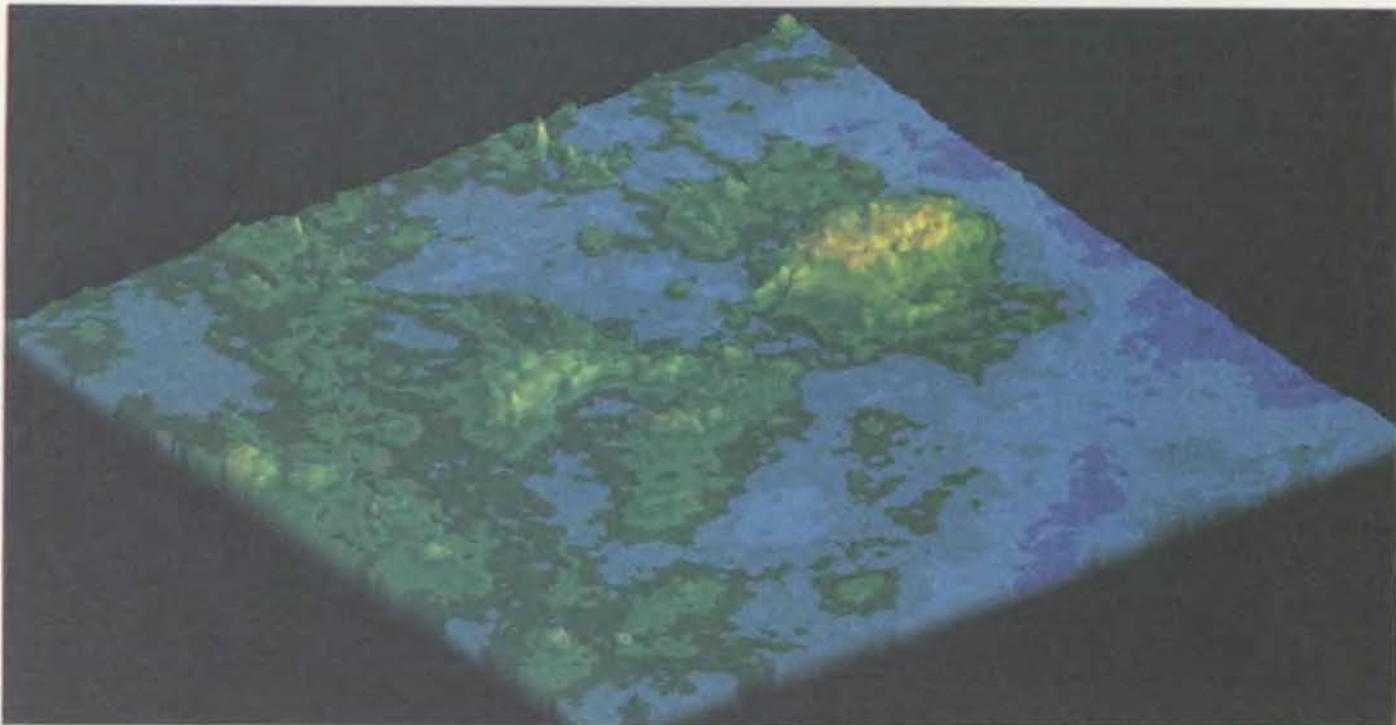
планетарное значение. Энергия подъема магматических расплавов может быть настолько велика, что вызовет горизонтальные сдвиги коры. В 1983 г. Д. Кэмпбелл и его сотрудники в Обсерватории Аресибо получили

радарное изображение области Бета с разрешением, превосходящим в 10 раз разрешение радара на борту спутника «Пионер-Венера», благодаря чему удалось выявить крупный линейный рифт. Этот рифт окаймлен вул-



КОНЦЕНТРАЦИЯ ДИОКСИДА СЕРЫ показана в виде темно-синих участков на изображениях атмосферы на уровне верхней границы облаков, полученных при обработке УФ-спектрометрических измерений с американского спутника «Пионер-Венера». Показаны результаты измерения излучения с длиной волны 207 нм, которое отражается облаками, но сильно поглощается газообразным диоксидом серы (SO_2). Данные получены в течение пяти суток в августе 1984 г., что соответствует одному обороту атмосферы относительно космического аппарата. Скорость вращения атмосферы намного превышает скорость вращения планеты вокруг своей оси. На первом (вверху слева) и последнем (внизу справа) изображениях показана одна и

та же часть атмосферы. Интерпретация аналогичных измерений позволила Л. Эспозито из Колорадского университета в Боулдере прийти к выводу об уменьшении концентрации SO_2 в надоблачной атмосфере более чем на 90% со времени вывода спутника «Пионер-Венера» на орбиту вокруг Венеры в конце 1978 г., когда было отмечено аномально высокое содержание SO_2 . Такое явление позволило высказать предположение о том, что до вывода спутника «Пионер-Венера» на околопланетную орбиту в верхнюю атмосферу было выброшено большое количество SO_2 в результате мощного вулканического извержения. Затем диоксид серы постепенно расходовался на образование облачных частиц из серной кислоты.



каническими структурами, пересекающими фундамент всей области. Большинство специалистов считают, что в области Бета развивалась вулканическая активность какого-либо типа. Участки изображения с высокой радиояркостью указывают на сравнительно молодой геологический возраст, поскольку, чем выше радиояркость, тем сильнее шероховатость поверхности. Поверхность с высокой

шероховатостью обычно сложена геологически молодыми и неизменными горными породами.

Область Бета — не единственный район поверхности Венеры, где зафиксированы вулканоподобные структуры. Так, изолированные вершины и горы, обнаруженные к западу от области Бета в области Атлы в приэкваториальном районе, по мнению Дж. Хэда из Броуновского уни-

ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ КАРТА ВЕНЕРЫ построена по данным радарного высотомера, установленного на борту американского спутника «Пионер-Венера». На каждом витке высотомер производит измерения расстояния до поверхности планеты; значение радиуса планеты в каждой точке измерений получают путем вычитания расстояния до центра масс, которое узнают по точным измерениям околопланетной орбиты спутника. Желтым и красным цветом показаны возвышенности, а темно-синим — низменности. Поверхность Венеры носит преимущественно равнинный характер. В то время как на Земле 35% поверхности составляют континенты, а 65% занято океанским дном, на Венере есть лишь две континентоподобные структуры, составляющие менее 5% поверхности. Один из таких «континентов», Земля Иштар, виден на глобальной карте (слева) вблизи северного полюса. (Околополюсная область не обследована, поскольку орбита спутника «Пионер-Венера» миновала районы обоих полюсов). Красное пятно в пределах Земли Иштар — горы Максвелла, наиболее высокогорная область Венеры, вершина которых поднимается на 11 км. Горы Максвелла могут иметь вулканическое происхождение. Область Бета — предполагаемый район современного вулканизма — показана зеленовато-желтым цветом и расположена к юго-западу от Земли Иштар (на карте слева). На увеличенном панорамном изображении (вверху) область Бета — обширная возвышенность с системой вершин, самые высокие из которых — гора Тейи и гора Реи — превышают 4,5 км. К югу от области Бета (на карте слева) расположена область Фебы, которая также имеет вулканоподобные структуры. Увеличенное изображение сделано в Геологической службе США, глобальная радарная карта — в Лаборатории реактивного движения.

верситета и других ученых, можно интерпретировать как отдельные вулканы. Советские межпланетные автоматические станции «Венера-15» и «Венера-16», выведенные на околопланетную орбиту в октябре 1983 г., передали радиоизображения до сих пор не известных огромных круговых структур. В поперечнике они достигают нескольких сотен километров, имеют сравнительно малые превышения и расположены на Земле Иштар, а также в других районах. По мнению А. Т. Базилевского, В. Л. Барсукова и их коллег из Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР, эти круговые структуры можно считать грандиозными вулканическими куполами, после проседания которых на их периферии остались крупные складки коры. (Если объяснять их происхождение с точки зрения, отвергающей вулканизм, то остается только предположить, что это древние разрушенные метеоритные кратеры.)

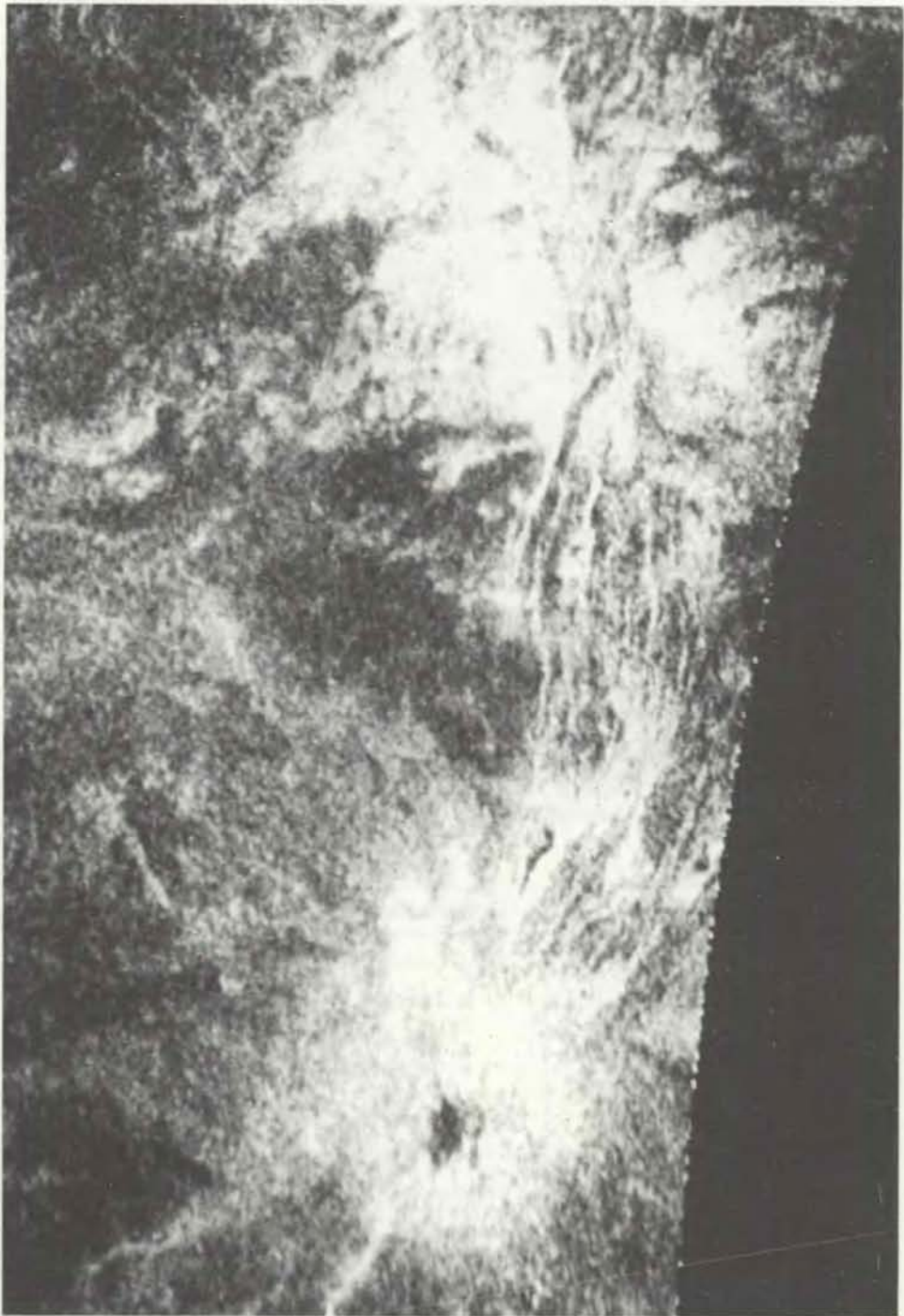
С помощью радаров на борту станций «Венера-15» и «Венера-16» получают изображения с горизонтальным разрешением 1—2 км, в то время как спутник «Пионер-Венера» давал снимки с максимальным разрешением всего лишь до 30 км. Однако с помощью советских спутников будет закартировано лишь около 1/3 поверхности планеты, исключая большую часть области Бета. Следующий крупный шаг в изучении поверхности Венеры будет сделан после запуска космического аппарата «Venus Radar Mapper», который НАСА намечает осуществить в 1988 г.; в результате радарной съемкой с разрешением 0,2 км будет охвачена вся поверхность планеты.

Обнаружены ли на Венере действующие вулканы? На этот вопрос нельзя ответить только на основании изучения радарных изображений. Поскольку непосредственно наблюдать пока вулканические извержения невозможно, для ответа на этот вопрос необходимо знать химический состав венерианской коры и атмосферы.

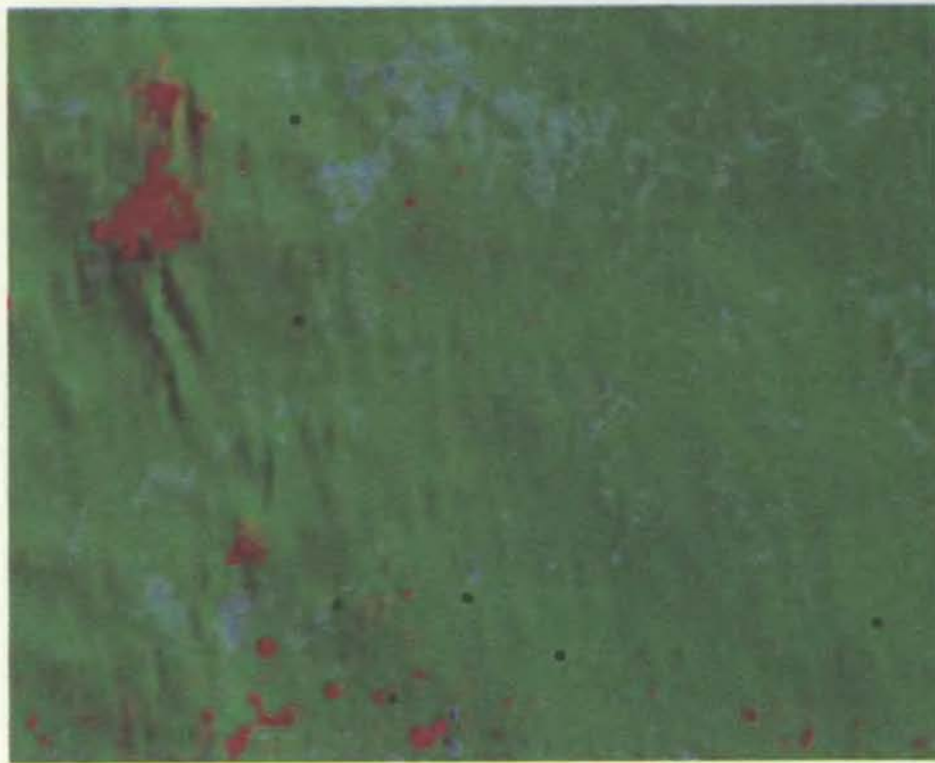
Первая интересная информация о химии венерианской коры поступила в 1975 г. после посадки советских спускаемых аппаратов «Венера-8», «Венера-9» и «Венера-10». Эти аппараты, оснащенные детекторами гамма-излучения, измерили содержание радиоактивных элементов — калия, урана и тория — в породах Венеры. Несмотря на значительные вариации их концентраций в различных местах посадки радиоактивные элементы, по-видимому, присутствуют в венерианских породах примерно в том же количестве, что и в земных континентальных породах. Поскольку радиоактивный распад служит главным

источником тепла, поступающего из недр планеты, по данным, полученным с помощью спускаемых аппаратов серии «Венера», можно сделать вывод, что количество тепла, генерируемое в недрах Венеры, примерно совпадает с оценкой теплового потока из недр Земли.

Тепловая энергия радиоактивного распада каким-то способом должна выделяться из недр планеты. Наиболее эффективный путь — одна из форм вулканизма, при котором должен происходить конвективный вынос нагретого материала из недр на поверхность. На Земле свыше полови-



РАДАРНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ ОБЛАСТИ БЕТА показывает, что горы Тейи и Реи могут рассматриваться как щитовые вулканы, обрамляющие линейный рифт венерианской коры. Радарное изображение получено в Обсерватории Аресибо с помощью 300-метрового радиотелескопа на волне 12,6 см; показаны вариации шероховатости планеты: районы с наибольшей радиояркостью (светлые) соответствуют сравнительно расчлененной поверхности, сложенной неизменным материалом; районы с низкой радиояркостью (темные) отвечают относительно гладкой поверхности. Гора Тейи — круговая структура в нижней части рисунка; ее высокая радиояркость может быть связана с молодыми лавовыми потоками. Линейные структуры, ориентированные к северу, по направлению к горе Реи, вероятно, относятся к рифтовым образованиям, в частности, они образуют каньон, обнаруженный при составлении топографической карты. Предполагают, что региональный подъем магм вызвал воздымание участка коры в области Бета с образованием рифта и вулканов. Горизонтальное разрешение радарного изображения достигает примерно 2 км.



РАДИООТРАЖЕНИЕ венерианской поверхности для длины волны 17 см обнаруживает значительные колебания, что указывает на неоднородность состава поверхностных материалов. Карта охватывает регион от 40° с.ш. до 20° ю.ш. и от 270 до 340° в.д. Красным цветом показаны области с наиболее высоким, а синим — с наиболее низким радиоотражением. Красное пятно слева вверху — центральная часть области Бета; гора Тейи относится к числу районов с наиболее высоким радиоотражением грунта. Возможное объяснение такой закономерности заключается в том, что вулканические породы этого района содержат много включений пирита — серусодержащего минерала с высокой электропроводностью. К сожалению, ни один из спускаемых аппаратов серии «Венера» не совершал посадку в районе с высоким радиоотражением (черные точки). Карта составлена П. Фордом и Г. Петтенджиллом из Массачусетского технологического института.

| ЭЛЕМЕНТ | «ВЕНЕРА-13» | «ВЕНЕРА-14» |
|--|-------------|-------------|
| МАГНИЙ (MgO) | 11,4 ± 6,2 | 8,1 ± 3,3 |
| АЛЮМИНИЙ (Al ₂ O ₃) | 15,8 ± 3,0 | 17,9 ± 2,6 |
| КРЕМНИЙ (SiO ₂) | 45,1 ± 3,0 | 48,7 ± 3,6 |
| КАЛИЙ (K ₂ O) | 4,0 ± 0,6 | 0,2 ± 0,1 |
| КАЛЬЦИЙ (CaO) | 7,1 ± 1,0 | 10,3 ± 1,2 |
| ТИТАН (TiO ₂) | 1,6 ± 0,5 | 1,3 ± 0,4 |
| МАРГАНЕЦ (MnO) | 0,2 ± 0,1 | 0,2 ± 0,1 |
| ЖЕЛЕЗО (FeO) | 9,3 ± 2,2 | 8,8 ± 1,8 |
| СЕРА (SO ₂) | 1,6 ± 1,0 | 0,9 ± 0,8 |
| ДРУГИЕ ЭЛЕМЕНТЫ | 3,9 | 3,6 |

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОРОД ПОВЕРХНОСТИ Венеры был определен в местах посадки советских спускаемых аппаратов «Венера-13» и «Венера-14» рентгенофлуоресцентным методом. При расчетах принималось, что каждый элемент присутствует в форме оксида; результаты приведены в весовых процентах. Содержания всех элементов, кроме серы, близки к некоторым вулканическим базальтам Земли. Концентрация серы в венерианских породах выше, чем в земных аналогах. Содержание серы намного ниже, чем содержание кальция, что указывает на преимущественное вхождение кальция не в сульфаты, а в силикаты в виде оксида или в карбонаты. Оксид кальция должен поглощать диоксид серы из атмосферы; когда содержание SO₂ в атмосфере становится выше равновесной концентрации, происходит его самопроизвольное взаимодействие с оксидом кальция.

ны потеря тепла приходится на области срединно-океанических хребтов, где происходит расхождение литосферных плит, составляющих жесткий верхний ярус Земли, и поступление новых порций лав из жидкой астеносферы с последующим формированием новой коры. К другой форме вулканизма относится вулканизм островных дуг, связанный с океанскими желобами, где происходит столкновение двух плит, одна из которых частично погружается в астеносферу (такой процесс называют субдукцией). Однако, как показали радарные карты Венеры, на этой планете нет признаков глобальной системы хребтов и желобов, на что указывают Р. Арвидсон из Вашингтонского университета и другие исследователи. По мнению Д. Андерсона из Калифорнийского технологического института, литосфера Венеры по мощности уступает земной — она более горячая и менее плотная, поэтому блоки литосферы имеют слишком высокую плавучесть и не могут подвергаться субдукции в расплавленные недра планеты.

При отсутствии очевидных свидетельств проявления плитотектонических процессов У. Каула и М. Мурадян из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе пришли к выводу о возможном существовании двух механизмов потери тепла: извержения изолированных вулканов в «горячих точках», не связанных с границами литосферных плит (как на Гавайских островах), и остывания горных пород в районах распространения коры сравнительно небольшой мощности, называемых «куполовидными» поднятиями. Структура области Бета характеризуется наличием отдельных гор, куполов и рифтов, поэтому оба механизма могли определять тепловой поток в этом регионе. Из общих соображений кажется весьма маловероятным, чтобы такой медленный процесс, как обычное остывание, мог быть единственной формой потери тепла. Необходимость существования того или иного адекватного механизма потери тепла, по-видимому, является достаточно сильным, но не однозначным аргументом в пользу активного вулканизма на Венере.

Вулканизм представляет собой механизм дегазации вещества недр планеты. Земные вулканы выделяют в атмосферу углекислый газ (CO₂), водяной пар, серусодержащие газы, а также продукты радиоактивного распада — изотопы инертных газов аргона-40 (⁴⁰Ar) и гелия-4 (⁴He). Эти газы обнаружены в атмосфере Венеры с помощью зондов «Пионер-Венера» и спускаемых аппаратов «Венера-11», «Венера-12», «Венера-13», «Венера-14».

Вулканическая дегазация недр пла-

неты на раннем этапе ее эволюции считается главным источником как земной, так и венерианской атмосферы. Однако эти атмосферы существенно различаются: если венерианская состоит на 96% из углекислого газа, то земная — на 78% из азота. Частично различия можно объяснить существованием на Земле океанов, в которых происходит сток CO_2 с последующим его захоронением в виде карбонатов в земной коре. Если на Венере когда-либо и существовали океаны, то они должны были испариться, а высвободившийся водород — диссипировать в космическое пространство.

При сравнении атмосфер Земли и Венеры следует иметь в виду, что карбонаты земной коры должны учитываться при подсчетах общих запасов CO_2 , в то же время надо принять во внимание, что масса венерианской атмосферы в 90 раз больше земной. По-видимому, общее содержание CO_2 и азота на Венере примерно на 30% меньше, чем на Земле. Концентрация ^{40}Ar в атмосфере Венеры составляет около 1/3 земной, а источник аргона — радиоактивный калий-40 (^{40}K) — в породах Венеры содержится приблизительно в том же количестве, что и на Земле. Отсюда следует, что интенсивность дегазации на обеих планетах была по крайней мере сопоставимой. Однако присутствие в атмосфере Венеры CO_2 , азота и ^{40}Ar не может считаться доказательством дегазации в современную эпоху: эти газы относительно устойчивы и могут сохраняться в атмосфере в течение геологического времени. Для поиска более надежных аргументов в пользу современного вулканизма следует обратить внимание на облака и серусодержащие газы, из которых они формируются.

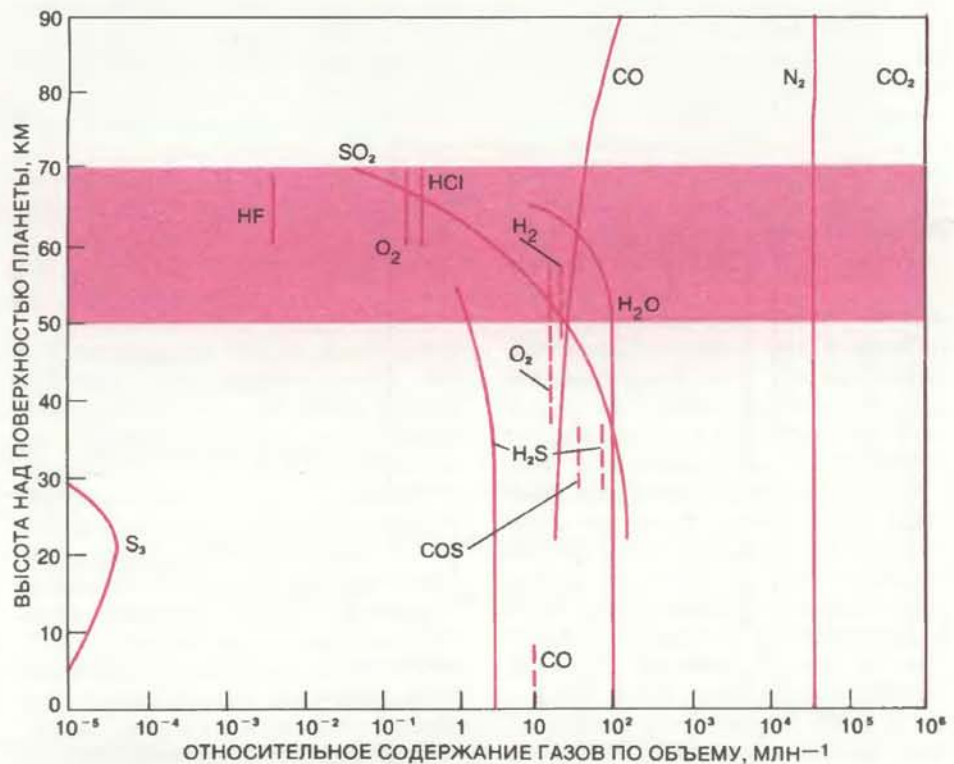
ДАЖЕ на Венере сера относится к микрокомпонентам атмосферы: серусодержащие газы — «родоначальники» облаков — составляют 0,02%, а сами облачные частицы — всего 0,00002%, тем не менее облака оказывают значительное влияние на венерианский климат. Облачный слой отражает почти 4/5 приходящей солнечной радиации, особенно в красной и желтой частях спектра. В результате этого Венера поглощает гораздо меньше солнечной энергии, чем Земля, несмотря на то, что находится ближе к Солнцу. Что касается той части солнечной радиации, которая не рассеивается атмосферой, то 2/3 ее поглощается облачным слоем в ультрафиолетовой и ближней инфракрасной областях спектра и лишь 1/3 достигает нижней атмосферы и поверхности планеты. (Если бы облака отсутствовали, то поверхность Вене-

ры была бы еще более горячей.) На Земле возникла противоположная ситуация: 2/3 солнечного излучения поглощается поверхностью.

Имеются косвенные, но вполне убедительные свидетельства того, что преобладающим компонентом облаков на Венере являются капли концентрированной серной кислоты (75% по массе). Спектры отражения облачных частиц в видимой и инфракрасной областях близки к соответствующим спектрам серной кислоты. Исследование поляризации отраженного солнечного излучения в облачном слое указывает на сферическую форму облачных частиц и их жидкое состояние; они имеют высокий показатель преломления, равный 1,44. Эти данные исключают большинство возможных «кандидатов» в состав облачного конденсата. В частности, водяные капли имеют показатель преломления 1,33 и испаряются при тем-

пературе, свойственной нижнему ярусу облаков. Помимо этого, концентрация газообразного диоксида серы SO_2 и водяного пара в облаках резко уменьшается с высотой, что указывает на химическую реакцию между этими веществами с образованием серной кислоты (H_2SO_4).

Серная кислота — известный компонент земной атмосферы. В разбавленном виде она находится в «кислых дождях», а в концентрированной форме (как на Венере) входит в состав маломощного слоя облаков в стратосфере. Серная кислота образуется из диоксида серы (SO_2), а также из сероводорода (H_2S), диметилсульфида ($(\text{CH}_3)_2\text{S}$) и карбонилсульфида (COS). Главным источником диоксида серы служат процессы сжигания природного топлива, а три восстановленные формы серусодержащих соединений — в основном побочные продукты метаболизма различных серных



ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ атмосферы Венеры анализировался как с помощью наземных телескопов, так и приборов, установленных на многих космических аппаратах, причем новейшая информация получена советскими межпланетными автоматическими станциями «Венера-13» и «Венера-14» (пунктирные линии). Относительное содержание по объему некоторых важнейших компонентов показано в вертикальном профиле атмосферы в логарифмическом масштабе. Так, например, концентрация углекислого газа (CO_2), составляющего 96% атмосферы, более чем в 10 раз превышает концентрацию азота (N_2) и примерно в 10 000 раз — концентрацию диоксида серы (SO_2), которая составляет около 150 млн⁻¹. Концы линий обозначают отсутствие соответствующих измерений выше того или иного высотного уровня, а не отсутствие самих компонентов атмосферы. Последние анализы атмосферы на спускаемых аппаратах серии «Венера» обнаружили более высокие концентрации сероводорода (H_2S) и карбонилсульфида (COS), чем все предыдущие. Для содержания водорода (H_2) и кислорода (O_2) показаны верхние пределы, поскольку достоверные анализы концентрации этих газов отсутствуют. Концентрации диоксида серы и водяного пара одновременно уменьшаются с высотой в пределах облачного слоя, что указывает на их взаимодействие с образованием облачных частиц из серной кислоты. В венерианской атмосфере обнаружены также хлористый водород (HCl) и фтористый водород (HF).

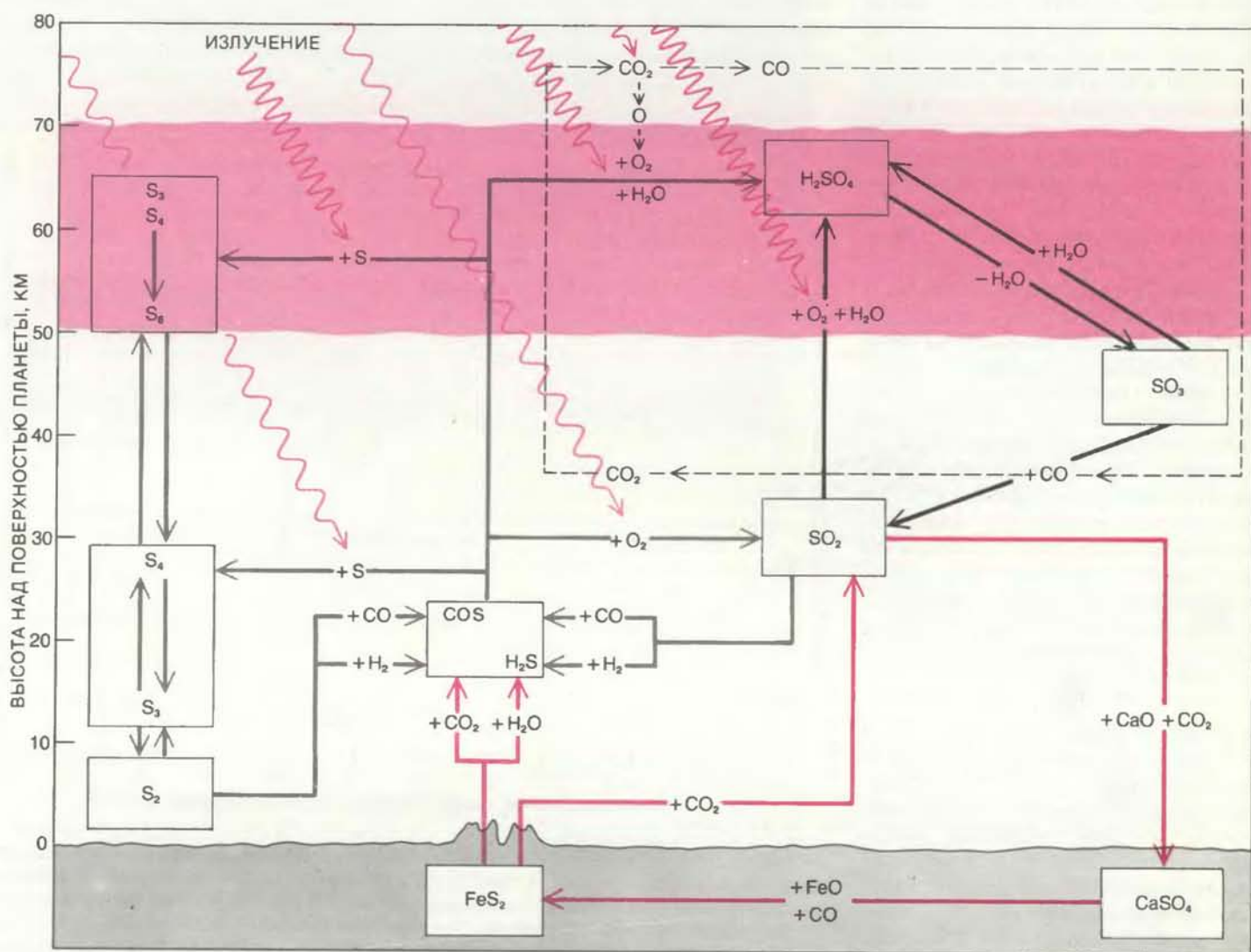
бактерий. Однако диоксид серы и две восстановленные формы серосодержащих газов (H_2S и COS) обычно наблюдаются в составе вулканических эманацій Земли совместно с хлористым и фтористым водородом.

Все перечисленные вулканические газы обнаружены в атмосфере Венеры и относятся к высокорекреационно-способным веществам, а поскольку признаки жизни на Венере отсутствуют, можно полагать, что присутствие серосодержащих газов свидетельствует о современной вулканической деятельности. Однако в конце 60-х годов Дж. Льюис из Университета шт. Аризона предложил гипотезу,

согласно которой химически активные газы «вырабатываются» породами поверхности вследствие их сильного нагревания. Затем они поступают в атмосферу с той же скоростью, с какой поглощаются из атмосферы минералами горных пород, поэтому не существует стока веществ из атмосферы или поступления их в атмосферу из коры. Иными словами, атмосферные серосодержащие газы, а также хлористый и фтористый водород находятся в состоянии химического равновесия с минералами горных пород венерианской коры.

Согласно модели Дж. Льюиса, концентрация молекулярного кислорода

в атмосфере определяется обратимой химической реакцией. В этом процессе оксид железа в виде минерала (FeO) и сульфат кальция в виде минерала ангидрита ($CaSO_4$) реагируют с углекислым газом с образованием кальцита ($CaCO_3$), сульфида железа (пирит, FeS_2) и кислорода. Вычисленное значение мольной доли (относительного содержания газа по объему) для кислорода крайне мало, что определяет степень окисления серосодержащих газов. Расчеты показали, что доминирующей формой серосодержащих газов должен быть карбонилсульфид, концентрация которого может достигать 600 млн^{-1} . Другая восстановленная



ЦИКЛ СЕРЫ, ответственный за образование облачного покрова Венеры, состоит из трех составных частей. Геологический цикл (цветные линии) начинается с термохимических реакций взаимодействия пирита (FeS_2) вулканических пород с газами атмосферы на поверхности лавовых потоков или в более глубоких слоях коры. В результате образуются диоксид серы (SO_2) и восстановленные формы серосодержащих газов: сероводород (H_2S) и карбонилсульфид (COS). При протекании медленного (линии серого цвета) и быстро (линии черного цвета) атмосферных циклов происходит фотохимическое окисление серосодержащих газов с образованием облачных конденсатов: серной кислоты (H_2SO_4) и различных форм элементарной серы (S). Фо-

тохимические реакции инициируются ультрафиолетовым излучением в облачном слое и излучением в ближней ультрафиолетовой области в подоблачной атмосфере. Кислород поступает при фотодиссоциации CO_2 . В нижней атмосфере испарение облачных конденсатов и последующее термохимическое восстановление газообразных продуктов при взаимодействии с CO_2 и H_2 приводят к регенерации газообразных «родоначальников» облачного слоя. Итогом фотохимических реакций является превращение восстановленных форм серы в SO_2 , который вступает в реакцию с оксидом кальция (CaO) на поверхности планеты с образованием сульфата кальция ($CaSO_4$). Так происходит сток серы в коре планеты.



ВЕНЕРИАНСКАЯ РАВНИНА на телепанораме, переданной в марте 1982 г. с советского спускаемого аппарата «Венера-14». Атмосфера Венеры обладает сильно выраженными коррозионными свойствами, температура на поверхности составляет 460°C , а давление в 100 раз выше,

чем на Земле. Тем не менее информация со спускаемых аппаратов «Венера-13» и «Венера-14» поступала в течение нескольких часов, в том числе была получена серия панорамных изображений поверхности планеты.

форма — сероводород может находиться в количестве около 130 млн^{-1} , в то время как содержание диоксида серы составляет лишь около 16 млн^{-1} .

С тех пор как Дж. Льюис предложил свою модель, поступило много новой информации^{*)}, после интерпретации которой стало ясно, что выполненные в модели расчеты противоречат реальности, по крайней мере по отношению к серосодержащим газам. Согласно инструментальным измерениям, молярная доля SO_2 составляет около 150 млн^{-1} , что в 10 раз превышает его равновесную концентрацию. Самые последние анализы, выполненные в 1982 г. с помощью газовых хроматографов на борту спускаемых аппаратов «Венера-13» и «Венера-14», показали, что суммарное содержание H_2S и COS составляет около 150 млн^{-1} , т.е. намного ниже их равновесной концентрации (730 млн^{-1}). Ранее было обнаружено более низкое содержание H_2S и COS (с помощью аппаратов «Венера-11», «Венера-12», «Пионер-Венера»), что указывает на еще более высокую относительную концентрацию SO_2 .

В рамках равновесной модели невозможно объяснить высокое содержание SO_2 в атмосфере Венеры. В настоящее время установлено, что кон-

центрация серосодержащих газов в атмосфере Венеры не может определяться обратимыми химическими реакциями между газами атмосферы и минералами поверхности, протекающими с одинаковой скоростью в обоих направлениях. Скорее всего, сера поступает в атмосферу в форме продуктов реакций одних типов, а миллионы лет спустя вновь связывается в минералах коры при протекании совершенно других реакций. При этом молекулы серы претерпевают последовательные превращения, входят в состав облачных частиц из серной кислоты и лишь после этого поглощаются веществом коры.

ЦИКЛ серы на Венере представляет собой сбалансированный итог конкуренции двух химических процессов противоположного типа — фотохимического и термохимического. Фотохимические реакции приводят к окислению серы и образованию облаков из аэрозоля серной кислоты. Источником кислорода являются процессы фотолитического разложения CO_2 с образованием монооксида углерода (CO) и кислорода под влиянием ультрафиолетового излучения в облачном слое и надоблачной атмосфере. Вблизи поверхности планеты протекают термохимические реакции, стимулируемые высокими температурой и плотностью газа, в результате чего происходит восстановление окисленных форм серы. В ходе этих реакций осуществляется регенерация газовых компонентов, из которых формируются облачные конденсаты.

Цикл серы можно подразделить на три части: «быстрый» и «медленный» атмосферные циклы и геологический цикл. Быстрый цикл начинается с окисления диоксида серы до серной кислоты под воздействием ультрафиолетового излучения и протекает в средней и верхней атмосфере (выше нижней границы облачного слоя,

расположенной на высоте 50 км). Катализатором реакций окисления служат соединения хлора и водорода, образующиеся при фотодиссоциации хлористого водорода. Сток серной кислоты осуществляется в горячей нижней атмосфере (ниже облаков), где ее капли испаряются. В качестве продукта разложения серной кислоты появляется триоксид серы, который вступает в термохимическую реакцию с монооксидом углерода. Эта реакция приводит к регенерации углекислого газа и диоксида серы. При протекании быстрого цикла молекула серы совершает круговорот примерно в течение года.

Ход медленного цикла серы определяется образованием серной кислоты и элементарной серы при фотохимическом окислении карбонилсульфида и сероводорода в надоблачной атмосфере и облачном слое. В нижней атмосфере обе восстановленные формы серосодержащих газов могут окисляться с образованием серы, и возможно, диоксида серы (под воздействием пропускаемого облаками излучения в ближней ультрафиолетовой области). Важным элементом медленного цикла следует считать продуцирование элементарной серы, которая ответственна за поглощение ультрафиолетового излучения в пределах облачного слоя. В горячей нижней атмосфере H_2SO_4 , SO_2 и элементарная сера восстанавливаются до H_2S и COS при взаимодействии с молекулярным водородом и монооксидом углерода. Для завершения медленного цикла, вероятно, требуется период времени около десяти лет, поскольку до того, как становится возможной регенерация восстановленных форм серы, последняя попадает как бы в ловушку: при протекании быстрого цикла в течение нескольких лет сера находится в окисленном состоянии.

Общее содержание соединений серы в атмосфере (следовательно, и

* В работах советских ученых из Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР (В. Л. Барсукова, В. П. Волкова, И. Л. Холаковского и других), начиная с 1978 г. выполнялось теоретическое моделирование минерального состава венерианского грунта. В частности, расчет на основе данных эксперимента по определению химического состава пород в местах посадки спускаемых аппаратов, «Венера-13» и «Венера-14» показал, что в породах преимущественно происходит связывание серы в форме пирита и ангидрита и что карбонаты и гидратированные минералы отсутствуют. — *Прим. перев.*

мощность облаков из аэрозоля серной кислоты) определяется взаимодействием атмосферы и коры в геологическом цикле. Для объяснения этого процесса в настоящее время вполне достаточно данных. Наиболее ценная информация поступила с советских спускаемых аппаратов «Венера-13» и «Венера-14», на борту которых были установлены рентгеновские спектрометры. На основании полученных данных Ю. А. Сурков и его коллеги из Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР недавно впервые определили элементный состав пород венерианской коры (при таком методе анализа получают характеристический флуоресцентный спектр элемента при воздействии на образец рентгеновского излучения). Породы поверхности Венеры содержат серу в сравнительно высокой концентрации, однако содержание остальных элементов близко к найденным в некоторых земных базальтах вулканического происхождения.

Геологический цикл серы начинается с продуцирования серосодержащих газов, в частности карбонилсульфида и сероводорода, при протекании термохимических реакций минерала пирита с CO_2 , H_2O и CO . Находясь в атмосфере, газы многократно участвуют в процессах, определяющих быстрый и медленный атмосферные циклы. Оба цикла связаны между собой фотохимическими реакциями, что в результате приводит к окислению восстановленных соединений с образованием диоксида серы, поэтому SO_2 накапливается в атмосфере в количестве, превышающем его равновесное содержание. Происходит сток диоксида серы в кору, где он накапливается в форме сульфата кальция — продукта взаимодействия SO_2 с CO_2 и CaO . В дальнейшем, через сотни или даже миллионы лет, сульфат кальция поступает в глубокие зоны коры, где реагирует с FeO с образованием пирита. На этом геологический цикл замыкается.

По данным Ю. А. Суркова и его сотрудников, породы Венеры содержат довольно много кальция и значительно меньше серы. Это свидетельствует о том, что кальций в породах в основном входит в состав силикатов (в виде CaO) и карбонатов, а не сульфатов. В породах поверхности всегда находится CaO , и, как только содержание SO_2 в атмосфере превысит его равновесную концентрацию, начинается самопроизвольная реакция связывания кальция в коре в виде CaSO_4 . Следовательно, сток диоксида серы из атмосферы в кору осуществляется постоянно путем его поглощения оксидом

кальция. Присутствие SO_2 в атмосфере в количестве, в 10 раз превышающем его равновесную концентрацию, можно объяснить только сравнительно недавним (в геологическом масштабе времени) поступлением в атмосферу серосодержащих газов.

ГИПОТЕТИЧЕСКИЙ источник серы — это пирит, распространенный вторичный минерал земных вулканических пород. На поверхности обогащенных пиритом лавовых потоков Венеры могут осуществляться реакции продуцирования серосодержащих газов. Они могут протекать и на глубине, причем в этом случае выделение газов в атмосферу может быть связано с извержениями вулканов. Именно вулканизм, по-видимому, обеспечивает постоянный приток серосодержащих газов в атмосферу.

Недавно Г. Петтенджилл и П. Форд из Массачусетского технологического института нашли косвенное подтверждение широкой распространенности пирита в пределах области Бета, вулканические структуры которой уже были выявлены на радарных картах. Согласно данным измерений радиоотражения поверхности Венеры с американского спутника «Пионер-Венера», для длины волны 17 см эта величина изменяется от 3 до 40%. К одному из районов в области Бета с наиболее высоким радиоотражением относится гора Тейи. Г. Петтенджилл и П. Форд считают, что состав пород поверхности здесь резко отличается от окружающих низменностей, характеризующихся низким радиоотражением. Высокое радиоотражение указывает на высокую электропроводность, причем известно очень мало типов пород с такой высокой электропроводностью, которая может соответствовать материалу поверхности на горе Тейи. Наиболее вероятный «кандидат» — горные породы с обильными включениями пирита (относящегося к веществам с высокой электропроводностью). Районы посадки советских спускаемых аппаратов «Венера-13» и «Венера-14» имеют довольно низкое радиоотражение. Поэтому можно допустить, что сера в составе этих пород преимущественно связана в ангидрите, имеющем низкую электропроводность.

Пирит в породах поверхности области Бета может входить в состав молодых лавовых потоков или более древних пород, обнажившихся в результате выветривания. Облачный покров препятствует прямым наблюдениям и обнаружению современных потоков лавы или выделений газов и пыли. Поэтому нельзя доказать, что извержения вулканов на Венере про-

исходят в настоящее время, как это удалось сделать для Ио (спутника Юпитера) с помощью великолепных фотографий, полученных с американского космического аппарата «Вояджер». Однако на Земле при мощных извержениях, например подобных извержению вулкана Эль-Чичон в 1982 г., в верхнюю атмосферу выбрасывается огромное количество серосодержащих газов и аэрозольных частиц, где они остаются в течение многих месяцев и даже лет. Если на Венере также происходят мощные извержения, то их «следы» должны оставаться в верхней атмосфере.

По-видимому, это так и есть. Одним из наиболее удивительных открытий было сообщение Л. Эспозито из Колорадского университета в Боулдере, сделанное в прошлом году. По данным измерений на ультрафиолетовом спектрометре со спутника «Пионер-Венера», содержание диоксида серы и аэрозольных частиц серной кислоты в надоблачной атмосфере снизилось на 90% за период с 1978 по 1983 г. В 1978 г. содержание аэрозоля намного превышало то, которое ожидалось на основании данных, полученных за предыдущие 15 лет наземных наблюдений; аналогичное аномально высокое содержание аэрозоля, вероятно, можно отнести к концу 50-х годов. Л. Эспозито предполагает, что грандиозные вулканические извержения в конце 50-х и 70-х годов привели к прямому выбросу газообразного диоксида серы в атмосферу. Затем диоксид серы превращается в серную кислоту, сток которой осуществляется в нижней атмосфере, а аномально высокое содержание SO_2 и аэрозольных частиц в надоблачной атмосфере снижается до обычного.

Мне кажется, что нет необходимости предполагать грандиозный выброс вулканического газа и пыли до высоты 70 км (вплоть до верхней границы облаков). Вряд ли такое явление может действительно произойти. Даже если горячие вулканические газы непосредственно не достигают надоблачной атмосферы, энергия конвекции атмосферных масс, вызванной мощным вулканическим извержением, будет распространяться вверх в форме интенсивных гравитационных волн с возрастающей амплитудой. Такие волны будут деформироваться в пределах облачного слоя, подобно тому как океанские волны разбиваются о берег. Содержание диоксида серы у нижней границы облаков в 500 раз выше, чем у их верхней границы, поэтому зарождение турбулентных вихревых движений, вызванных столкновением гравитационных атмосферных волн с облачными об-

разованиями, может быть причиной периодических «всплесков» содержания диоксида серы в верхней атмосфере. В любом случае для объяснения этого явления необходимо исходить из существования мощных вулканических извержений.

Наблюдения со спутника «Пионер-Венера» могут указать районы, где возможны извержения вулканов. Недавно Ф. Скарф из Т. Р. W. Incorporated и К. Рассел из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе сообщили, что антенна, установленная на спутнике «Пионер-Венера», зарегистрировала низкочастотные радиопульсы, которые могли быть вызваны вспышками молний. Импульсы четко сгруппированы в районах, где на поверхности расположены следующие регионы: область Бета, область Атлы и область Фебы (к югу от области Бета). Такую локализацию импульсов трудно объяснить, если рассматривать возникновение молний в результате случайных событий в конвективной атмосфере. Однако все три указанных района по своим топографическим особенностям могут относиться к вулканическим. Вспомним, что на Земле во время извержений вулканов над ними часто наблюдаются молнии. Эти факты допускают существование молний той же природы и на Венере.

НИ ОДИН из представленных мною аргументов сам по себе не может служить однозначным доказательством существования активного вулканизма на Венере. Тем не менее вместе они выглядят весьма убедительно для обоснования этого предположения. Вулканические процессы можно считать ключевым связующим фактором циклических химических процессов, ответственных за формирование облачного слоя. До сих пор нет четких доказательств проявления плитотектонических процессов на Венере, так что, вероятно, венерианские вулканы — это отдельные «горячие точки», скорее всего напоминающие вулкан Мауна-Лоа на Гавайских островах. Интенсивность вулканизма на Венере может быть даже сопоставима с интенсивностью вулканизма на Земле. Некоторые исследователи считают, что на Венере извержения вулканов происходят чаще, чем на Земле. В заключение можно сказать, что окутанная облаками Венера, так же как и Земля, относится к планетам, которые до сих пор эволюционируют, и их геологическая история продолжается.

Танцуйте осторожно!

НЕ ТОЛЬКО торговцы, но и врачи должны поспевать за модой на развлечения: торговцы — чтобы следовать причудам модников и обеспечивать их модной одеждой и аксессуарами, врачи — чтобы уметь распознавать и лечить новые специфические заболевания, к которым приводит практически любая новая область человеческой деятельности. Например, — танцы брэйк*. В последних номерах медицинских журналов описывается ряд травм, полученных молодыми людьми во время таких «танцев».

"The New England Journal of Medicine" опубликовал статьи врачей из двух нью-йоркских больниц, в которых они описывают три случая травмы позвоночника, в том числе — перелом и смещение шейных позвонков. Только в одном номере "The Journal of the American Medical Association" четыре заметки посвящены травмам, которые могут быть получены во время танцев брэйк. Врач скорой помощи одной из нью-йоркских больниц сообщает о травме шеи у пятнадцатилетнего подростка, произошедшей вследствие слишком большой нагрузки на шейные позвонки во время танца, когда мальчик вертелся на голове.

Всего за полтора месяца в Ново-Орлеанскую больницу дважды обращались подростки с жалобой на далеко не частую патологию — острую боль в шее. Тщательное обследование показало, что она возникла в результате перекручивания семенного канатика, в котором вместе с семявыносящим протоком проходят кровеносные сосуды и нервы. В обоих случаях потребовалось хирургическое вмешательство.

В Сан-Диего в течение одной недели в больницу поступили двое больных с болезненными опухолями спины, возникшими в результате движений брэйк. Из 12 опрошенных врачей той же больницы пятеро в последнее время также сталкивались с травмами, полученными во время таких «танцев»: ушибами спины, переломами предплечья, ключиц, смещением шейных позвонков, разрывами коленных связок, растяжениями мышц и др.

* Брэйк — распространившаяся в последнее время среди молодежи своеобразная форма танца, для которой характерны резкие («ломаные») движения в необычных положениях, в том числе лежа. — *Прим. ред.*

Своеобразную травму описал врач, практикующий в одном из пригородов Нью-Йорка: он столкнулся с двумя случаями так называемой пятнистой плешивости у 17-летних юношей. Как выяснилось, волосы у них вылезли из-за частого верчения на макушке. Этот же врач сообщил о случае плешивости, возникшей на почве иного вида отдыха. У молодой женщины выпали волосы полоской вокруг головы вследствие того, что она, без меры увлекаясь бегом трусцой, стягивала волосы слишком тугой и широкой повязкой.

Любители длительного бега трусцой подвергают себя также опасности, о которой многие и не подозревают, — на них могут нападать хищные птицы. В "The New England Journal" опубликовано сообщение врача общественной больницы, находящейся на северо-западе Швейцарии, в котором говорится о том, что за 2 года 12 человек, занимавшихся бегом трусцой, получили рваные раны и царапины на голове в результате нападения птиц. Как он пишет, «птицы атаковали жертву сверху и повторяли свои наскоки все время, пока человек двигался». В 5 из этих 12 случаев «агрессор» был идентифицирован: это были сарычи (*Buteo buteo*), причем по времени нападение всегда совпадало с их брачным периодом. «Природа, — комментируют швейцарские врачи, — не позволяет вторгаться в нее безнаказанно».

Необычный космический объект

ПО ДАННЫМ В. ван Брейгеля и его сотрудников из Калифорнийского университета в Беркли, узкая струя ионизованного газа, вырывающаяся из ядра эллиптической радиогалактики NGC 541, порождает «мощный всплеск звездообразования» в прилегающем газовом скоплении. Результаты этих наблюдений будут опубликованы в журнале "The Astrophysical Journal".

Звезды образуются в результате коллапса газопылевых облаков. Для начала этого процесса необходима внешняя сила, например приливное воздействие соседней галактики. Группа ван Брейгеля показала, что космические выбросы, примером которых может служить струя плазмы из радиогалактики NGC 541, также может быть источником такой силы.

Ван Брейгель и его коллеги сделали это открытие при исследовании кос-

мических выбросов, которые свидетельствуют о бурной активности в центре многих галактик. Выбросы излучают в радиодиапазоне и обычно недоступны наблюдениям в оптическом диапазоне. В последние годы, однако, было обнаружено, что часть излучения выбросов приходится на некоторые области оптического диапазона, и появилась надежда, что удастся определить процессы, происходящие внутри выбросов.

Согласно современным представлениям, излучение в оптическом диапазоне появляется тогда, когда радиовыброс воздействует на область относительно плотного газа. Облака газа ускоряются, нагреваются и ионизируются в пограничных турбулентных слоях выброса. По мере движения газа он охлаждается и излучает линейчатый спектр в оптическом диапазоне.

Область выброса из галактики NGC 541, дающая эмиссионный линейчатый спектр, представляет собой необычное ярко-голубое образование, называемое объектом Минковского. Наблюдения с помощью Большой антенной решетки в Нью-Мехико и нескольких оптических телескопов показали, что образования, излучающие в радио- и оптическом диапазонах, взаимодействуют. Объект Минковского расположен в северо-восточном конце выброса, и его излучение в оптическом диапазоне наиболее интенсивно там, где объект соприкасается с пограничными слоями выброса. Ниже области соприкосновения скорость светящегося газа увеличивается, поэтому можно предположить,

что он ускоряется быстро движущейся плазмой; радиоконтур выброса искривлены и более размыты.

Однако излучение объекта Минковского отличается от других подобных объектов, дающих эмиссионные спектры. Его спектр напоминает спектр гигантских водородных облаков, ионизованных излучением горячих молодых звезд, и похож на спектр галактики NGC 7714, в которой в настоящее время происходит мощный всплеск звездообразования. Яркое голубое свечение, исходящее из объекта Минковского, характерно также для молодых звезд.

Вероятно, выброс, увлекая облака газа, из которых состоит объект, вызывает их сжатие. Затем излучение рождающихся звезд ионизует газ и вызывает оптическое излучение. Ван Брейгель и его коллеги считают, что полная масса молодых звезд в объекте Минковского составляет примерно 12 млн. масс Солнца — вполне достаточно для того, чтобы считать эту необычную область новой галактикой.

Припади ухом к земле

САМЦЫ лягушек, чьими призывными криками наполнены теплые весенние ночи, могут, по-видимому, общаться и другим, более тихим способом. Как следует из статьи Э. Льюиса (Калифорнийский университет в Беркли) и П. Нэринса (Калифорнийский университет в Лос-Анджелесе), опубликованной в журнале "Science", представители одного из видов лягушек могут общаться между собой с помощью колебаний почвы.

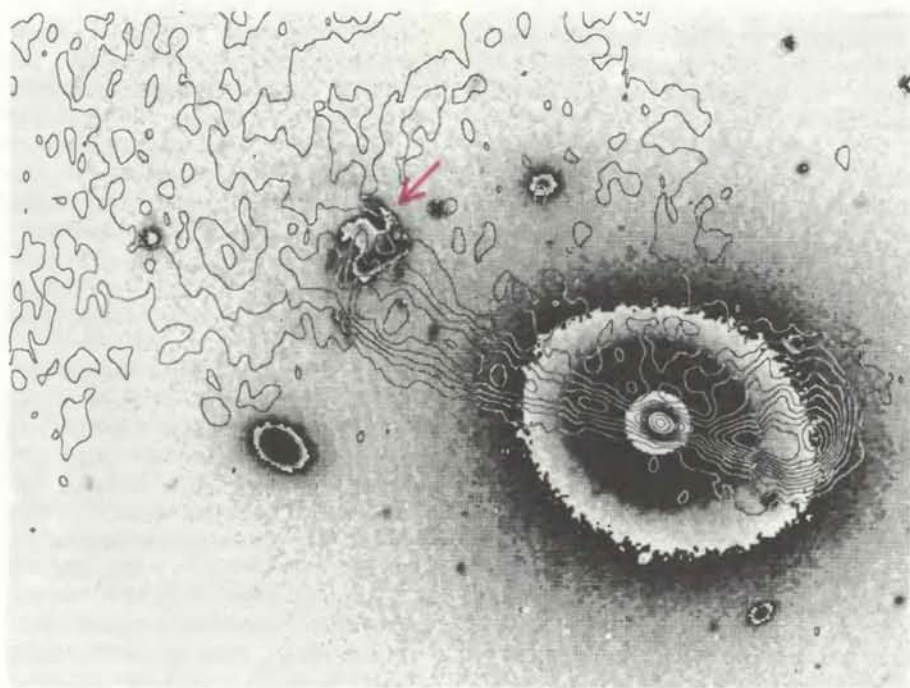
Известно, что лягушки очень чувствительны к колебаниям субстрата. Даже очень осторожные шаги заставляют замолчать квакающего самца лягушки на расстоянии нескольких метров. Ранее Льюис и его коллеги установили, что столь высокая чувствительность обусловлена устройством особого органа, называемого мешочком, который расположен во внутреннем ухе. По мнению Льюиса, у лягушек он действует наподобие инерционного датчика. Внутри мешочка находятся относительно массивные известковые образования; при сотрясении тела лягушки они, как более инерционные, смешаются меньше, чем окружающие ткани, что приводит к определенной деформации, которая воспринимается рецепторными клетками и передается по нервным волокнам*.

«Сейсмическая» чувствительность нужна лягушкам, чтобы вовремя замечать опасность. Кроме того, как установлено Льюисом и Нэринсом, она служит им для общения. Было показано, что белогубая лягушка, обитающая в Пуэрто-Рико, может генерировать сейсмические сигналы и реагировать на них. У позвоночных животных этот эффект описан впервые.

В местах обитания лягушек исследователи регистрировали одновременно звуковые сигналы и колебания почвы. Они обнаружили, что самцы, издавая звуки, генерируют и сейсмические сигналы. Квакая, самцы припадают к земле и прижимают к ней голосовую сумку. Вибрация возникает вследствие того, что голосовая сумка при квакании раздувается и ударяет по поверхности почвы. Однако вибрация не является просто «побочным результатом» квакания — она служит другим самцам как сигнал. Когда авторы статьи имитировали ситуацию, постукивая по земле пальцем или резиновым молоточком, самцы лягушки, находившиеся в нескольких метрах от этого места, начинали издавать специфические звуки, характерные для общения между самцами белогубой лягушки.

Зачем нужен лягушкам этот второй способ общения? Во влажной почве механические колебания распространяются со скоростью приблизительно 100 м/с, что вдвое медленнее звука. Льюис и Нэринс предполагают, что по запаздыванию сейсмического сигнала по сравнению со звуковым самец лягушки оценивает расстояние до квакающего собрата, тем самым получая информацию, на основании которой он определяет «свою» территорию.

* Подробнее о строении мешочка см.: Хадспет А. Дж. Волосковые клетки внутреннего уха. «В мире науки», 1983 г. № 3. — Прим. ред.



Совмещенные радио- и оптическое изображения галактики NGC 541 и объекта Минковского (указан стрелкой)

Причины невроза

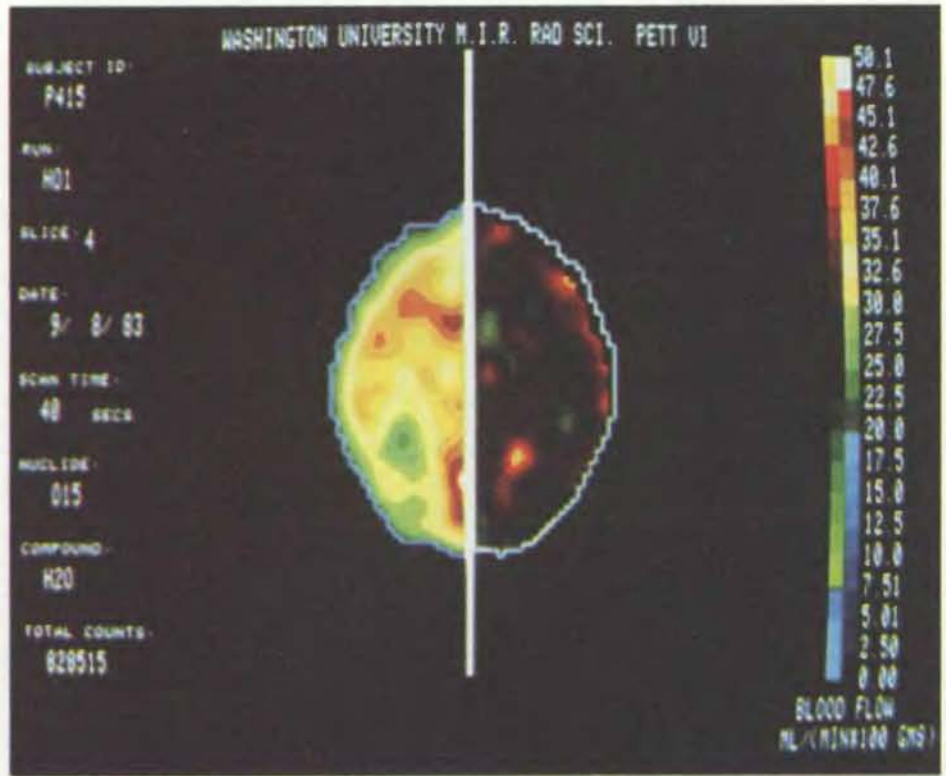
ПРИ психическом расстройстве, называемом неврозом страха, больной страдает от повторяющихся приступов беспричинного ужаса. Это заболевание поражает от 2 до 5% населения, женщин — в два раза чаще, чем мужчин; среди сердечных больных оно встречается у 10—14%. Человек обычно испытывает чувство сильной тревоги, которое часто сопровождается бредом, оцепенением, покалыванием в конечностях, ощущениями удушья и давления в груди, учащенным сердцебиением. Нередко приступам паники сопутствуют сильная дрожь и обильное потоотделение. До сих пор такие явления обычно рассматривались и лечились либо как чисто психическое расстройство, либо как последствия гипервентиляции.

Недавно сотрудники отделения психиатрии Медицинской школы Вашингтонского университета Э. Райман, Ф. Кевин Батлер и Э. Робинс совместно с М. Рейчлом и П. Гершковичем из отдела неврологии и нейрохирургии Маллинкродтовского института радиологии обнаружили физиологическое отклонение в организме, которое четко коррелировало с неврозом страха: наблюдался неравномерный приток крови к парагиппокамальному гирису — одному из участков мозга, который, как считают, отвечает за возникновение бессоницы, чувства страха и тревоги.

Отправной точкой исследователям послужил тот давно известный факт, что при введении в кровь лактата натрия (натриевой соли молочной кислоты, образующейся в мышцах при физической нагрузке) у людей, страдающих неврозом страха, болезненные симптомы усиливаются.

Испытуемым, добровольно принявшим участие в экспериментах, вводили лактат, содержащий радиоактивную метку, что давало возможность получить картину мозга методом позитронной томографии. Как отмечает Рейчл, у больных, у которых лактат усиливал симптомы невроза, приток крови к определенным участкам мозга в правом и левом полушариях был неодинаков. У людей, не страдавших этим заболеванием, такой разницы не наблюдалось.

В статье, опубликованной в журнале "Nature", исследователи высказывают предположение, что это указывает на физиологическую аномалию мозга у людей, больных неврозом страха. Рейчл также замечает, что «разница в притоке крови к левому и правому полушариям мозга, возможно, связана с разницей в интенсивности метаболизма. На первый взгляд это не имеет отношения к эмоциям, однако активность клеток мозга дол-



У людей, больных неврозом страха, левое и правое полушария мозга снабжаются кровью неодинаково

жна зависеть от кровоснабжения, поскольку в мозгу кислород не запасается». Рейчл считает, что имеет смысл исследовать гематоэнцефалический барьер — сеть капилляров, стенки которых стоят на пути проникновения веществ из крови к клеткам мозга: «Возможно, у людей, страдающих паническими расстройствами, дефектен гематоэнцефалический барьер, из-за чего лактат может проникать к клеткам мозга. Мы собираемся также измерить потребление кислорода клетками мозга с тем, чтобы связать интенсивность притока крови с активностью нервных клеток».

Гормон-лекарство

В БЛИЖАЙШЕЕ время появится лекарственный препарат, который позволит предотвращать необратимый паралич, наступающий в результате тяжелых травм позвоночника. Это синтетический аналог тиролиберина (ТВГ) — природного гормона, стимулирующего высвобождение тиреотропина. При застарелых травмах позвоночника он, правда, не помогает, но, если его применить своевременно, эффективен при травмах, связанных с пережатием (но не разрывом) спинного мозга.

О перспективности этого препарата для предотвращения паралича можно судить по работам А. Фадена, выполненным в Медицинском центре Калифорнийского университета в Сан-Франциско. Фаден и его коллеги

показали, что введение лабораторным животным природного ТВГ или его синтетического аналога (несколько отличающегося химически) в течение первых нескольких часов после травмирования позвоночника препятствует развитию паралича.

Природный ТВГ, который секретируется гипоталамусом, представляет собой пептид, состоящий из трех аминокислот. Функция ТВГ — воздействие на гипофиз, в котором он вызывает секрецию гормона, стимулирующего щитовидную железу, что в свою очередь «включает» в ней синтез определенного набора гормонов.

Еще лет десять назад было установлено, что большинство нарушений, связанных с повреждением позвоночника, не вызываются самой травмой непосредственно, а возникают как следствие реакции организма на повреждение. Сжатие спинного мозга приводит к локальному разрушению серого вещества. При этом окружающее белое вещество может остаться более или менее неповрежденным.

Серое вещество спинного мозга состоит из горизонтально ориентированных нервных клеток и нервных волокон, которые передают сигналы, следующие к периферическим органам и от них. Белое же вещество образовано вертикальными нервными волокнами, которые отвечают за передачу сигналов в головной мозг и обратно.

Паралич обычно наступает вследствие повреждения белого вещества.

Поэтому если белое вещество не пострадало, паралич у больного развивается не сразу. Однако в результате изменений, происходящих как реакция организма на травму, через какое-то время нарушается функционирование также и белого вещества, что приводит к параличу. Это может произойти, например, из-за уменьшения притока крови к спинному мозгу.

По мнению Фадена, пока не произошло повреждения белого вещества спинного мозга, можно терапевтическими средствами предотвратить паралич. Из его экспериментов следует, что, будучи применен в этот период (который длится от нескольких минут до нескольких часов), ТВГ приостанавливает процессы нормальной реакции организма на травму позвоночника и тем самым препятствует развитию паралича. В деталях механизм действия гормона пока не ясен. Известно, что он подавляет активность природных опиатов (эндорфинов), играющих роль в реакции организма на травму.

Согласно Фадену, продолжительность оптимального «терапевтического окна» не превышает нескольких часов. Однако жертвы несчастного случая, получившие травму позвоночника, попадают в специализированный медицинский центр или больницу обычно не ранее чем через четыре часа после происшествия. Следовательно, препарат, призванный предотвратить паралич, должен быть введен непосредственно на месте происшествия и его эффект должен длиться как минимум до тех пор, пока пациент не будет доставлен в специализированное лечебное учреждение.

По-видимому, природный ТВГ мало пригоден в таких ситуациях. Этот гормон распадается в организме в течение пяти минут, и, следовательно, для оказания помощи его нужно вводить непрерывно путем внутривенного вливания. Недавно Фаден и его сотрудники начали испытывать искусственный аналог ТВГ производства немецкой фирмы Grünenthal GmbH. Оказалось, что синтетический препарат сохраняет эффективность по меньшей мере несколько часов, причем он даже более действен, чем природный гормон. И в настоящее время именно синтетический гормон вызывает интерес у клиницистов.

Сейчас в Европе фирма Grünenthal испытывает искусственный аналог ТВГ. В то же время в США Фаден с коллегами недавно получил данные, подтверждающие безвредность природного ТВГ для человеческого организма, и в ближайшее время начнутся его клинические испытания.

SCIENTIFIC AMERICAN

МАРТ 1935 г. Близится к завершению строительство моста между Сан-Франциско и Оклендом — самого большого из сооружений подобного типа, когда-либо созданных человеком. Теперь по этой магистрали ежегодно будет переправляться 45 млн. человек и 5 млн. автомобилей. Раньше между Сан-Франциско и графством Аламеда существовала паромная переправа. Поездка по мосту — самому длинному в мире и наиболее высокому над поверхностью воды — доставит пассажирам немало удовольствия. Все сооружение будет покоиться на опорах, которые уйдут под воду на рекордную глубину. Строительство моста, который является государственной собственностью, обойдется в 77 200 тыс. долл.

На развитие технологии упаковки товаров отчисляются огромные средства. Обнаружено, что искусная упаковка невероятно способствует скорейшей продаже товара, получению огромной экономии на транспортировке продукции, а также снижению потерь, вызываемых повреждением или порчей. Когда-то упаковка товаров сводилась к элементарному обертыванию, необходимому для удобства перевозки товаров или для того, чтобы было на чем поставить торговую марку. Хотя эти соображения сохраняют свою важность и теперь, назначение упаковки стало значительно более широким. Век картона, бумаги и шпаката подошел к концу, и ведущая роль здесь принадлежит целлофану, так как именно этот прозрачный материал придал новый характер отношению потребителей к упаковке товаров.

Ученые с большим интересом изучили верхушку памятника Вашингтону, сделанную из алюминия в виде пирамидки, во время ремонта всего обелиска. После 50-летней службы в качестве громоотвода, возвышающегося над землей на 160 м, завершающая часть сооружения из металла, который в период строительства стоил 12 долл. за фунт, не носила никаких следов разрушения. Действительно, надписи, выгравированные на боковых гранях пирамидки, отчетливо читаются и теперь. В наше время алюминий стоит всего 21 цент за фунт, а в ту пору, когда сооружался обелиск, этот металл казался настолько ред-

ким, что верхняя часть памятника была выставлена для обозрения в витрине одного из крупнейших салонов Тиффани. Глядя на диковинку из алюминия, прохожие качали головами, сомневаясь, сможет ли она выстоять в тех суровых условиях, которым будет подвергаться.

SCIENTIFIC AMERICAN

МАРТ 1885 г. Британское общество воздухоплавания для достижения той цели, ради которой оно было создано, намерено организовать выставку летательных аппаратов. В качестве экспонатов будут представлены: 1) средства передвижения в воздухе с использованием чисто механических устройств; 2) модели аппаратов с использованием частично эффекта подъемной силы, а частично механических устройств; 3) модели, разъясняющие принципы действия упомянутых конструкций и способные летать, имея на борту свой собственный движитель; 4) аппараты, рассчитанные на вес одного человека; 5) легкие моторы; 6) управляемые и неуправляемые воздушные шары; 7) материалы для оболочек воздушных шаров и снаряжение для воздухоплателей; 8) воздушные змеи и другие изделия подобного типа; 9) прочие экспонаты, имеющие отношение к воздухоплаванию.

План города Вашингтона был рассчитан математически и, как ни странно, в конце концов он был претворен в жизнь. Успех этого мероприятия всецело обусловлен внешними факторами. Оставленный без внимания Вашингтон давно бы превратился в глухую провинцию, и последующие поколения вряд ли узнали бы, что на этом месте когда-то стоял крупный город. Вашингтон лишен каких бы то ни было элементов свободного коммерческого процветания. Достаточно было бы одного решения конгресса о перемещении столицы в другое место, чтобы этот город утратил свою популярность. Сейчас же он является политическим и общественным центром Соединенных Штатов. Здесь пребывает правительство. Это и только это обстоятельство сделало Вашингтон тем, чем он стал, — одним из красивейших городов страны.

Томас Эдисон: «Усилия по развитию дальней телефонной связи оказались далеко не напрасными; в коммерческом отношении они себя полностью оправдали и в будущем су-

лят блестящие результаты. Уже состоялся разговор между Кливлендом и Нью-Йорком, а между Нью-Йорком и Бостоном существует постоянная связь. Развитию дальней телефонной связи препятствует явление статической индукции, возникающей при близком расположении проводов от земли. Если бы удалось протянуть всего один провод достаточно высоко над самыми высокими горами, то даже слабый шепот смог бы «обежать» по нему вокруг всего земного шара. Одно можно утверждать наверняка: недалеко то время, когда надежная телефонная связь будет осуществляться по непрерывным линиям протяженностью не меньше 300 миль. Вполне вероятно, что благодаря ретранслирующим станциям телефонная связь станет возможной между любыми населенными пунктами в пределах Соединенных Штатов».

Томас Эдисон: «Два прошедших года показали, что электричество для домашнего освещения может конкурировать с газом как предмет производства и продажи. Независимо от характера применения — для освещения или других целей — электрическая энергия является продуктом нематериальным. Управлять ею так легко, а устройства, работающие от нее, столь недороги, что она может использоваться как движущая сила всюду, где требуется применение моторов. В быту значение электричества как двигательной силы не менее важно, чем как энергии для освещения. Однако электрическая энергия может применяться не только в быту или на производстве. Эксперименты доказали возможность постройки электрического локомотива, и есть основания полагать, что в будущем он придет на смену паровому локомотиву. Были

проведены различные опыты с целью изучения возможности создания работающих от электрической энергии пассажирских вагонов, повозок, грузовых тележек и т.д. Недостаток этих транспортных средств заключается в том, что их необходимо оснащать электрическими батареями, которые быстро истощаются и, кроме того, имеют немалый вес. Поэтому до тех пор пока не будут придуманы совершенные способы накопления электрической энергии или ее получения непосредственно из угля, мы не можем рассчитывать на то, что это нематериальное «топливо» будет использоваться как источник энергии для транспортных средств».

Наука и общество

Целительные гены

УЖЕ недалеко то время, когда генетические заболевания будут лечить с помощью технологии рекомбинантных ДНК. К числу заболеваний, к которым возможно применить методы генетической инженерии, относятся, например, нарушения иммунной системы, вызванные отсутствием гена того или иного фермента. В таких случаях у пациента нужно извлечь клетки костного мозга и инфицировать их вирусом, в геном которого встроен нормально функционирующий недостающий ген, а затем эти клетки вновь пересадить пациенту. Этот подход предполагается только для соматических (не половых) клеток. Но хотя он не должен приводить к наследуемым изменениям в ДНК человека или влиять на набор его генов, перспективы генетической терапии вызывают вполне понятное беспокойство.

В этой связи рабочей группой, входящей в состав Консультативного комитета по рекомбинантным ДНК (ККР) Национальных институтов здоровья, был опубликован проект документа, озаглавленного «Аспекты, которые должны быть учтены при разработке методов генетической терапии соматических клеток человека». Он включает ряд вопросов, которые будут рассматриваться ККР при обсуждении целесообразности генетической терапии в конкретных случа-

ях генетических заболеваний. Список этих вопросов достаточно обширен. Он охватывает проблемы, касающиеся необходимости предполагаемого вмешательства и его природы, подробное рассмотрение методик, а также теоретические и практические аспекты применения генетической терапии. Значительное внимание уделено вопросам безопасности генетического вмешательства.

Помимо практических вопросов проект этого документа затрагивает и этические проблемы. «Основная наша цель, — заявил член рабочей группы сотрудник Университета Хоуарда Р. Мюррей, — уберечь пациента от ущерба, злоупотребления и эксплуатации». Необходимым условием ставится осознанное согласие больного на применение генетической терапии. Вообще, при внедрении в практику любого нового метода лечения и пациенту, и врачу трудно оценить объективно позитивные и негативные стороны еще не опробованного подхода.

Очередное собрание рабочей группы происходило в конце 1984 г., когда общественное мнение было взбудоражено сообщениями о младенце, которому было пересажено сердце обезьяны и об Уильяме Шредере — втором человеке, перенесшем имплантацию искусственного сердца. Члены группы считают, что всегда необходимо давать населению информацию о перспективах новых методов лечения, в

том числе генетической терапии.

Сотрудники ККР подчеркивают, что проект документа лишь предлагает свод вопросов, которые должны быть учтены, но не является императивной инструкцией. Они надеются, что на основании этого проекта впоследствии можно будет разработать критерии и процедуру оценки необходимости генетической терапии. Во всяком случае, на первых порах широкая общественность должна быть информирована о всех практических шагах.

Некоторые члены рабочей группы ККР расценивают опубликованный документ как намеренную перестраховку, потому что, по их мнению, генетическая терапия соматических клеток на самом деле не может иметь неожиданных или вредных последствий. Как заметил С. Горовиц из Мэрилендского университета, «наиболее важное значение документа — убедить общественность в объективности предлагаемого предварительного рассмотрения при применении методов генетической терапии. Порой в общественном мнении появляются совершенно необоснованные страхи и предубеждения, однако их следует учитывать».

Транслокации хромосом и рак у человека

Хромосомы в клетках иммунной системы иногда обмениваются сегментами ДНК. Этот процесс может активировать гены, вызывающие рак, если в результате рядом с ними оказываются последовательности ДНК, которые усиливают их активность

КАРЛО М. КРОЧЕ, ДЖОРДЖ КЛЕЙН

КАЖДАЯ клетка человеческого организма содержит онкогены — гены, которые потенциально способны вызывать рак. По видимому, они имеют нормальные функции и выполняют их до тех пор, пока в клетке не произойдет злокачественное изменение. Что же превращает онкоген из обычного компонента генетического аппарата клетки в источник раковой, или неопластической, трансформации?

За последнее десятилетие было обнаружено несколько механизмов активации онкогенов (см.: Вайнберг Р. А. Молекулярные основы рака, «В мире науки», 1984, № 1). В некоторых случаях онкоген активируется при точечной мутации; изменение, вызванное облучением или химическим канцерогеном, затрагивает при этом небольшой участок гена. Другой способ активации онкогена заключается в амплификации, когда онкоген многократно реплицируется, так что в одной и той же клетке оказывается по нескольку его активных копий. Когда это случается, экспрессия гена может достигать ненормально высокого уровня; другими словами, клетка может синтезировать избыточное количество белка, который кодируется онкогеном. Даже белки, необходимые для нормального функционирования клетки, могут приводить к возникновению рака, если синтезируются в больших количествах (см.: Хантер Т. Белки онкогенов, «В мире науки», 1984, № 10).

Онкоген может также активироваться, включившись в состав ретровируса (ретровирусы — это группа вирусов, у которых генетическим материалом является РНК, а не ДНК). При заражении животного попавший в клетку ретровирус может захватить из ее генома неактивированный онкоген, который становится частью генома вирусной частицы и ее потомков. Такой процесс иногда приводит к активации онкогена, и тогда последующее заражение этим штаммом ре-

тровируса может индуцировать неопластическую трансформацию в других клетках. В настоящее время не ясно, какую роль играют описанные механизмы активации в развитии рака у человека, поскольку лишь немногие раковые опухоли человека содержат онкогены, активированные каким-либо из перечисленных способов.

Наши исследования, а также исследования других авторов показали, что существует еще один механизм активации онкогенов. Этот механизм действует при некоторых видах рака клеток иммунной системы, называемых В-клетками. Главная функция В-клеток заключается в образовании антител (иммуноглобулинов) — молекул, которые распознают антигены т.е. «не свои», чужеродные молекулы и связываются с ними. Для того чтобы В-клетка исправно выполняла свою функцию, экспрессия генов, которые кодируют антитела, должна быть значительной. В составе генов, которые обеспечивают синтез антител, имеются последовательности ДНК, усиливающие активность этих генов в В-клетках. Если при перестройке хромосом (палочкообразных структур, в которые организована ДНК клеточного ядра) в В-клетке такие последовательности окажутся рядом с онкогеном, экспрессия онкогена усилится и в функционировании этой клетки основное место займут процессы злокачественной трансформации.

Мы установили, что такие перестройки хромосом в В-клетках действительно происходят при лимфоме Беркитта — быстро развивающемся злокачественном заболевании иммунной системы. Перестройки заключаются в реципрокных транслокациях между двумя хромосомами В-клетки: от каждой из двух хромосом «отламывается» сегмент, который переносится на конец другой хромосомы (см. иллюстрацию на с. 20). В большинстве случаев в результате подобной транслокации онкоген оказывается вблизи

последовательностей, усиливающих образование антител; реже онкоген остается на своем месте, а перемещается последовательность, усиливающая экспрессию.

Мы столкнулись с таким механизмом в ходе исследований, начатых в конце 1970-х годов с целью идентифицировать хромосомы, содержащие гены, ответственные за образование антител. Определив локализацию этих генов, мы обратили внимание на то, что они располагаются именно на тех хромосомах, которые, как уже было известно, подвержены транслокациям при лимфоме Беркитта. Дальнейшая работа показала, что два сегмента генетического материала, которыми обмениваются хромосомы, содержат соответственно онкоген и ген, кодирующий часть молекулы антитела.

ЧТОБЫ установить, какие хромосомы несут генетическую информацию, определяющую образование антител, один из авторов этой статьи — К. Кроче — и его сотрудники применили экспериментальный подход, основанный на гибридизации соматических клеток мыши и человека (соматическими называют неполовые клетки тела).

Гибридные клетки получают, смешивая В-клетки мыши и человека в среде, которая содержит фактор (химической или вирусной природы), вызывающий слияние клеток разных видов. Образующиеся клетки содержат хромосомы и мыши, и человека. Гибридная клетка такого типа при своем делении может утрачивать хромосомы человека (но сохраняет полный набор хромосом мыши), поэтому, по мере того как клетки делятся и размножаются, в последующих их поколениях хромосом человека остается все меньше и меньше; много поколений спустя каждая гибридная клетка будет содержать лишь по нескольку хромосом человека.

С целью определить, какие хро-

мосомы содержат гены, кодирующие составные части молекул антител, мы исследовали несколько наборов таких клеток. В любой клетке, синтезирующей часть молекулы иммуноглобулина, наверняка должна иметься одна из необходимых хромосом. Мы установили, какие хромосомы содержат гены каждой из определенных частей молекулы иммуноглобулина, подметив, какие хромосомы человека неизменно присутствуют в клетках, производящих эти части молекулы, и отсутствуют в клетках, в которых они не производятся.

Молекула антитела построена из четырех белковых цепей; цепи объе-

динены в две идентичные пары и образуют молекулу, напоминающую по форме букву Y (см. иллюстрацию на с. 21). Более длинная цепь в паре называется тяжелой (H) цепью, более короткая — легкой (L) цепью. В каждой цепи различают два участка — переменный и константный. Переменный участок узнает антиген и связывается с ним; константный участок ответствен за функцию, которую антитело осуществляет уже после того, как оно связалось с антигеном (так называемая эффекторная функция). Существует множество различных типов переменного участка, поскольку антитела действу-

ют с высокой степенью избирательности: каждое антитело связывается лишь с одним специфическим антигеном. Число вариантов константного участка невелико: в легких цепях встречаются лишь два его типа (которые обозначают κ и λ), а в тяжелых цепях — 10 типов. Поэтому антитела против различных антигенов вполне могут выполнять одни и те же функции. Каждая зрелая В-клетка способна образовывать антитела только одного типа, и ее хромосомы содержат последовательности ДНК, кодирующие переменные и константные участки, характерные для этих антител (см.: Leder P. The Genetics of An-



ХРОМОСОМЫ из гибридной клетки; хромосомы человека — светлые, хромосомы мыши — темные. Одна из хромосом человека (отмечена стрелкой) — результат транслокации: сегмент на ее конце был утрачен и заменен на участок другой хромосомы. Вследствие транслокации могут активироваться онкогены (гены, вызывающие рак), если они попадают поблизости от усилителей транскрипции — последовательностей ДНК, которые усиливают активность определенных генов, локализованных в той же хромосоме.

Гибридные клетки содержат только часть хромосомного набора человека, поэтому, используя их, можно определить, какая конкретно хромосома кодирует тот или иной белок человеческих клеток: белковый продукт, синтезирующийся в клетке, содержащей единственную хромосому человека, должен кодироваться именно этой хромосомой. Так были идентифицированы хромосомы, несущие определенные онкогены. Изучено влияние различных транслокаций на регуляцию этих онкогенов.

tibody Diversity, "Scientific American", May, 1982).

В 1979 г. Кроче и его сотрудники, анализируя гибридные клетки, обнаружили, что тяжелые цепи, характерные для иммуноглобулинов человека, могут синтезироваться только в тех клетках, которые содержат 14-ю хромосому человека. Используя ту же методику эксперимента Я. Эрикссон, Дж. Мартинис и Кроче в 1981 г. установили, что 22-я хромосома кодирует легкие цепи с константным λ -участком. В 1982 г. О. Уэсли МакБрайд и его коллеги в Национальном институте рака, а также Т. Рэббитс с сотрудниками в Лаборатории молекулярной биологии Совета медицинских исследований в Кембридже выяснили, что 2-я хромосома кодирует легкие цепи с константным κ -участком.

ЭТИ результаты полностью согласовывались с исследованиями хро-

мосомных транслокаций, которые были выполнены на 10 лет ранее. В 1972 г. Дж. Манолов и Я. Манолова, работавшие в то время в Швеции, в Лундском университете, обнаружили, что в хромосомах многих клеток, пораженных злокачественной лимфомой Беркитта, имеет место аномалия: одна из хромосом в 14-й паре (соматические клетки человека содержат 23 различные пары хромосом) гораздо длиннее, чем обычно. Поскольку ненормально длинным был участок хромосомы, называемый плечом q , Маноловы обозначили необычную хромосому $14q^+$.

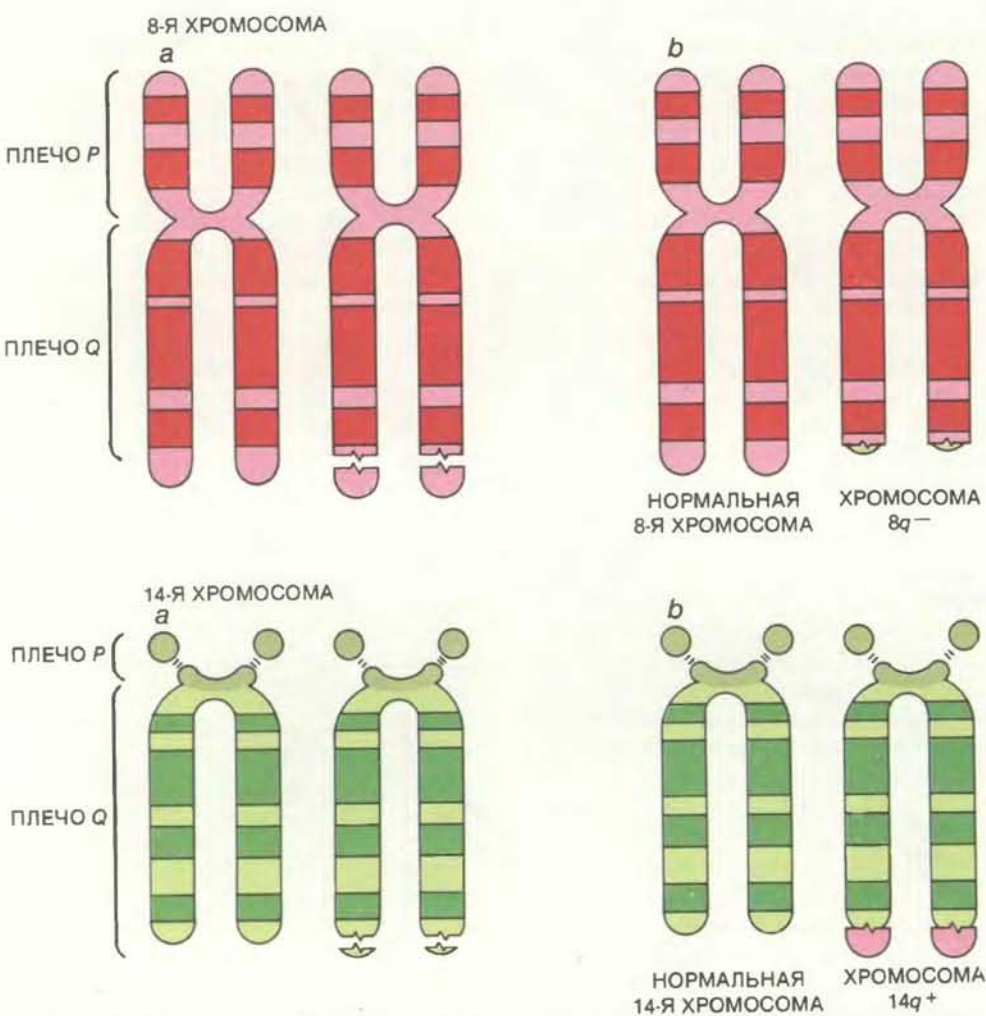
Впоследствии в Королевском институте (Стокгольм) Л. Зек в сотрудничестве с одним из авторов статьи — Дж. Клейном — показали, что хромосома $14q^+$ образуется в результате реципрокной транслокации: от одной из хромосом 8-й пары отделяется сегмент и присоединяется к концу 14-й хромосомы. Перестроенная

8-я хромосома получила обозначение $8q^-$, поскольку ее плечо q укорочено. Позже другие исследователи установили, что в клетках лимфомы Беркитта могут происходить хромосомные перестройки двух других типов, также затрагивающие 8-ю хромосому. Приблизительно в 16% случаев заболевания лимфомой Беркитта реципрокное перемещение сегментов происходит между 8-й и 22-й хромосомами и примерно в 9% случаев — между 2-й и 8-й хромосомами. Три из подверженных этим транслокациям хромосом — 2, 14 и 22-я — участвуют в образовании антител.

Вскоре выяснилось, что связь между лимфомой Беркитта и синтезом антител более тесная. Кроче и Эрикссон в Вистаровском институте анатомии и биологии и Дж. Файнен и П. Ноуэлл в Медицинской школе Пенсильванского университета показали, что при транслокации на 8-ю хромосому точка разрыва 14-й хромосомы расположена как раз в том участке, который кодирует тяжелые цепи иммуноглобулинов. Для этих экспериментов также использовались гибриды клеток мыши и человека, но в данном случае клетки иммунной системы мыши были раковыми — их получили из животного, пораженного злокачественной плазмацитомой. Помимо полного набора хромосом мыши каждая гибридная клетка содержала хотя бы по одной хромосоме из клеток лимфомы Беркитта человека.

Как мы и ожидали, гибридные клетки с нормальной, не затронутой транслокацией 14-й хромосомой содержали гены антител, а в клетках с нормальной 8-й хромосомой их не было (см. иллюстрацию на с. 23). Напротив, гибриды, в которых 14-я хромосома претерпела транслокацию (хромосома $14q^+$), содержали последовательности ДНК, кодирующие только константные участки тяжелых цепей иммуноглобулинов, но были лишены генов варибельной области. Гены варибельных участков имелись в 8-й хромосоме, которая образовалась в результате транслокации. Эти результаты говорят о том, что 14-я хромосома разрывается между генами, кодирующими варибельные и константные участки тяжелых цепей, и гены варибельной области перемещаются в 8-ю хромосому. Таким образом, локус 14-й хромосомы, кодирующий тяжелую цепь, принимает непосредственное участие в транслокациях, характерных для лимфомы Беркитта.

ИТАК, стало ясно, что механизм развития лимфомы Беркитта связан с генами, ответственными за об-



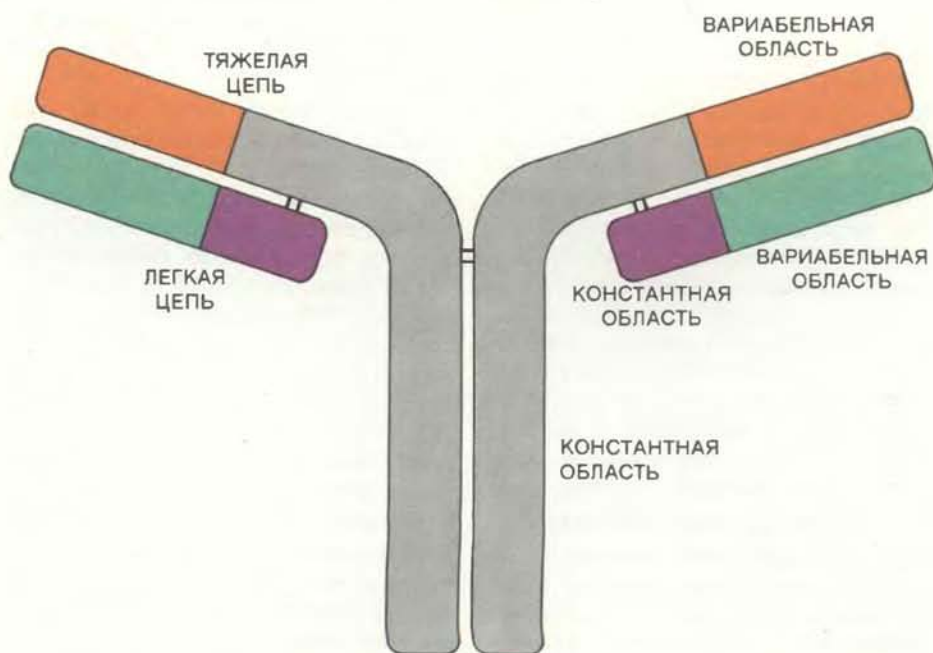
РЕЦИПРОКНАЯ ТРАНСЛОКАЦИЯ между 8-й (красная) и 14-й (зеленая) хромосомами вызывает лимфому Беркитта — раковое заболевание В-клеток иммунной системы человека. От конца 8-й хромосомы отделяется сегмент (а) и перемещается на 14-ю хромосому (b), и, наоборот, участок 14-й хромосомы переносится на 8-ю. В результате онкоген из 8-й хромосомы оказывается на 14-й хромосоме вблизи гена, который в норме обеспечивает синтез части молекулы иммуноглобулина, и механизм, усиливающий образование антител в нормальных В-клетках, активирует онкоген.

разование антител. Следующий шаг к разгадке природы этой связи был сделан при изучении онкогенов. Поскольку при лимфоме Беркитта поражаются В-клетки, особый интерес у нас вызывал онкоген, обозначаемый *c-myc*, — онкоген человека, сходный с онкогеном *v-myc*, который вызывает лимфому В-клеток у цыплят при заражении их вирусом миелоцитоматоза птиц.

В совместной работе с Р. Далла-Фавера и Р. Галло из Национального института рака мы воспользовались высокой степенью сходства между генами *myc* человека и вируса птиц и получили пробу, с помощью которой можно было идентифицировать клетки, содержащие онкоген *c-myc* человека. Наша проба представляла собой меченный радиоактивным изотопом фрагмент ДНК человека, в котором последовательность нуклеотидов была очень близка к последовательности онкогена *v-myc*.

Чтобы установить, содержит ли гибридная клетка ген *c-myc* человека, мы делали следующее. С помощью специального фермента ДНК клетки разрезали на небольшие фрагменты, несколько различающиеся по размерам; полученные фрагменты разделяли, применяя метод электрофореза, и разделенные фрагменты переносили на нитроцеллюлозные фильтры, которые затем инкубировали с раствором радиоактивной ДНК-пробы. ДНК-пробу и клеточную ДНК подвергали денатурации; это означает, что и в той, и в другой ДНК две комплементарные цепи, которые образуют двуспиральную молекулу ДНК, разделялись. Поскольку проба *c-myc* и соответствующий ген человека почти идентичны, меченые цепи пробы *c-myc* гибридизовались с геном *c-myc* клетки, т.е. одиночные цепи ДНК-пробы соединялись с комплементарными им цепями клеточной ДНК. Затем отмывали раствор радиоактивной пробы, и на фильтрах оставалась только та часть ДНК-пробы, которая образовала гибриды. После этой процедуры отмывки клетку, генетический материал которой гибридизуется с радиоактивной пробой, можно отличить по специфической радиоактивной полосе, которая вывядается на фильтре, несущем разделенные фрагменты ДНК.

С помощью ДНК-пробы мы исследовали гибриды клеток мыши и клеток человека, чтобы определить локализацию в хромосомах гена *c-myc* человека. Вначале мы изучали гибридные клетки с нормальными хромосомами человека и установили, что 8-я хромосома человека присутствовала во всех клетках, содержащих онкоген *c-myc*, и отсутствовала в тех клет-



МОЛЕКУЛА ИММУНОГЛОБУЛИНА состоит из двух идентичных пар белковых цепей, формирующих Y-образную структуру. В каждой паре одна цепь тяжелая, вторая легкая, и каждая цепь содержит варибельную и константную области. В большинстве случаев лимфома Беркитта бывает вызвана транслокациями онкогена в локус, кодирующий тяжелые цепи; это заболевание может быть также обусловлено транслокациями, в которых участвуют гены константных областей легких цепей.

ках, в которых его не было; мы сделали вывод, что онкоген *c-myc* локализован в 8-й хромосоме.

Затем мы исследовали гибридные клетки, полученные при слиянии клеток мыши и клеток лимфомы Беркитта человека, содержащие 8-ю и 14-ю хромосомы с транслокациями. Мы обнаружили, что онкоген *c-myc* располагается в небольшом сегменте 8-й хромосомы, который в клетках лимфомы Беркитта с транслокацией между 8-й и 14-й хромосомами неизменно находится в 14-й хромосоме. Это свидетельствовало о том, что транслокации, затрагивающие онкоген *c-myc*, играют важнейшую роль в развитии лимфомы Беркитта.

ИНТЕРЕСНО, что сходные специфические транслокации в хромосомах наблюдали при плазмацитоме у мыши Ш. Охно, Ф. Вьенер и Дж. Спира, работавшие совместно с Клейном в Королевском институте в Стокгольме в сотрудничестве с М. Поттером и его коллегами из Национального института рака. В их работе было установлено, что злокачественные клетки мыши, продуцирующие антитела, содержат характерную транслокацию между 15-й хромосомой и 12-й, которая несет гены тяжелых цепей, или же между 15-й хромосомой и 6-й, которая несет гены легких κ -цепей. Эти данные позволяли предполагать, что в плазмацитоме мыши механизм активации онкогена такой же.

Эксперименты, выполненные не-

сколько позже Кроче, Далла-Фавера и Галло в сотрудничестве с С. Ааронсоном из Национального института рака, а также Ф. Ледером из Гарвардской медицинской школы, показали, что онкоген *c-myc*, транслоцированный в 14-ю хромосому, может быть организован несколькими способами.

Этот онкоген состоит из трех экзонов (сегментов ДНК, с которых транскрибируются РНК, входящие в конечном счете в состав мРНК, кодирующих белки), между которыми располагаются два интрона (сегменты ДНК, которым нет соответствия в мРНК*, так что интроны не принимают участия в кодировании белков). Структуру онкогена проанализировали Далла-Фавера, Галло и их сотрудники, а также Р. Уотт, Дж. Ровера и Кроче в Вистаровском институте. При некоторых транслокациях в клетках лимфомы Беркитта точка разрыва 8-й хромосомы расположена перед онкогеном *c-myc*, и все три его экзона перенесены в 14-ю хромосому. Однако иногда хромосома разрывается после первого экзона и транслоцируются только второй и третий экзоны (см. иллюстрацию на с. 24). В этом случае онкоген присоединен «головой к голове» одного из генов тяжелой цепи иммуноглобулина, т.е. направление транслоцированного ге-

* Интроны тоже транскрибируются, но соответствующие им последовательности РНК удаляются из мРНК в процессе ее «созревания». — Прим. перев.

на и направление генов 14-й хромосомы противоположны.

В других экспериментах было показано, что подобные перестройки происходят и при транслокациях, лежащих в основе плазмацитомы мыши. Это было установлено М. Коулом и его сотрудниками в Медицинском центре Университета в Сент-Луисе и позже Ледером, Кроче в сотрудничестве с К. Марку из Университета шт. Нью-Йорк в Стони-Брук, а также Дж. Адамсом и С. Кори в Институте медицинских исследований Уолтера и Элизы Холл в Мельбурне. В клетках плазмацитомы мыши онкоген *c-myc* расположен «головой к голове» гена тяжелой цепи иммуноглобулина. Однако пока еще не ясно, онкоген ли перенесен в локус генов тяжелых цепей или он сохраняет свое нормальное положение на 15-й хромосоме, а в соседний с ним участок транслоцируется локус тяжелых цепей.

МЫ УСТАНОВИЛИ, что, хотя в клетках лимфомы Беркитта человека происходит несколько различных хромосомных перестроек, белок, кодируемый геном *c-myc*, во всех случаях качественно один и тот же. Мы обнаружили, что первый экзон *c-myc* не участвует в кодировании белка, а кодирующая белок область гена начинается со второго экзона. Из этого следует, что активация онкогенных свойств гена *c-myc* не является результатом перестроек при транслокации,

что злокачественный эффект транслокации не связан с каким-либо изменением внутри гена.

Но если продукт гена *c-myc* и в нормальных клетках, и в клетках лимфомы Беркитта одинаков, какие же последствия хромосомных перестроек вызывают злокачественный рост? Вероятно, транслокация каким-то образом приводит к тому, что экспрессия гена *c-myc* достигает ненормально высокого уровня, тогда как нормальным клеткам требуется незначительное количество белка — продукта *c-myc*.

Другими словами, возможно, что вследствие транслокации на ген *c-myc* перестают действовать механизмы, которые контролируют его экспрессию в норме. Если это действительно так, то должна наблюдаться разница в уровне экспрессии между транслоцированным и нормально расположенным геном *c-myc* в идентичных клетках. Тогда клетки с хромосомой $14q^+$ должны содержать больше мРНК гена *c-myc* (мРНК — промежуточное звено между геном в хромосоме и его экспрессией, т.е. образованием белка), а в клетках с нормальной 8-й хромосомой количество мРНК *c-myc* будет незначительным.

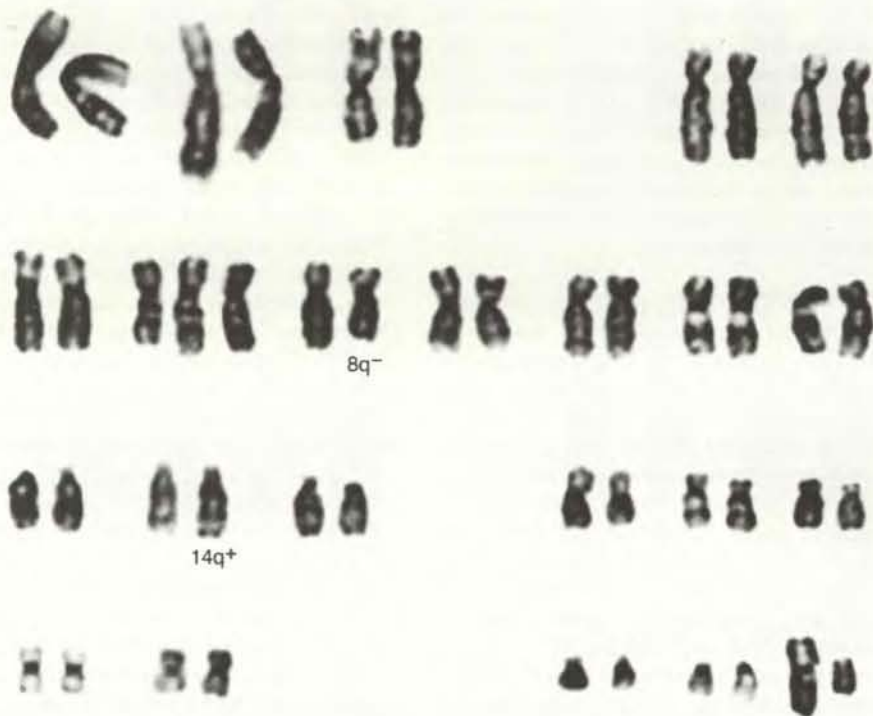
Принимая во внимание такую возможность, К. Нисикура и наши коллеги из Вистаровского института провели дальнейшее исследование гибридов клеток человека и клеток плазмацитомы мыши. С помощью метода,

который позволял отличать мРНК, транскрибированную с гена *c-myc* человека, от мРНК *c-myc* мыши, было обнаружено, что степень экспрессии гена *c-myc*, находящегося в хромосоме $14q^+$, велика, а в нормальной 8-й хромосоме таких же клеток плазмацитомы ген *c-myc* практически не экспрессируется.

В параллельных экспериментах мы вводили в клетки плазмацитомы мыши ген *c-myc* в составе нормальной 8-й хромосомы из нормальных В-клеток человека. Оказалось, что этот ген, который в нормальных В-клетках экспрессируется (хотя и слабо), в клетках плазмацитомы мыши полностью выключается. Адамс и Кори (в других исследованиях) установили, что в клетках плазмацитомы мыши нетранслоцированный ген мыши *c-myc* не экспрессируется. Таким образом, если нормально расположенный (нетранслоцированный) ген *c-myc*, находясь в клетке плазмацитомы мыши, репрессирован, то на онкоген *c-myc*, перенесенный в локус тяжелых цепей иммуноглобулинов на 14-й хромосоме, механизмы, которые в норме регулируют его транскрипцию, по какой-то причине не действуют.

Мы исследовали также мРНК, транскрибированную с гена *c-myc*, в клетках лимфомы Беркитта, в которых произошла иная транслокация: первый экзон гена *c-myc* остался в 8-й хромосоме, а два других экзона транслоцированы и располагаются «головой к голове» относительно генов 14-й хромосомы. (Каждая такая клетка помимо перестроенной содержит и нормальную 8-ю хромосому). В данном случае отличить мРНК транслоцированного гена и мРНК гена в составе нормальной 8-й хромосомы довольно просто: транслоцированный ген претерпел частичную перестройку, поэтому его мРНК изменена. По данным А. ар-Рушди и других наших коллег, в таких клетках велика концентрация мРНК транслоцированного гена *c-myc*, но не нормального его варианта.

Эти результаты указывают на то, что из-за тесного сближения онкогена *c-myc* с генами, кодирующими антитела, его регуляция нарушается. Такой вывод подтверждается и данными о транслокациях, не затрагивающих 14-ю хромосому. В частности, может происходить транслокация между 8-й и 22-й хромосомами; последняя содержит гены легких λ -цепей иммуноглобулинов. Подобная транслокация имеет место также между 8-й и 2-й хромосомами; 2-я хромосома несет гены легких κ -цепей. Как показал Кроче в сотрудничестве с Ноуэллом, а также Г. Ленуаром из Международного агентства раковых исследований



ХРОМОСОМЫ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ТРАНСЛОКАЦИЙ в клетках лимфомы Беркитта, отличаются по длине от нормальных. В данном случае произошла транслокация между одной из хромосом 8-й пары и хромосомой 14-й пары. В результате 8-я хромосома оказалась укороченной, а 14-я удлинненной.

в Лионе, в обоих случаях ген *c-myc* остается в составе 8-й хромосомы, но к нему присоединяется последовательность ДНК, ответственная за образование антител (в первом случае это локус легких λ -цепей, а во втором — κ -цепей). И при той, и при другой транслокации онкоген может активироваться, становясь невосприимчивым к механизмам, регулирующим его экспрессию в норме. Видимо, для усиленной экспрессии онкогена *c-myc* его перемещение не обязательно.

КАКОВА причина нарушения регуляции онкогена *c-myc*, происходящего при описанных выше транслокациях? Ответ на этот вопрос подсказал эксперимент, в котором наблюдалось, что транслоцированный онкоген *c-myc* лимфомы Беркитта репрессирован в гибридных клетках, полученных из фибробластов мыши (клеток соединительной ткани), но активно транскрибируется в гибридных клетках, полученных на основе клеток плазматомы (раковых клеток, продуцирующих антитела). Таким образом, оказывается, что транслокация имеет онкогенный эффект только в клетках, синтезирующих антитела, т.е. в тех клетках, где участки хромосом, необходимые для образования иммуноглобулинов, функционируют особенно активно.

Такие участки хромосом содержат генетические элементы особого типа — усилители транскрипции. Это последовательности ДНК, которые, по-видимому, усиливают эффективность транскрипции определенных генов той хромосомы, в которой они локализованы; они были обнаружены недавно, и о механизме их функционирования известно мало. Группа К. Калейм в Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе, У. Шаффнер с сотрудниками в Цюрихском университете, а также С. Тонегавы и его коллеги в Массачусетском технологическом институте (МТИ) выявили усилители транскрипции в составе участка ДНК, который кодирует один из вариантов константной области тяжелых цепей иммуноглобулинов. Недавние исследования, проведенные в Вистаровском институте, позволяют предполагать, что в локусе тяжелых цепей имеются дополнительные усилители транскрипции. Кроме того, Д. Балтимор и его сотрудники в МТИ обнаружили усилители транскрипции в участке хромосомы, кодирующем константную область легких κ -цепей.

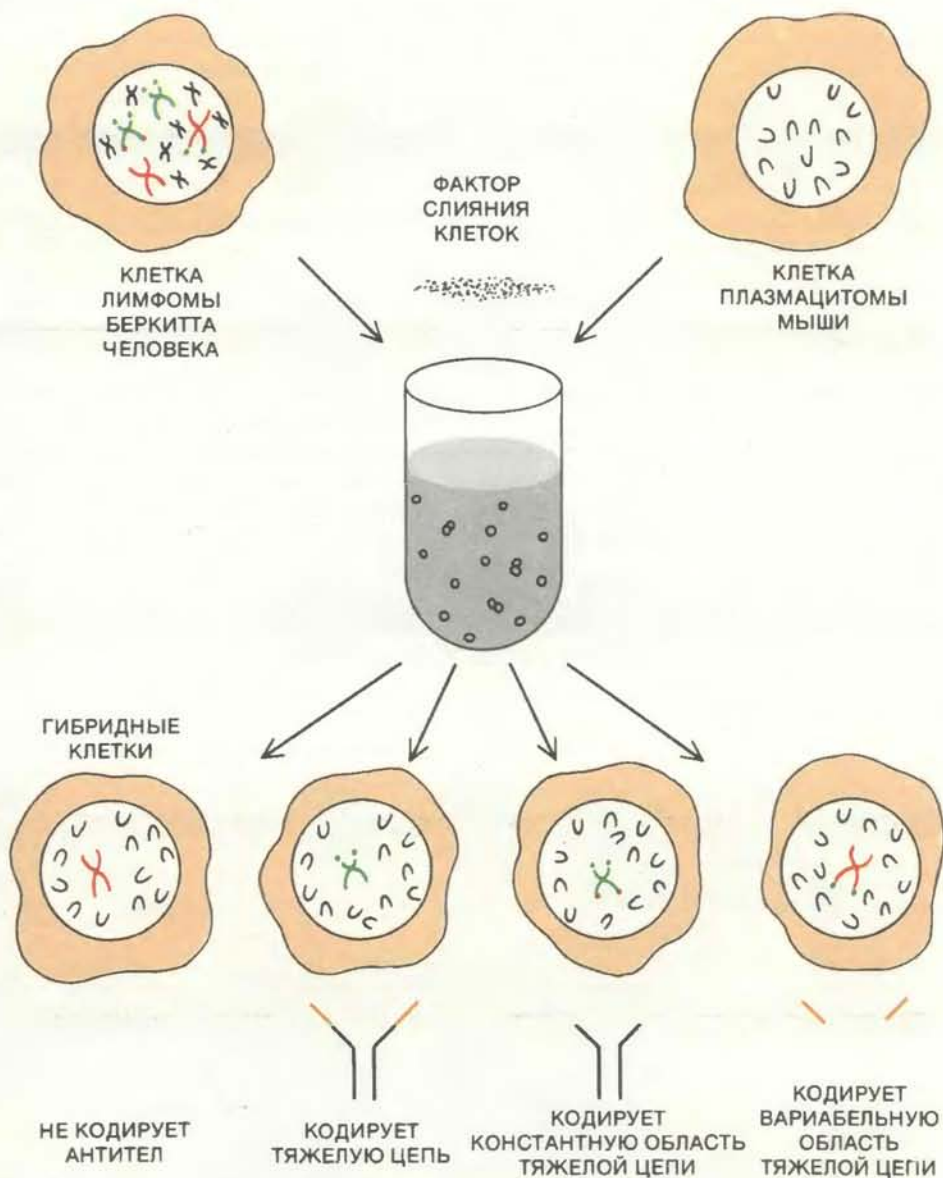
На основании всех этих фактов можно предположить следующий механизм лимфомы Беркитта. В В-клетках вследствие транслокаций онкоген *c-myc* оказывается приближенным к усилителям транскрипции (во-

обще усилители способны активировать транскрипцию на довольно значительном расстоянии от себя). Ген *c-myc* при этом экспрессируется столь же эффективно, как в нормальных В-клетках экспрессируются гены иммуноглобулинов. Синтез продукта гена *c-myc* становится частью специализированной функции клетки.

Есть указания на то, что такой механизм лежит в основе многих других злокачественных заболеваний, затрагивающих иммунную систему человека. Дж. Юнис из Медицинской школы Миннесотского университета разра-

ботал новый метод окраски хромосом, который позволяет с высокой точностью обнаруживать изменения хромосом в раковых клетках. Его результаты, полученные с помощью этого метода, позволяют думать, что для большинства злокачественных изменений В-клеток характерны те или иные перестройки хромосом.

Транслокации между 14-й хромосомой и сегментами 11-й и 18-й хромосом часто встречаются при лимфомах В-клеток у взрослых, при хронических лейкозах В-клеток и при множественной миеломе. В совокупности с на-



ТОЧКА РАЗРЫВА ПРИ ТРАНСЛОКАЦИИ сегмента 14-й хромосомы локализуется в участке, кодирующем тяжелую цепь иммуноглобулина. Путем слияния клеток лимфомы Беркитта человека, содержащих как нормальные, так и перестроенные 8-ю и 14-ю хромосомы, и клеток плазматомы мыши были получены гибридные клетки. В каждой такой клетке сохранилось по одной хромосоме человека. Гибридные клетки с нормальной 8-й хромосомой (красная) не синтезировали антител. Клетки с нормальной 14-й хромосомой (зеленая) продуцировали тяжелые цепи иммуноглобулинов; 14-я хромосома, в которой произошла транслокация, содержала гены только константной области, а перестроенная 8-я хромосома — гены переменной области тяжелых цепей. Очевидно, в ходе транслокации 14-я хромосома разрывается как раз между локусами, кодирующими константную и переменную области иммуноглобулинов.

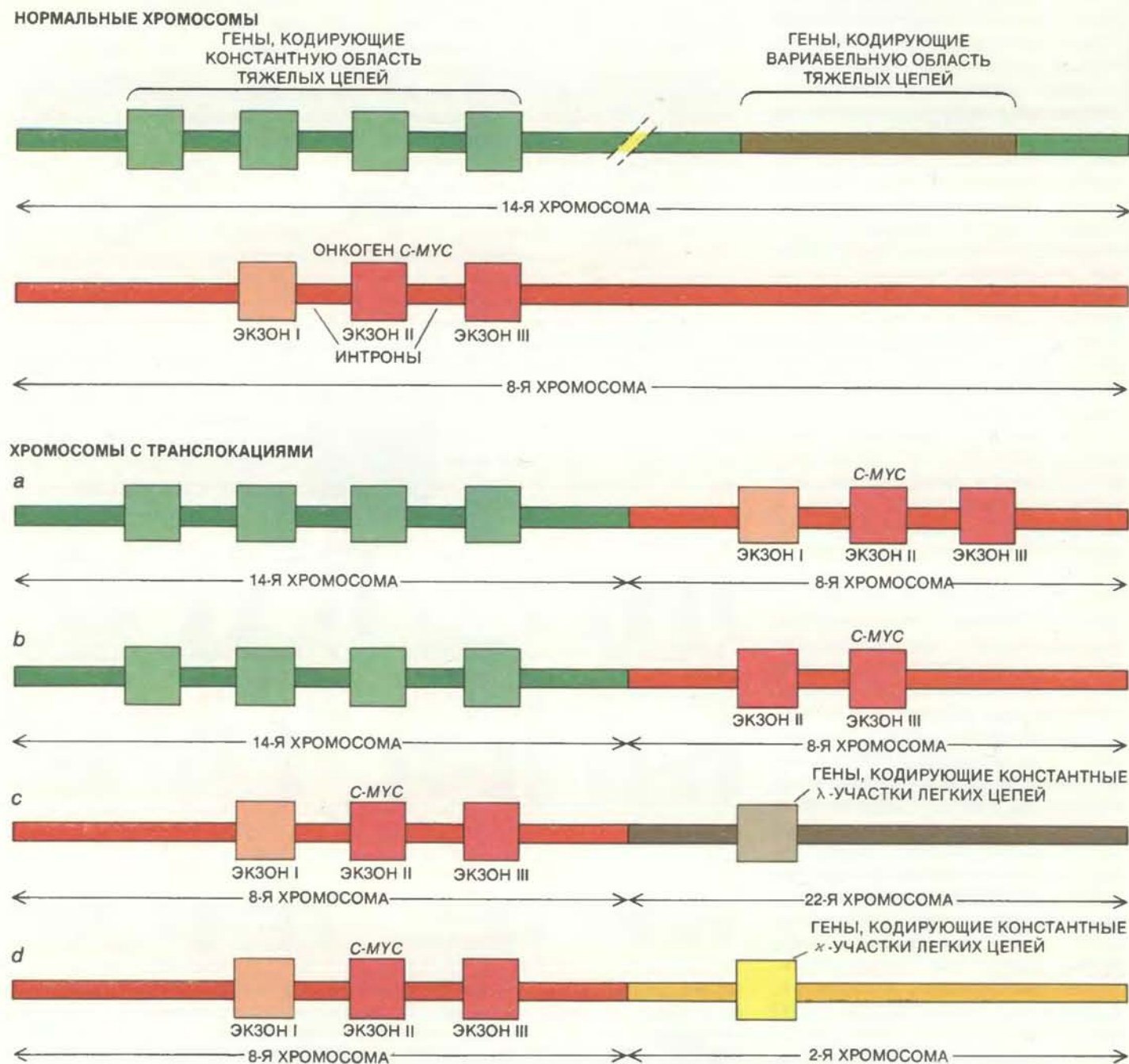
шими знаниями о роли локуса тяжелых цепей иммуноглобулинов, находящегося в 14-й хромосоме, в развитии лимфомы Беркитта это наблюдение дает основания считать, что в 11-й и 18-й хромосомах человека располагаются онкогены; такое предположение подтверждается опытами, проведенными в Вистаровском институте Е. Цудзимото в сотрудничестве с Юнисом и Ноуэллом. Мы установили, что точки разрывов неизменно располагаются в коротких сегментах 11-й и 18-й хромосом, кроме того, они всегда имеются перед участком 14-й

хромосомы, который кодирует константную область тяжелой цепи иммуноглобулина. Два гипотетических онкогена, локализующихся в 11-й и 18-й хромосомах, мы предложили обозначать *bcl-1* и *bcl-2* (сокращения английского словосочетания B-cell lymphoma/leukemia, что означает лимфома/лейкемия В-клеток).

НАБЛЮДЕНИЯ, сделанные при изучении лимфомы Беркитта, открывают два основных направления исследований. Первая задача — установить природу усилителей транскрип-

ции. Каковы конкретные последовательности ДНК, образующие усилитель? Каким образом они усиливают транскрипцию строго определенных генов? Второе направление — изучение онкогена *c-myc*. В чем заключается функция гена *c-myc* в нормальной клетке и почему усиленная его экспрессия неизбежно вызывает злокачественную трансформацию?

Наша работа создает предпосылки для новых экспериментальных подходов к исследованию неопластических изменений В-клеток. Многие злокачественные заболевания связаны с



РАЗНООБРАЗНЫЕ ТРАНСЛОКАЦИИ могут приводить к лимфоме Беркитта. В наиболее распространенном случае (a) все три экзона онкогена *c-myc* перемещаются из 8-й хромосомы в 14-ю хромосому и оказываются рядом с генами, кодирующими константную область тяжелых цепей антител. В другом случае (b) 8-я хромосома разрывается в первом интроне онкогена и в 14-ю хромосому переносятся

только два экзона. При некоторых транслокациях онкоген *c-myc* остается в 8-й хромосоме, но к нему подсоединяются гены константной области легких цепей иммуноглобулинов. В одном из таких случаев (c) гены, кодирующие константную область λ -типа, транслоцируются из 22-й хромосомы; в сходной транслокации могут принимать участие и гены константных κ -участков из 2-й хромосомы (d).

транслокацией неизвестного онкогена в локус тяжелых цепей иммуноглобулинов в 14-й хромосоме. Локус тяжелых цепей изучен довольно подробно, и имеются ДНК-пробы, позволяющие исследовать прилегающие к нему участки ДНК. Поскольку в результате транслокации онкоген, как правило, оказывается в непосредственной близости от локуса тяжелых цепей, эти ДНК-пробы могут служить инструментом для идентификации, выделения и характеристики генов, имеющих отношение к развитию большинства раковых заболеваний, поражающих В-клетки у человека. На этом пути исследований применение знаний о генетических механизмах, определяющих биосинтез антител, приведет к выяснению генетической структуры новых выделенных онкогенов.

На основе исследования хромосомных транслокаций могут быть также разработаны новые методы диагностики и изучения раковых заболеваний иммунной системы. Например, точки разрыва хромосом в злокачественных В-клетках с транслокациями между 11-й и 14-й или 14-й и 18-й хромосомами располагаются в пределах сравнительно коротких участков ДНК. Поэтому возможно создание ДНК-проб, специфичных по отношению к этим небольшим сегментам. С помощью таких проб в образце ткани, взятом из пораженной области организма, можно будет точно определить, какая хромосомная перестройка вызвала данное раковое заболевание.

Судя по самым последним данным, знания о злокачественных изменениях В-клеток применимы также к Т-клеткам — второму важнейшему компоненту иммунной системы. Кроме в сотрудничестве с Ровера, а также с М. Дэвисом из Станфордского университета обнаружили, что ген α -цепи рецептора Т-клеток локализован в том районе 14-й хромосомы, который участвует в некоторых транслокациях, характерных для определенных видов рака Т-клеток.

Таким образом, значение установленного в наших работах механизма, лежащего в основе лимфомы Беркитта, выходит за рамки этого конкретного заболевания. По-видимому, транслокации при лимфоме Беркитта могут служить моделью большинства злокачественных заболеваний В-клеток, а возможно, также и Т-клеток. Кроме того, выяснение механизма транслокации приведет к быстрому прогрессу в изучении не только других видов рака, но и механизмов контроля генетической экспрессии при нормальном развитии и функционировании иммунной системы человека.

Вымершие гены

ЭВОЛЮЦИОННАЯ история видов может быть восстановлена на основании анализа ДНК. Из тканей животного одного вида выделяются фрагменты генетического материала и сравниваются с фрагментами ДНК другого вида. Степень совпадения последовательностей нуклеотидов является мерой того, насколько давно в ходе эволюции разошлись данные два вида. Как следует из статьи, опубликованной в журнале "Nature" сотрудниками лаборатории А. Уилсона в Калифорнийском университете в Беркли, такой подход возможно применить не только к ныне живущим, но и к исчезнувшим видам. Авторам удалось определить последовательность нуклеотидов в двух небольших фрагментах ДНК квагги — одного из видов зебр, который был истреблен еще к 1883 г.

Р. Хигути и его коллеги провели анализ на небольшом сохранившемся образце мышечной ткани квагги, погибшей более 140 лет назад. Извлеченная из него ДНК была не ядерной, а митохондриальной. (Митохондрии — это небольшие окруженные мембраной клеточные органеллы; в них имеется собственная ДНК и происходит часть метаболизма клетки.) Организм получает митохондрии и соответственно митохондриальную ДНК непосредственно от материнской половой клетки. Так как в животное по-

реходит митохондриальная ДНК только от одного родителя, а не от двух, то в отличие от ядерной ДНК она не «перетасовывается» при передаче от поколения к поколению. Поэтому изменения в ДНК митохондрий могут служить своего рода эволюционными часами.

Хигути и его коллеги определили последовательность нуклеотидов в двух фрагментах (длиной 117 и 112 нуклеотидов) митохондриальной ДНК из тканей квагги. Сравнив эти фрагменты с аналогичными участками ДНК из митохондрий современной горной зебры, ученые обнаружили разницу только в 12 «точках» нуклеотидной последовательности; в молекулах же белков, кодируемых этими участками ДНК, обнаруженные различия должны были привести к замене лишь двух аминокислот. По-видимому, у квагги и горной зебры был общий предок. Предварительные результаты, полученные на ДНК других видов зебр, свидетельствуют о том, что, например, бурчеллова зебра, возможно, является еще более близким родственником квагги. Сотрудники лаборатории Уилсона хотели определить, действительно ли квагга и горная зебра ближе к настоящим лошадям, чем к другим видам зебр (бурчелловой зебре и зебре Грэви), как предполагает Д. Беннет из Канзасского университета. Хигути считает, что результаты их работы опровергают эту гипотезу.



Квагга — вид зебры, после 1883 г. более не существующий. Ученым удалось клонировать один из ее генов.

Скрытые измерения пространства-времени

Пространство-время, которое обычно считают четырехмерным, может иметь семь дополнительных измерений. Такие одиннадцатимерные математические конструкции, которые изучаются в настоящее время, могли бы послужить основой для единого описания четырех фундаментальных сил природы

ДАНИЭЛ З. ФРИДМАН, ПИТЕР ВАН НЬОВЕНХОЙЗЕН

ЧЕРЕЗ всю Атлантику от Западной Африки до севера Бразилии протянулась тень полного солнечного затмения, происшедшего 29 мая 1919 г. Научные экспедиции, организованные британским правительством по настоянию сэра Артура Стенли Эддингтона, были готовы к наблюдениям звезд вблизи померкнувшего солнечного диска. Одной из главных целей Эддингтона была проверка новой теории тяготения, созданной Альбертом Эйнштейном четырем годами ранее. Эта теория известна под названием «общая теория относительности» (ОТО). В ней Эйнштейн выдвинул поразительный по своей глубине тезис, что геометрия Вселенной определяется распределением в ней вещества и энергии. Более точно, ОТО утверждает, что пространство и время объединяются в единую математическую конструкцию, называемую пространством-временем. Силы тяготения интерпретируются как проявление так называемой внутренней кривизны пространства-времени.

Наблюдатели солнечного затмения намеревались проверить одно из предсказаний теории искривленного пространства-времени. Согласно ОТО, звездный свет в окрестности Солнца должен был бы искривить свой путь из-за сил тяготения, действующих на него со стороны Солнца. Поэтому когда солнечный диск приближается к какой-то звезде, она должна казаться смещенной относительно своего обычного положения на небе. Для проверки ОТО необходимо было дожидаться солнечного затмения, поскольку только тогда можно увидеть звезды вблизи Солнца. Результаты наблюдений солнечного затмения 1919 г. принесли Эйнштейну всемирную известность. Смещения звезд совпали с предсказаниями теории, так что успех эйнштейновского

геометрического подхода в теории гравитации был подтвержден впечатляющими экспериментами.

Работы Эйнштейна дали толчок еще более смелым приложениям его основной идеи. В том самом году, когда концепция 4-мерной Вселенной подтвердилась наблюдениями астрономов, Теодор Франц Эдуард Калуца, в то время никому не известный приват-доцент университета в Кенигсберге (ныне г. Калининград, СССР), отправил Эйнштейну свою работу. В ней Калуца предлагал дополнить четыре измерения пространства-времени пятым, пространственным измерением.

При введении пятого измерения целью Калуцы было добиться единого описания всех известных в то время фундаментальных взаимодействий: гравитационного, описываемого ОТО, и электромагнитного, теория которого была создана Джеймсом Клерком Максвеллом и другими исследователями. Эти взаимодействия представлялись абсолютно различными. Скажем, тяготению подвержены любые частицы, но только те из них, которые электрически заряжены, испытывают влияние электромагнитных сил. В 1914 г. Гуннар Нордстрём из Университета в Гельсингфорсе (ныне г. Хельсинки) попытался дать единое описание столь различных сил, показав, что обе они вытекают из 5-мерного варианта теории электромагнетизма. От подхода, использованного Нордстрёмом, пришлось отказаться, поскольку на его основе невозможно было объяснить отклонение света вблизи Солнца. Калуца показал, что обе фундаментальные силы появляются из 5-мерного варианта ОТО.

В последнее десятилетие у многих физиков возродился интерес к предложенному Калуцей геометрическому способу объединения фундаменталь-

ных взаимодействий природы. Поскольку теперь известны четыре таких взаимодействия, то следует рассматривать геометрические конструкции, имеющие более пяти измерений. Два дополнительных фундаментальных взаимодействия — это сильное ядерное взаимодействие, благодаря которому протоны и нейтроны связаны в атомных ядрах, и слабое ядерное взаимодействие, ответственное за некоторые виды радиоактивного распада частиц. Более того, теперь общепризнано, что в любой схеме объединения сил природы должны учитываться квантовомеханические эффекты. Одним из самых захватывающих событий на пути геометризации сил природы стало появление теоретической модели, называемой супергравитацией. Хотя в рамках супергравитации имеется ряд различных возможностей для числа измерений пространства-времени, наиболее элегантно с математической точки зрения выглядит теория в пространстве-времени 11-ти измерений.

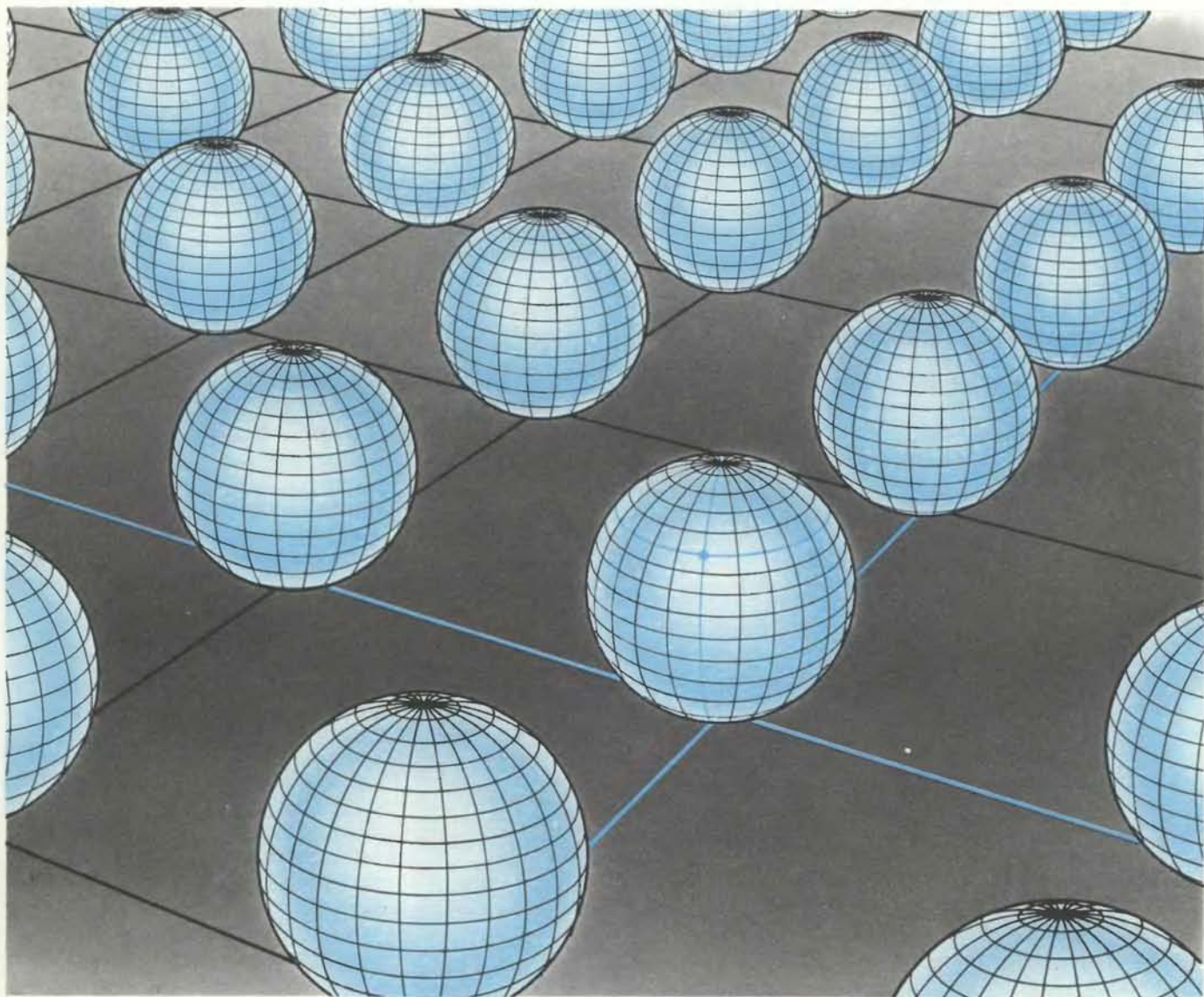
Для чего нужны 11 измерений? Это число есть результат любопытного математического совпадения. Теории супергравитации можно сформулировать в пространстве-времени любой размерности, не превышающей 11 (похоже, что при числе измерений 12 и выше такие теории просто не существуют). С другой стороны, 7 — это минимальное число скрытых измерений пространства-времени, допускающих включения в теорию типа теории Калуцы трех негравитационных сил. Вместе с четырьмя обычными измерениями пространства-времени семь скрытых измерений должны привести к 11-мерной Вселенной. Замечательно, что математические ограничения в супергравитации совпадают с физическими ограничениями, накладываемыми существованием фундаментальных сил.

Общая теория относительности

Теория Эйнштейна венчает достижения классической физики. По своей сути супергравитация, как и любая другая теория, основанная на геометрическом подходе Калуцы к объединению сил природы, является расширением представлений ОТО. На создание ОТО у Эйнштейна ушло 9 лет. Теория тяготения должна была согласовываться со специальной теорией относительности и с известным со

времен Галилея экспериментальным фактом, что все тела в гравитационном поле движутся по одним и тем же траекториям. Поскольку траектория свободно падающего тела не зависит от его массы и внутреннего строения, Эйнштейн пришел к заключению, что движение тела под действием силы тяжести связано со свойствами самого пространства-времени. Затем он показал, что гравитационные силы можно интерпретировать как проявление такого свойства пространства-времени, как кривизна.

Чтобы понять эту точку зрения, представим себе поверхность сферы. Она двумерна, так как для определения положения точки на ней нужно задать две координаты, например долготу и широту. Самый короткий путь, который целиком лежит на сфере и соединяет какие-то две ее точки, представляет собой часть дуги большого круга, проведенного через эти две точки. Этот фундаментальный геометрический факт постоянно находит практическое применение при определении оптимальных трасс для



СЕМЬ СКРЫТЫХ ИЗМЕРЕНИЙ Вселенной, предложенных теорией, в которой предпринимается попытка объединить фундаментальные взаимодействия в природе. Их можно изобразить в виде небольших компактных образований наподобие сферы, ассоциируемых с каждой точкой пространства и каждым моментом времени. В общей теории относительности пространство и время объединяются в единую конструкцию, называемую пространством-временем. Астрономические наблюдения показывают, что в больших масштабах пространство-время имеет почти плоскую, т.е. евклидову, геометрию. На рисунке плоскость изображает геометрию обычного пространства-времени;

координатные линии вдоль одной оси представляют пространство, а вдоль другой оси — время. В пересечениях координатных линий изображены сферы, представляющие скрытые, свернутые измерения, существование которых постулируется в новой теории. Рисунок может дать только общее представление о структуре теории: надо представить, что сферы касаются плоскости в каждой ее точке. Изображенные сферы и плоскость порождают всего лишь 4-мерную конструкцию вместо 11-мерной. Эти четыре измерения суть четыре координаты, которые нужно задать для определения положения произвольной точки (выделена цветом).

авиалиний. Можно также представить себе поверхность, покрытую «рябью», т.е. более сложную, нежели гладкая сфера. Однако и в этом случае существует кратчайший путь, соединяющий любые две точки на поверхности. Такой путь называется геодезической линией (название происходит от греческого слова *geodaisia*, означающего «землеразделение»).

В ОТО пространство-время является 4-мерным аналогом такой «рябой» поверхности. Пространство-время 4-мерно, поскольку для определения в нем положения точки требуется задать четыре координаты. Точка в пространстве-времени может быть физическим событием, например столкновением двух частиц. Событие определяется тремя его пространственными координатами и одной временной координатой. Геодезическая линия в пространстве-времени является аналогом геодезической на двумерной поверхности. Это — путь в пространстве-времени между двумя какими-то событиями, выделенный из прочих возможных путей геометрией пространства-времени. Согласно ОТО, любая частица, испытывающая действие только гравитационных сил, движется в пространстве-времени по геодезической линии.

Этим ОТО объясняет наблюдения Галилея, что все свободно падающие тела движутся по одним и тем же траекториям.

Единая теория Калуцы

Поскольку для единого описания сил природы Калуца использовал подход, развитый в ОТО, он послал свою работу Эйнштейну с тем, чтобы получить от него рекомендацию. В то время научная статья могла появиться в печати только с одобрения одного из известных физиков. Занимая скромную должность приват-доцента, Калуца не имел достаточного влияния. Он располагал средствами лишь в пределах небольших гонораров, получаемых от студентов, посещавших его лекции. Эйнштейн, также начинавший свою карьеру приват-доцентом, сразу заинтересовался работой Калуцы, однако, прежде чем рекомендовать статью к публикации, он предложил автору поработать над рядом теоретических вопросов. Через два с половиной года Эйнштейн передумал и послал Калуце открытку с предложением о публикации. Работа появилась в 1921 г. в журнале «*Sitzungsberichte der Berliner Akademie*» под названием «К проблеме единства

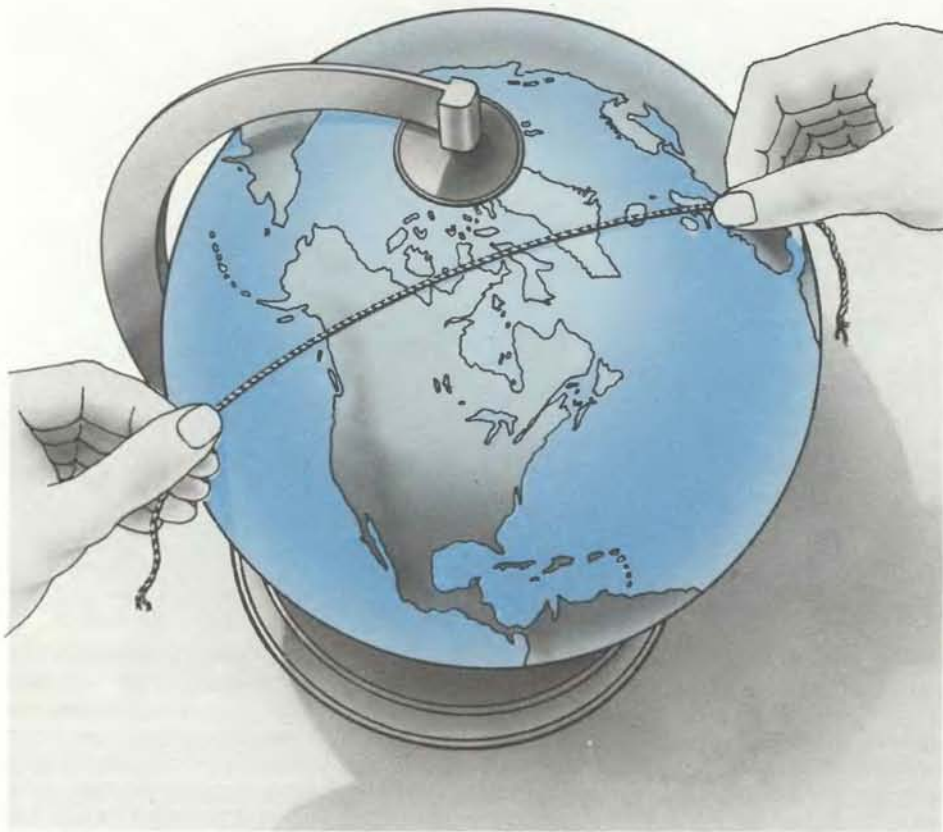
физики»*.

Поиск единого описания физических явлений, внешне между собой не связанных, всегда был важным направлением физических исследований. Как мы уже упоминали, в теории Калуцы обычные силы электромагнетизма и тяготения следуют из 5-мерного варианта ОТО. Чтобы объяснить тот факт, что мы не наблюдаем пятое измерение, Калуца просто предположил, что такие величины, как кривизна, не зависят от пятой координаты. Частицы движутся по геодезической линии в пространстве пяти измерений, но в нашем 4-мерном мире их путь выглядит как путь частицы, подверженной комбинированному действию гравитационных и электромагнитных сил.

С современных позиций главный недостаток теории Калуцы состоит в том, что тяготение и электромагнетизм не являются, как мы теперь знаем, единственными фундаментальными взаимодействиями в природе. Сильные и слабые ядерные взаимодействия еще не были известны в 1919 г. Их действие проявляется лишь на очень малых расстояниях, сравнимых с диаметром ядер, а в те времена еще не существовало ускорителей, позволяющих «прощупать» столь короткие расстояния.

Однако уже во время появления статьи Калуцы в печати явственно выступал другой недостаток его теории: в ее рамках невозможно было описать целый ряд явлений, которые известны ныне как квантовомеханические эффекты. Сам Калуца вполне сознавал этот недостаток. В заключение своей работы он писал: «Вообще, любой теории, претендующей на универсальность, угрожает сфинкс современной физики — квантовая теория». Тем не менее в теории Калуцы, равно как и в ОТО, классический (т.е. детерминистический и механистический) взгляд на мир считался само собой разумеющимся.

С классической точки зрения все физические объекты, включая мельчайшие элементарные частицы, выглядят, как маленькие пули, подверженные действию одной или нескольких фундаментальных сил. Для крупномасштабных явлений такая точка зрения вполне приемлема, но она совершенно не годится при описании явлений, происходящих в атомных масштабах. К 1919 г. уже стали очевидными многочисленные неудачи классических теорий при объяснении



ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ЛИНИИ НА СФЕРЕ — это кратчайшее расстояние между двумя точками, измеряемое по поверхности сферы. На глобусе геодезической линией является короткая дуга большого круга, проведенного через заданные две точки. Ее можно определить, натягивая шнур между этими точками.

* Русский перевод см. в сборнике: Альберт Эйнштейн и теория гравитации. — М.: Мир, 1979, с. 529—534. — *Прим. перев.*

атомных и субатомных процессов.

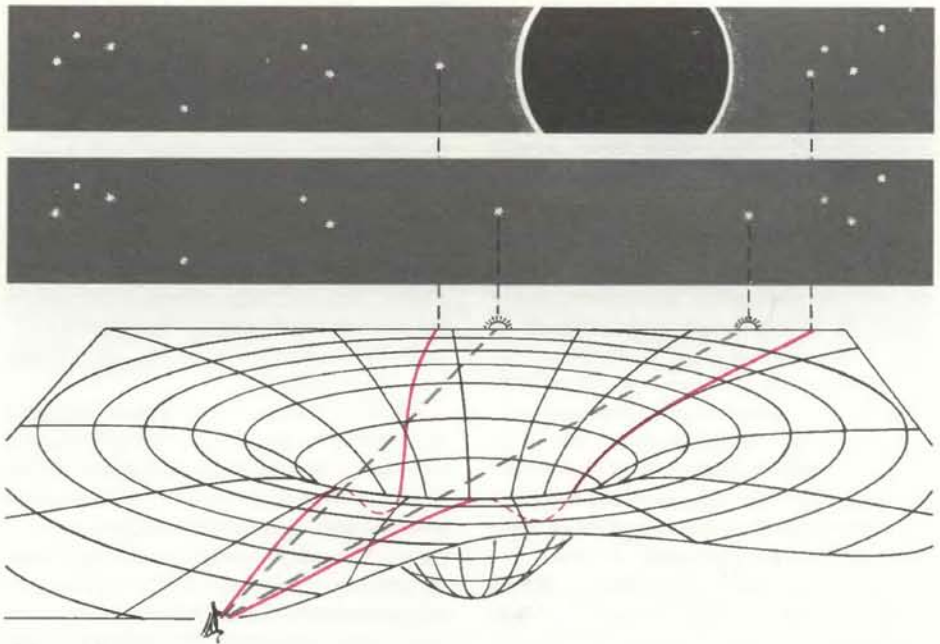
Исторически самый большой «провал» классических теорий связан с попыткой объяснения атомных спектров. Эксперименты показали, что эти спектры представляют собой дискретные линии, соответствующие определенному набору частот (или цветов), характерных для данного атома. Однако по классической теории атом должен испускать свет с любыми частотами, поскольку, согласно этой теории, электрон, вращающийся по орбите, должен непрерывно двигаться по спирали по направлению к ядру. Это быстро привело бы к столкновению его с ядром, так что вещество в том виде, каким мы его знаем, просто не могло бы существовать.

Решение этой головоломки и прочих трудностей привело к развитию квантовой механики, в которой отброшен строгий детерминизм классической теории. Спиральные траектории движения электронов вокруг ядра были заменены набором волн в пространстве-времени. Интенсивность волн определяет вероятность обнаружения электрона в данной точке.

Стационарные волновые конфигурации соответствуют долгоживущим состояниям движения электрона, каждое из которых характеризуется определенной энергией. Совершая внезапный переход из одного состояния в другое, электрон испускает свет строго определенной частоты. Состояния движения с наименьшим из разрешенных значений энергии стабильны, так что атомы в квантовой теории не коллапсируют, как это предсказывала классическая теория. Волновые конфигурации электронов возникают в теории как решения дифференциального уравнения, сформулированного Эрвином Шредингером. В этом уравнении переменными являются и время, и три пространственные координаты.

Пятое измерение

В 1926 г., еще на заре квантовой эры, шведский физик Оскар Клейн решил выяснить, совместима ли квантовая механика с 5-мерной теорией Калуцы. Клейн предложил модификацию уравнения Шредингера, в котором было пять переменных вместо четырех. Им было показано, что решения этого уравнения можно интерпретировать как волны, распространяющиеся в обычном 4-мерном пространстве-времени, но в присутствии гравитационного и электромагнитного полей. Как обычно в квантовой механике, волнам можно поставить в соответствие определенные состояния



ОТКЛОНЕНИЕ ЛУЧА СВЕТА, испущенного звездой и проходящего вблизи Солнца. Этот эффект был предсказан общей теорией относительности. Согласно теории, масса Солнца искривляет геометрическую структуру пространства-времени в непосредственной окрестности Солнца, что изображено на рисунке искривлением координатной сетки. Луч должен распространяться по геодезической линии пространства-времени; луч зрения в направлении на звезду изгибается (показано цветом), когда звезда находится вблизи солнечного диска в своем видимом положении на небе. Если наблюдать за такими звездами во время солнечного затмения, они будут казаться смещенными в сторону от Солнца. Серые пунктирные линии — лучи зрения, когда поблизости нет Солнца.

движения частиц. Теперь теорией Калуцы — Клейна называют любую квантовую теорию, пытающуюся объединить фундаментальные силы в пространстве-времени, имеющем более четырех измерений.*

В оригинальных работах Калуцы и Клейна трудно понять, следует ли рассматривать пятое измерение как некую физическую реальность или же это математический трюк, изобре-

тенный для получения единым путем гравитации и электромагнетизма. Привлечение квантовой механики, однако, позволяет дать правдоподобные ответы на некоторые вопросы относительно физической реальности дополнительных измерений. В каком смысле новые измерения имеют реальную физическую основу? Почему такое фундаментальное свойство Вселенной до сих пор не обнаружено экспериментально? Как это можно сделать?

Чтобы приступить к ответам на эти вопросы, представим линию бесконечной длины, с каждой точкой которой связана маленькая окружность. Если такая окружность действительно построена в каждой точке линии, то получившаяся конструкция является просто бесконечным цилиндром. В таком случае говорят, что одномерная линия и одномерная окружность порождают двумерный цилиндр.

Подобным образом можно создать 4-мерную конструкцию из 2-мерной плоскости и 2-мерной сферы. Ее можно представить как плоскость, в каждой точке которой стоит сфера. Конструкция 4-мерна, так как для определения какой-либо точки на ней нужно задать две координаты на плоскости и две координаты на сфере (см. рисунок на с. 27).

* В развитие 5-мерной теории Калуцы — Клейна внесли также вклад советские ученые В. А. Фок и Г. А. Мандель. В монографии «Исследования по 5-оптике» (Гостехиздат, М., 1956) Ю. Б. Румер пишет: «Независимо от Т. Калуцы к идее 5-мерного обобщения теории тяготения пришел Г. А. Мандель (1926), развивший эту идею значительно дальше Т. Калуцы. В 1926 г. в связи с открытием волновой механики появились две сходные по содержанию работы О. Клейна и В. А. Фока, означавшие значительный шаг вперед. Отметим, что Клейн заимствовал идею 5-мерия у Калуцы, а В. А. Фок — у Манделя. Обоим авторам удалось показать, что траектория заряженной частицы может быть строго интерпретирована как геодезическая линия. . . в 5-мерном пространстве. . .» Последнее означает, что было выполнено пожелание А. Эйнштейна, высказанное им во втором из приводимых в статье писем к Т. Калуце. — *Прим. перев.*

В предыдущих двух примерах линия и плоскость символизируют почти плоскую геометрию 4-мерного пространства-времени, в котором мы живем. Окружность и сферическая поверхность представляют собой экстра-измерения, т.е. измерения пространства-времени высшей размерности. 5-мерное пространство-время порождается окружностью и обычным 4-мерным пространством. Одну из возможных конструкций 6-мерного пространства-времени можно представить себе как сочетание обычного пространства-времени и сферической поверхности. Во всех случаях постоянно присутствуют окружность или сфера, связанные с каждой точкой пространства и с каждым моментом времени.

Теперь можно объяснить, каким образом пятое измерение в пространстве-времени теории Калуцы может быть физически реальным и все же оставаться до сих пор не обнаруженным. Одной из фундаментальных концепций квантовой механики является принцип неопределенности Вернера Гейзенберга. Каждую частицу можно представить в виде волнового пакета, занимающего некоторую область в пространстве. Согласно принципу неопределенности, минимальный размер этой области зависит от энергии частицы — чем больше энергия, тем меньше размер области.

Для наблюдения мельчайших объ-

ектов в пространстве обычно пользуются микроскопом. В сущности, это инструмент, который освещает объект фотонами, электронами или пучками других частиц. Разрешающая способность микроскопа, т.е. минимальная область, которую он может осветить, зависит, как это следует из принципа неопределенности, от энергии используемых для освещения частиц. Чем меньше объект, который мы хотим разглядеть, тем выше должна быть энергия частиц, которыми мы его освещаем.

Предположим, что пятое измерение свернуто в исключительно малую окружность. Чтобы обнаружить эту окружность, энергия освещающих ее частиц должна быть достаточно велика. Частицы низких энергий распределяются по окружности равномерно, и ее нельзя будет обнаружить. Самые мощные ускорители создают пучки частиц, обеспечивающие разрешающую способность 10^{-16} см. Если окружность в пятом измерении имеет меньшие размеры, то обнаружить ее пока невозможно.

Массивные частицы

Чтобы сделать определенные выводы о существовании пятого измерения, можно воспользоваться менее прямым способом. Подобно тому как стационарные волновые образования в атоме соответствуют долгоживущим состояниям движения электро-

на, стационарные волны на окружности в пятом измерении соответствуют частицам, которые в принципе можно обнаружить в лаборатории. Волновой пакет должен целиком поместиться на окружности. Следовательно, либо амплитуда волны должна быть постоянной, либо по длине окружности должно уложиться целое число колебаний (см. рисунок на с. 32).

Масса каждой частицы зависит от длины волны, которая равна длине окружности, деленной на число колебаний волны, помещающейся на ней. Чем короче длина волны, тем больше ее энергия и тем больше масса сопоставляемой волне частицы. В теории Калуцы частицам с минимальной массой сопоставляется бесконечная длина волны. Другими словами, амплитуда таких волн в пятом измерении постоянна. Масса таких частиц равна нулю.

Первая массивная частица — это та, длина волны которой равна длине окружности; ее масса обратно пропорциональна размеру окружности. Масса следующей частицы в два раза больше массы первой, так как этой частице соответствует волна, два раза укладываемаясь вдоль окружности в пятом измерении. Таким образом, разрешенному набору стационарных волн можно сопоставить целое семейство частиц с массами, кратными массе первой тяжелой частицы.

Клейн высказал соображения, которые позволяют оценить массу первой тяжелой частицы. Так как теория Калуцы пытается объединить силы гравитации и электромагнетизма, первая тяжелая частица имеет электрический заряд, который тоже обратно пропорционален длине окружности. Заряды всех наблюдаемых частиц есть целые кратные заряду электрона. Если предположить, что первая тяжелая частица несет именно этот заряд, то можно вычислить ее массу. Получающееся значение поразительно велико: масса частицы в 10^{16} раз больше массы протона, что тяжелее, чем 10 000 бактерий. Ни на существующих, ни на будущих ускорителях создать такие частицы невозможно. Однако они могли родиться при Большом взрыве. К настоящему времени большинство из них уже должно было бы распастись, однако некоторые все еще могут быть доступными для наблюдения.

Поскольку в теории Калуцы частицы, обладающие массой, очень тяжелы, то лишь те из них, масса которых равна нулю, могут иметь отношение к частицам, наблюдаемым в опытах. В то время, когда эта теория была впервые сформулирована еще не было известно, что из-за тонких квантовомеханических эффектов у таких ча-

21 апреля 1919 г.

Мысль, что электрическое поле является «искаленной» величиной... также часто и настойчиво преследовала меня. Однако мне никогда не приходило в голову, что это можно получить в 5-мерном цилиндрическом мире; такая идея выглядит совершенно новой. Ваша мысль с первого взгляда очень понравилась мне...

Если при более детальном чтении у меня не появятся серьезных возражений, я буду рад представить Вашу работу в здешней Академии.

28 апреля 1919 г.

Я прочел всю Вашу работу и нашел, что она действительно интересна. Пока я не смог увидеть, почему бы это было невозможным. С другой стороны, я вынужден признаться, что выдвинутые аргументы пока не выглядят достаточно убедительными. Я бы хотел предложить обдумать следующее (возможно, перед тем, как Вы опубликуете свою работу, хотя мне не нравится то, что я позволяю себе подавать Вам советы в таком деле).

В соответствии с Вашей основной идеей следует предположить, что геодезические линии, которые наклонны к сечениям... должны давать траектории электрически заряженных частиц, подвергающихся совместному воздействию гравитационного и электрического полей. Если бы Вы смогли показать, что так и происходит в пределах точности, требуемой нашими эмпирическими знаниями, то Ваша теория почти убедила бы меня.

14 октября 1921 г.

Я поразмыслил относительно того, что два года назад удержал Вас от публикации Вашей идеи объединения гравитации и электричества. Представляется, что Ваш подход в любом случае имеет большее отношение к делу, чем подход Г. Вейля. Если Вы хотите, я наконец, представлю Вашу статью в Академию при условии, что Вы мне ее пришлете.

ПИСЬМА ЭЙНШТЕЙНА Теодору Францу Эдуарду Калуце демонстрируют, как менялось отношение Эйнштейна к идеям Калуцы. Даты показывают, что прошло более двух лет, прежде чем Эйнштейн рекомендовал работу Калуцы к публикации. Работа появилась в печати в 1921 г.

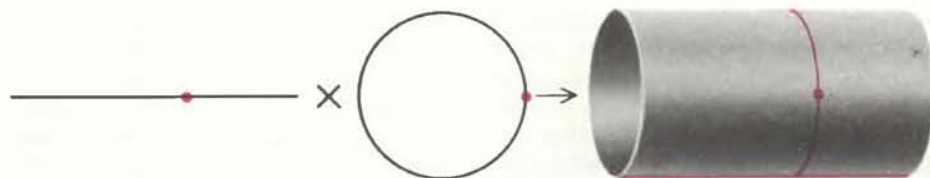
стиц может появиться отличная от нуля масса. Поэтому безмассовые частицы в теории Калуцы и ее обобщениях могут, по крайней мере в принципе, объяснить существование наблюдаемых экспериментально частиц.

Длина окружности в пятом измерении, приводящая к предсказанию тяжелых частиц в теории Калуцы, соответственно очень мала: около 10^{-30} см. Чтобы обнаружить такой объект с помощью инструментов в рамках современной технологии, потребовался бы ускоритель с поперечником в несколько световых лет.

После исследований Клейна и последующих работ Эйнштейна и Вольфганга Паули прогресса в развитии основных идей Калуцы об объединении взаимодействий не наблюдалось. Так продолжалось вплоть до конца 70-х годов. Действительно, до этого времени большая часть работ по объединению взаимодействий опиралась на идеи, не использующие пространства высших размерностей. Различие между двумя этими направлениями можно проследить на примере предложения об объединении гравитации и электромагнетизма, сделанного немецким математиком Германом Вейлем в 1918 г.* Центральная идея теории Вейля заключается в том, что описание сил не должно изменяться при любых изменениях масштабов инструментов — линеек и часов, используемых для измерений в каждой точке пространства-времени. Этот принцип называется калибровочной инвариантностью (от слова «калибр», т.е. измерительный инструмент). Подобные теории называются теориями калибровочных полей, или калибровочными теориями.

Объединение электромагнитных и слабых взаимодействий

Теория Вейля не дала физически правильного описания гравитационных сил, и от нее отказались. Тем не менее принцип калибровочной инвариантности стал точкой опоры для современных теорий элементарных частиц. В 1954 г. Ч. Янг из Университета шт. Нью-Йорк в Стони-Брук и Р. Миллс из Университета шт. Огайо в Колумбусе разработали целый класс теорий, известных как неабелевы калибровочные теории. Эти теории представляют собой важное



ТЕОРИЯ КАЛУЦЫ рассматривает пятое измерение в виде окружности, ассоциированной с каждой точкой обычного пространства-времени. 5-мерную конструкцию, предложенную Калуцей, можно представить себе, если рассмотреть одномерное пространство-время, являющееся простой линией. Тогда конструкция Калуцы является линией, с каждой точкой которой ассоциирована окружность. Иными словами, это — обычный цилиндр. Круговое сечение цилиндра представляет структуру пустого 5-мерного пространства-времени.

обобщение теории электромагнетизма Максвелла, в котором главная роль принадлежит математической теории, описывающей группы симметрии. В теории групп изучаются такие операции, как вращения и зеркальные отражения объектов, при которых их внешний вид остается неизменным. Например, сфера не меняется при любых поворотах относительно ее центра. Группа, в которой отражено это свойство симметрии, называется группой $SU(2)$.

Неабелевыми калибровочными теориями занимались многие теоретики. В 1967 г. Стивен Вайнберг, ныне работающий в Университете шт. Техас в Остине, Абдус Салам из Международного центра теоретической физики в Триесте и Джон Уорд, работающий теперь в Университете Маккуари в Новом Южном Уэльсе (Австралия), применили некоторые важные результаты Питера Хиггса из Эдинбургского университета, Шелдона Ли Глшоу из Гарвардского университета и других ученых, чтобы единым образом описать электромагнитные и слабые взаимодействия в рамках неабелевой калибровочной теории. Некоторые предсказания теории электро-слабых взаимодействий (так она теперь называется) были экспериментально подтверждены в начале 70-х годов, но наиболее эффектное доказательство ее справедливости было получено в 1983 г. в ЦЕРНе (Европейской организации ядерных исследований в Женеве). Там были открыты три частицы, векторные бозоны W^+ , W^- и Z^0 , массы которых точно соответствуют предсказаниям теории электро-слабых взаимодействий.

Эти успехи подтолкнули физиков к созданию другой неабелевой теории, известной как квантовая хромодинамика. Эта теория описывает сильные ядерные взаимодействия. Согласно квантовой хромодинамике, протон и нейтрон состоят из более фундаментальных частиц — кварков. Сильные взаимодействия возникают из-за того, что кварки взаимодействуют с восьмью векторными бозонами, называемыми глюонами. По-видимому,

квантовую хромодинамику также можно считать подтвержденной экспериментами.

Несмотря на то что квантовая хромодинамика и теория электрослабых взаимодействий заметно отличаются друг от друга, три фундаментальных взаимодействия, описываемые ими, могут быть далее объединены в рамках единой неабелевой калибровочной теории, которая включает обе предыдущие и основана на более широкой группе симметрии. Подобные теории называют теориями великого объединения. Их предсказания пока экспериментально не подтверждены, но основные идеи настолько привлекательны, что многие физики полагают, что один из вариантов теорий великого объединения когда-нибудь действительно окажется правильным, и мы получим единое описание сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий.

Однако в теориях великого объединения не рассматриваются гравитационные силы. Поэтому естественно задать вопрос: можно ли соединить теории великого объединения и гравитации на основе идей Калуцы и Клейна о пространствах высших размерностей? Первоначальная теория Калуцы имела дело с 5-мерным пространством-временем, поскольку в ней был только один векторный бозон — фотон, ответственный за перенос электромагнитных сил. Для описания слабых ядерных взаимодействий необходимо еще три недавно открытых бозона, сильные ядерные взаимодействия нуждаются в восьми глюонах, а в теориях великого объединения появляются еще от 10 до 500 дополнительных векторных бозонов; их число зависит от выбранного варианта теории.

Современные теории Калуцы — Клейна

Несмотря на отсутствие однозначного соответствия между числом необходимых векторных бозонов и числом измерений пространства-време-

* См.: Вейль Г. Гравитация и электричество. В сборнике «Альберт Эйнштейн и теория гравитации». — М.: Мир, 1979, с. 513—527. — Прим. перев.

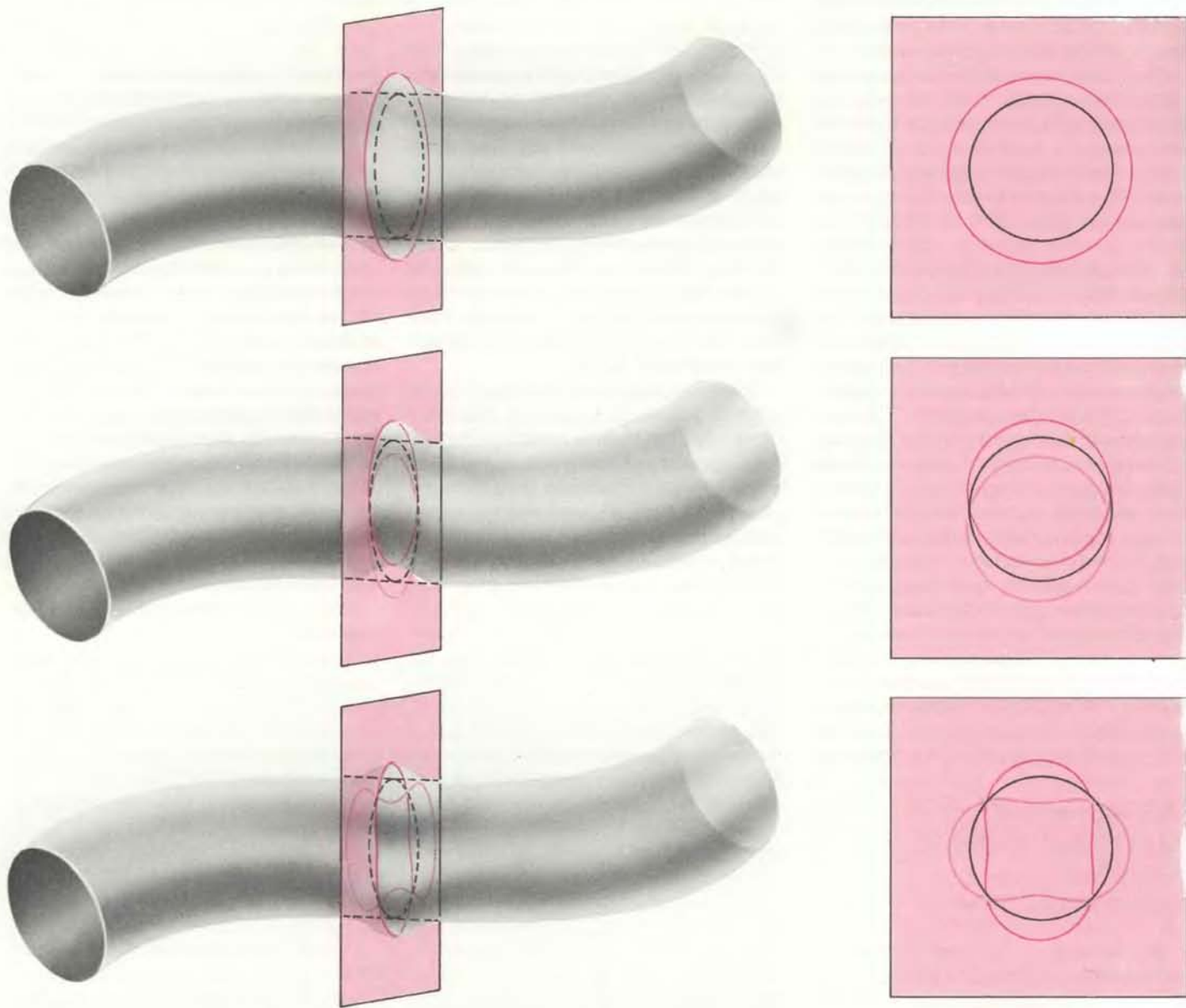
ни, в целом можно считать правильным утверждение, что большее число бозонов приводит к большей размерности пространства-времени. Таким образом, попытка включить сильные и слабые взаимодействия в рамки теории Калуцы — Клейна должна привести к пространству-времени, размерность которого даже больше пяти. Эти дополнительные измерения могут быть физически реальными, но в то же время ненаблюдаемыми, если

считать, что они свернуты в многомерную поверхность, соответствующую окружности в теории Калуцы или сфере в другом нашем примере.

Исследования в этом направлении были начаты недавно в работах Брайса С. де Витта из Университета шт. Техас в Остине, И. М. Чо из Сеульского национального университета, Питера О. Фройнда и Марка Рубина из Чикагского университета, Эжена Креммера, Бернара Джулиа и Джоз-

ла Шерка из Парижского университета, а также Джона Шварца из Калифорнийского технологического института.

Первой проблемой, которая возникает в современных теориях Калуцы — Клейна, является число дополнительных измерений, которые надо ввести в теорию. Поскольку еще не достигнуто согласие относительно того, какой именно вариант теории великого объединения следует считать пра-



ЧАСТИЦЫ в теории Калуцы могут быть сопоставлены свернутому круговому пятому измерению. Согласно квантовой механике, любая частица может быть интерпретирована как волна. Если волна целое число раз укладывается вдоль окружности в пятом измерении, то соответствующая ей частица должна была бы существовать в обычном 4-мерном пространстве-времени. Первый вид волны, которая может быть уложена вдоль окружности, — это волна, значение которой постоянно во всех точках окружности. Если обычное искривленное пространство-время представить кривой линией, многомерное пространство-время, порожаемое этой линией и свернутым пятым измерением, является кривым цилиндром. Волна с постоянной амплитудой выглядит как кольцевой горб на цилиндре (*рисунок вверху*). Его сечение показано вверху справа. Частица, соответствующая такой волне в теории Калуцы, не имеет массы. Второй вид волн испытывает одно колебание

вдоль окружности. Такая волна также выглядит как горб на цилиндре, и ее сечение на самом деле является графиком обычного косинуса, начерченного вдоль окружности, как если бы она являлась горизонтальной осью на обычном графике (*в середине*). Замкнутая фигура, образованная волной, показана темно-красной кривой. Эта фигура прецессирует, или вращается, вокруг окружности, и ее последовательные ориентации показаны светло-красной линией. Теория Калуцы предсказывает, что соответствующая такой волне частица в 10^{16} раз тяжелее протона. Третий и последующие виды волн делят окружность на две, три и более равных частей. Третий вид волн является обычной волной, описываемой косинусом, чья длина волны укладывается вдоль окружности в точности два раза (*внизу*). Соответствующая частица в два раза тяжелее частицы, сопоставленной второму виду волн.

вильным, неизвестно точное число векторных бозонов. Поэтому число дополнительных измерений, требуемых в теории Калуцы — Клейна, остается пока неопределенным.

Вторая проблема связана с объяснением существования наблюдаемых элементарных частиц. В квантовых теориях, таких, как неабелевы калибровочные теории, имеются два класса элементарных частиц — бозоны и фермионы. Мы уже упоминали, что бозоны переносят фундаментальные взаимодействия. Например, с точки зрения квантовой теории силы тяготения между двумя массивными телами возникают из-за непрерывного обмена бозонами, которые называют гравитонами. В результате тела притягиваются друг к другу. В теории Калуцы — Клейна не возникает никаких сложностей с введением бозонов. Гравитационное поле в пространстве-времени высшей размерности непосредственно приводит к появлению бозонов в 4-мерном мире.

Фермионы, образующие второй класс элементарных частиц, играют в физике совершенно иную роль. В отличие от бозонов, которые служат переносчиками взаимодействий, из фермионов построено все вещество во Вселенной. К ним относятся электрон, протон, нейтрон и нейтрино. Кварки, входящие в состав протона и нейтрона, также являются фермионами.

Каким же образом можно объяснить существование фермионов на основе теории Калуцы — Клейна? Их нельзя получить из бозонного гравитационного поля. Единственный способ ввести фермионы в теорию — это добавить в многомерное пространство-время одно или несколько фермионных полей. Эти поля должны затем привести к фермионам, наблюдаемым в нашем 4-мерном мире. Число вводимых фермионных полей не определено, поскольку мы не знаем теоретического принципа, который бы его фиксировал.

Супергравитация

Существует множество интересных модификаций теории Калуцы — Клейна в многомерных пространствах, в которые произвольно добавлены фермионные поля. Однако такой произвол нарушает первозданную простоту основной идеи Калуцы. Хотелось бы иметь теорию, в которой число фермионных полей, равно как и число дополнительных измерений пространства-времени, следовало бы из самой структуры теории.

Примером подобной теории является супергравитация. Самое главное в ней — обобщение ОТО на основе единообразного рассмотрения бозонов и фермионов. Так, гравитон име-

ет в этой теории партнера — фермион, называемый гравитино. В эйнштейновском варианте ОТО можно добавлять или убирать фермионные поля произвольно, но в супергравитации каждому бозону соответствует свой фермионный партнер. Таким образом, в супергравитации с самого начала присутствует определенное число фермионов, необходимых для описания наблюдаемого строения вещества.

На число измерений пространства-времени супергравитация также накладывает определенные ограничения. Как мы отметили выше, по видимому, теории супергравитации не приемлемы, если число измерений превышает 11. В пространствах более высокой размерности нельзя удовлетворить математическим требованиям, обеспечивающим партнерство бозонных и фермионных полей. Более того, Эдвард Виттен из Принстонского университета показал, что к обычным четырем измерениям пространства-времени необходимо добавить по крайней мере семь скрытых измерений для того, чтобы включить в теорию Калуцы — Клейна сильные, слабые и электромагнитные взаимодействия. У теории Калуцы — Клейна в 11-мерном пространстве-времени есть еще одна характерная особенность, которая носит случайный характер, но сильно привлекает теоретиков. Все многомерные теории супергравитации в пространствах с меньшим числом измерений имеют несколько вариантов, различающихся математически. В 11-мерном пространстве-времени теория супергравитации единственна.

Минимальный набор ингредиентов теории Калуцы — Клейна содержит гравитационное и фермионное поля, которые приводят в конечном итоге к бозонам и фермионам, наблюдаемым в нашем мире. Кроме того, нужно по крайней мере еще одно бозонное поле, приводящее к компактификации, т.е. сворачиванию, дополнительных скрытых измерений. Замечательно, что 11-мерная супергравитация содержит в точности все три ингредиента.

Еще более удивительно для теоретиков то, что дополнительное бозонное поле вызывает только два вида компактификации. В одном случае сворачивается семь измерений из одиннадцати; этот вид компактификации объясняет 4-мерность наблюдаемого пространства-времени. В альтернативном случае сворачиваются лишь четыре измерения. Такой сценарий привел бы к 7-мерному наблюдаемому миру. Быть может, физики последующих поколений смогут объяснить, почему 4-мерный мир оказался в привилегированном положении.

Для развития теории Калуцы —

Клейна, основанной на супергравитации в 11-ти измерениях, физики должны сначала решить уравнения супергравитации. Множество решений приводит к такой конструкции, когда полное пространство-время порождается обычным четырехмерным пространством-временем и небольшой замкнутой 7-мерной поверхностью. Затем надо изучить группу симметрии каждой поверхности, соответствующей какому-то решению полевых уравнений, и группу симметрии той неабелевой калибровочной теории, которую надо объединить с гравитацией. Различные замкнутые поверхности имеют разные группы симметрии, и каждая из них приводит к различным объединенным теориям негравитационных сил.

Окончательным шагом в развитии теории Калуцы — Клейна должен быть анализ сложных стационарных волновых образований, допускаемых данной замкнутой поверхностью. Эти образования определяют массы и другие свойства частиц, предсказываемых теорией для обычного 4-мерного пространства-времени. Каждая из 7-мерных поверхностей, возникающих в результате решения уравнений супергравитации, должна быть подвергнута подобному анализу.

Теоретические результаты

Большая часть усилий исследователей была направлена на изучение двух случаев. В первом из них свернутые измерения образуют простейшую и наиболее симметричную из всех возможных конструкций — 7-мерный аналог сферы. В разработку этого варианта теории большой вклад внесли Майкл Дафф и Кристофер Поуп из Имперского колледжа науки и техники в Лондоне, Франсуа Энглер из Свободного университета в Брюсселе, Бернард де Вит из Университета в Утрехте и Герман Николин из ЦЕРНа.

Во втором случае имеется целый набор поверхностей с группой симметрии, необходимой для включения сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий. Эти поверхности изучались Виттеном, Леонардо Каstellани, Рикардо Д'Ауриа и Пьетро Фре из Туринского университета и другими исследователями.

К сожалению, более подробные исследования показывают, что возникающий 4-мерный мир совсем не похож на тот, который мы знаем. Здесь есть три основные проблемы. Первая из них — проблема киральности, которая называется так, поскольку она связана со свойствами «правого» и «левого» тех фермионов, существование которых предсказывает теория

Издательство МИР предлагает:

К. Теодосиу УПРУГИЕ МОДЕЛИ ДЕФЕКТОВ В КРИСТАЛЛАХ

Перевод с английского

Книга известного румынского ученого посвящена разделу физики, лежащему на стыке физики твердого тела и механики сплошных сред. Характер изложения материала таков, что книга является одновременно и хорошим учебным пособием и ценной монографией, достаточно полно отражающей современное состояние вопроса. В книге пять глав. В главе I «Основы теории упругости» последовательно рассматриваются кинематика, динамика и термодинамика деформируемых сплошных сред. Глава II «Упругие поля дислокаций в линейной теории упругости» посвящена изложению континуальной теории дислокаций, начиная с определения понятия дислокации и кончая описанием дислокационных скоплений, взаимодействия и движения дислокаций. В главе III «Нелинейные эффекты в упругих полях дислокаций» представлены последние результаты исследований. Глава IV «Непрерывные распределения дислокаций» посвящена линейным и нелинейным теориям и их применению к анализу влияния дислокаций на плотность кристалла и его низкотемпературную теплопроводность. В главе V «Упругие поля точечных дефектов» рассмотрены такие модели, как жесткое и упругое включение, силовой мультиполь в упругой среде и т.д. В книге постоянно подчеркивается физический смысл и значимость результатов, их практическая применимость.

Для специалистов по теории дислокаций и физики прочности, для научных сотрудников, работающих в смежных областях физики твердого тела, а также студентов и аспирантов.

1985, 400 с. Цена 4 р. 10 к.



(слово «киральность» происходит от греч. *χειρ* — рука). Киральность фермиона определяется направлением его квантовомеханического углового момента — спина — относительно направления движения фермиона. Каждая из до сих пор изученных 11-мерных конструкций пространства-времени предсказывает равное число «левых» и «правых» нейтрино. Однако все нейтрино, наблюдаемые в природе, являются «левыми»; по-видимому, «правых» нейтрино вовсе не существует.

Вторая проблема называется космологической. Она связана с предсказываемой величиной кривизны обычного 4-мерного пространства-времени. При обоснованном предположении, что семь дополнительных измерений образуют компактную конструкцию, малость которой делает ее пока недоступной для наблюдений, получается, что оставшиеся четыре измерения также должны образовывать сильно искривленное пространство-время. С другой стороны, из астрономических наблюдений следует, что кривизна Вселенной в больших масштабах либо точно равна нулю, либо близка к этому значению. В теориях Калуцы — Клейна, не основанных на супергравитации, этой трудности можно избежать. К уравнениям можно добавить постоянный член, называемый космологической константой, который действует в противоположном направлении, уменьшая кривизну пространства-времени, даже когда остальные семь измерений сильно компактифицированы. 11-мерная супергравитация лишена такой свободы в подгонке исходных уравнений.

Третья проблема в 11-мерной супергравитации называется квантовой. Есть надежда, что ее решение может одновременно исключить обе предыдущие проблемы. Исходные теории фундаментальных взаимодействий в программе Калуцы — Клейна основаны на квантовомеханических уравнениях и приводят к появлению бесконечных величин, не имеющих ясной физической интерпретации. Возникновение в теории бесконечно больших величин — общая трудность для всех имеющихся квантовых теорий гравитации. Чтобы обойти эту трудность, при выполнении расчетов приходится прибегать к различного рода упрощениям, пренебрегая теми или иными квантовыми эффектами. При этом предполагают, что со временем можно будет доказать, что возникающие бесконечности связаны не с самой теорией, а с используемыми приближенными методами вычислений, или же надеются на появление когда-нибудь хорошей теории, в которой бесконечные величины

будут вовсе отсутствовать.

В последние несколько месяцев среди теоретиков наблюдается оживление, вызванное перспективой решения проблемы с бесконечными величинами и, возможно, прочих проблем, о которых мы упомянули, с помощью так называемой теории суперструны (см. "Dual-Resonance Models of Elementary Particles", by John H. Schwarz; Scientific American, February, 1975). Теории суперструны обладают рядом преимуществ супергравитации. Для математической самосогласованности они должны быть сформулированы в 10-мерном пространстве-времени. В 10 измерениях можно построить очень небольшое число теорий. Известно, что в теории суперструны бесконечные величины не появляются, по крайней мере при учете квантовых эффектов в первом приближении. Некоторые физики сейчас полагают, что бесконечнобольшие величины не возникнут и при учете поправок более высоких порядков.

Теория суперструны

В теории струны частицам сопоставляются колебательные движения одномерной струны, помещенной в многомерное пространство. Основное различие между теорией струны и такой полевой теорией, как супергравитация, состоит в числе частиц, предсказываемых обеими теориями. Если бы семь дополнительных измерений многомерной супергравитации не сворачивались в замкнутую поверхность, то получающаяся 11-мерная супергравитация без компактификации предсказывала бы конечное число частиц. Бесконечное число частиц возникает в супергравитации только вследствие компактификации. Например, в 5-мерной теории Калуцы имеется бесконечный набор частиц, поскольку существует бесконечный набор стационарных волновых образований, помешающих на замкнутой окружности в пятом измерении. С другой стороны, в теории суперструны существует бесконечно много частиц даже в том случае, когда дополнительные измерения не компактифицируются. Так происходит потому, что у струны может быть бесконечно много колебательных мод.

Большинство частиц в теории суперструны имеют огромную массу: они тяжелее протона более чем в 10^{19} раз. Тем не менее теория предсказывает также существование около 1000 безмассовых частиц. До недавнего времени взаимодействия всех этих частиц казались эквивалентными взаимодействиям, описываемым 10-мерным вариантом супергравитации. Имелось два соображения, по которым такая теория не считалась до-

стойкой углубленного изучения. Во-первых, представлялось, что отсутствуют такие решения, когда шесть измерений сворачиваются, оставляя 4-мерное пространство-время с подходящими свойствами. Во-вторых, сами уравнения становились противоречивыми при рассмотрении теории на квантовом уровне. 10-мерный вариант супергравитации и, следовательно, взаимодействия безмассовых частиц в теории суперструны казался не соответствующим теории Калуцы — Клейна.

Недавно Майкл Грин из Колледжа Королевы Мэри в Лондоне и Дж. Шварц показали, что взаимодействия безмассовых частиц в теории суперструны слегка отличаются от их взаимодействий в 10-мерном варианте супергравитации. Это весьма тонкие эффекты, которые обусловлены бесконечным числом тяжелых частиц в теории суперструны, в то время как в супергравитации без компактификации число таких частиц конечно. При учете влияния тяжелых частиц оказалось возможным получить непротиворечивые квантовые уравнения теории.

Этот недавний успех стимулировал возрождение интенсивных исследований компактификации шести дополнительных измерений в теории суперструны. Со многих точек зрения эта задача более трудная, чем проблемы 11-мерной супергравитации. Математические свойства 6-мерных поверхностей, которые возникают в теории суперструны, более сложны, чем свойства 7-мерной сферы. И все же имеется множество мотивов, побуждающих взяться за решение этой задачи. Есть некоторые указания на то, что две другие главные трудности в теории супергравитации, проблема киральности и космологическая проблема, не возникают в теории суперструны.

Перспективы

Зачастую между развитием элегантных теоретических идей и точной формулировкой проверяемых на опыте предсказаний лежит большой отрезок времени. Так, понадобилось 13 лет, чтобы найти правильное применение неабелевым калибровочным теориям в задаче объединения фундаментальных взаимодействий. Отсутствие сейчас ясных указаний на возможности экспериментальной проверки основных идей супергравитации и теории Калуцы — Клейна вовсе не свидетельствует об их ошибочности. По-видимому, нужны дальнейшие теоретические исследования.

Существует связь между развитием фундаментальных представлений в физике и новыми математическими идеями. Например, возможностью

довести супергравитацию до современного изощренного уровня мы обязаны математической теории антикоммутирующих величин, которая уже была готова для использования в приложениях. Не исключено, что более глубокое понимание роли про-

странства и времени в квантовой теории потребует развития и привлечения свежих математических идей. Современный интерес к многомерным теориям гравитации может быть только первым шагом на этом пути.

Наука и общество

Бактериологическое сражение

В ПРОДОЛЖАЮЩЕЙСЯ дискуссии о вредных последствиях злоупотребления антибиотиками считалось установленным, что устойчивость бактерий к антибиотикам постоянно возрастает. Статья, опубликованная в "Journal of Clinical Microbiology", ставит это под сомнение. Ее авторы — сотрудники клинического центра Бронкс-Ливан в Нью-Йорке В. Лориан и Б. Аткинсон — полагают, что на территории Соединенных Штатов за последние 12 лет устойчивость бактерий к антибиотикам «в целом практически не изменилась».

Этот вывод сделан на основании статистического анализа данных, собранных за период с 1971 по 1982 г. более чем в трехстах больницах США как о стационарных, так и об амбулаторных больных, у которых было взято в совокупности более 10 млн. образцов бактериальных штаммов и охарактеризована их устойчивость к обычно применяемым антибиотикам.

Лориан и Аткинсон выбрали для анализа 8 наиболее часто встречающихся видов бактерий, вызывающих тяжелые инфекции. Для каждого вида они построили кривые чувствительности бактерий, выделенных из взятых у больных образцов, к антибиотикам в зависимости от года выделения. На некоторых таких кривых выявилась тенденция к незначительному увеличению чувствительности, на других, наоборот, — существенное снижение чувствительности. В целом же кривые имели довольно ровный характер, и изменение чувствительности к большинству антибиотиков за 12-летний период, как правило, не превышало нескольких процентов.

Комментируя борьбу мнений по поводу добавления антибиотиков в пищу животным, Лориан заявил: «Мне кажется, что наши результаты лишают почвы те утверждения, что подобная практика может привести к увеличению устойчивости болезнетворных бактерий к антибиотикам. Боюсь, что сторонники этой точки зрения решают проблему, которой по сути не существует».

Статья Лориана и сделанные в ней

выводы вызвали большие споры среди исследователей, работающих в области микробиологии и медицины. В основном критикуется подход, использованный авторами при анализе данных. Действительно, в целом устойчивость большинства препаратов большинства видов бактерий к большинству антибиотиков может изменяться очень незначительно, однако истинная проблема состоит в том, что в конкретных случаях у определенного вида бактерий в определенных условиях может возникнуть устойчивость к определенным антибиотикам.

Возражения сотрудника системы центров по изучению болезней федерального ведомства здравоохранения Дж. Хьюджеса основываются на его собственных данных, полученных в результате исследования больничных инфекций (т.е. заболеваний, которыми может заразиться пациент, находясь на лечении в больнице). Хьюджес установил, что некоторые виды бактерий, которые обнаруживаются в крупных клиниках, где практикуются интенсивные методы лечения, гораздо устойчивее к антибиотикам, чем аналогичные виды бактерий в небольших больницах, где лечение ведется более «мягкими» методами. Эта разница останется незамеченной, если анализ проводится по всем больницам совместно, как это сделано в работе Лориана и Аткинсон. Следовало также по отдельности анализировать данные о стационарных и об амбулаторных больных.

Лориан и Аткинсон не фиксировали, какой из миллионов исследованных бактериальных препаратов действительно стал причиной серьезной инфекции, а кроме того, не учитывалась возможность возникновения в единичном организме множественной устойчивости к нескольким антибиотикам. С. Леви также замечает, что анализ мог дать неверную картину уже потому, что рассматривалась чувствительность к антибиотикам, но не устойчивость к ним, а ведь незначительное уменьшение чувствительности, скажем от 96 до 92%, на самом деле означает увеличение устойчивости в два раза — от 4 до 8%.

Почему прыгают киты

Наблюдающийся у китов поведенческий акт, который называют выпрыгиванием, кажется нам целенаправленным. По-видимому, он имеет отношение к социальным аспектам жизни китов и, возможно, служит им средством общения

ХЭЛ УАЙТХЭД

НЕСОМНЕННО, выпрыгивание китов из воды — один из самых впечатляющих элементарных поведенческих актов у животных. Оно называется также бричингом (англ. breaching); этот термин вслед за китобоями XVIII—XIX вв. употребляют и современные исследователи поведения китов. Когда кит выпрыгивает из воды, ему приходится поднимать большой объем и вес, и интересно знать, почему животное тем не менее делает это.

Для большинства наблюдателей выпрыгивание кита из воды — единственная возможность увидеть его целиком. Неудивительно, что столь захватывающее зрелище вызывает весьма разнообразные впечатления. Так, Дж. Рейнольдс, рассказывая читателям «The Knickerbocker» в 1839 г. о приключениях китобоев в Тихом океане, писал: «Внезапно огромное бесформенное тело выбрасывается из родной стихии и затем падает обратно с оглушительным всплеском; это выглядит нелепой карикатурой на проворство, как выглядела бы попытка какого-нибудь объевшегося олдермена исполнить бурный шотландский танец». Для Германа Мелвилла прыжки китов были величественными. «На крайней скорости вырываясь из темных глубин, — писал он в «Моби Дике», — кашалот взлетает всей своей тушей высоко в воздух и, взбивая целую гору ослепительной пены, обнаруживает свое местонахождение для всех в радиусе семи миль и более. Разодранные в клочья яростные волны кажутся тогда его гривой...»

Китобои прошлых времен, которые разыскивали свою добычу, плавая на медлительных парусных судах, имели много возможностей наблюдать за китами. Долгое время рассказы китобоев были основным источником наших знаний о поведении китов, в том числе и об их прыжках. Среди предлагавшихся ими объяснений выпрыгивания, отчасти антропоморфистских, фигурировали питание, разминка, развлечение, уход от преследования меч-рыбой, а также «вызов», адресованный самим китобоям.

В последние годы в результате научных наблюдений за китами в открытом океане появились полезные количественные данные о многих аспектах их поведения, включая и прыжки. Ценные наблюдения сделали Р. Пайн из Международного фонда любителей диких животных и его коллеги, долгое время изучавшие южного гладкого кита *Eubalaena australis* у полуострова Вальдес в Аргентине. Важные исследования серых китов *Eschrichtius robustus* в Калифорнийском заливе провели К. Норрис из Калифорнийского университета в Санта-Крус и другие ученые; интересные результаты получили Дж. Дарлинг из Калифорнийского университета в Санта-Крус, П. Тьяк из Океанографического института в Вудс-Холе и другие, изучавшие горбатого кита *Megaptera novaeangliae* на Гавайях. Я исследовал также главным образом горбачей, которые летом находились в западной части Атлантического океана, в районе Ньюфаундленда, а зимой — на Силвер-Бэнк в Вест-Индии.

ДЛЯ понимания выпрыгивания китов совершенно необходимы долгосрочные наблюдения, поскольку их прыжки — явление довольно редкое. Большинство китов нечасто можно увидеть прыгающими, и обычно нужно много лет, чтобы накопить данные хотя бы о небольшом числе прыжков. В этом отношении исследования на Силвер-Бэнк особенно ценны. Зимой горбатые киты со всей северо-западной Атлантики собираются там для спаривания и рождения детенышей. Плотность их в этом районе приближается к величине 1/1 км². Многие животные прыгают: на наших маршрутах, охватывавших примерно 200 км вдоль берега, которые мы обследовали с целью оценить численность популяции, мы наблюдали прыжки примерно в 20% отмеченных стад, которые обычно включают до четырех китов.

Прыгая, горбатый кит поднимает в воздух массу, эквивалентную массе 485 человек, весящих в среднем по

68 кг. Самые крупные горбачи достигают в длину 15 м и весят до 33 т.

Прыжки горбачей и других прыгающих китов разнообразны: от полного прыжка, при котором тело кита целиком появляется из воды, до медлительных выныриваний, при которых видна только половина тела. В более чем четверти случаев хотя бы 70% тела животного показывается из воды, но целиком кит выпрыгивает редко. Горбатые киты прыгают под любым углом к поверхности моря, вплоть до 70°.

Процесс выпрыгивания южного гладкого кита Пайн наблюдал с крутого обрыва и с маленького аэроплана. Кит плывет горизонтально до тех пор, пока не разовьет достаточную скорость. Затем он задирает голову вверх и поднимает лопасти хвоста. Эти действия переводят горизонтальный момент движения в вертикальный, и кит появляется из воды. Благодаря горизонтальному разгону кит может выпрыгивать даже там, где глубина воды всего несколько метров.

Киты демонстрируют и другие поведенческие акты, которые внешне напоминают выпрыгивание. Одно из них получило название «выставание». При этом маневре кит показывает из воды не более 40% своего тела. Выставание бывает вертикальным, горизонтальным или под любым углом между этими двумя крайностями, причем тело кита может быть ориентировано кверху спиной, брюхом или боком. Во время выставания киты часто смыкают челюсти, проглатывая отцеженную порцию планктона или мелкой рыбы. Поэтому выставание обычно считают связанным с питанием. Однако горбачи прибегают к выставанию и в больших группах, когда желают перехитрить один другого, например при соревновании нескольких (от двух до десяти) самцов за право доступа к самке. В такой ситуации выставание получается как результат подводного маневра, когда кит случайно пробивает поверхность воды. В противоположность этому выпрыгивания из воды кажутся целенаправленными.

Дельфинирование — еще один тип

поведения, при котором морские животные преднамеренно прыгают над поверхностью воды. Животное совершает серии горизонтальных прыжков, когда быстро передвигается. Р. Блейк из Университета пров. Британская Колумбия подсчитал, что, делая такие прыжки, маленький кит или дельфин минимизирует сопротивление воды. Он также показал, что большие киты не должны получать выигрыша от дельфинирования. И действительно, я никогда не видел дельфинирующего горбача.

ВЫПРЫГИВАНИЕ китов можно подразделить на два типа, которые я называю шлепками брюхом (прямой прыжок) и настоящими выпрыгиваниями (прыжок с поворотом). В первом случае кит все время остается спиной кверху и приводняется на брюхо. Во втором случае животное появляется из воды на боку, с по-

мощью грудных плавников закручивается в воздухе и падает на спину. У горбчатых китов настоящие выпрыгивания составляют 80% всех прыжков; около 20% приходится на шлепки брюхом.

При прямом прыжке киты выдыхают или пускают фонтаны гораздо чаще, чем при прыжке с поворотом. Пайн предположил, что для китов удары животом о воду могут быть столь же болезненны, как и для людей. Однако при прямом прыжке дыхало остается вне воды гораздо дольше, чем при прыжке с поворотом. Таким образом, прямой прыжок может совершаться, когда кит хочет подышать во время выпрыгивания.

Часто выпрыгивания исполняются сериями. Кит может прыгать примерно каждые 40 с на протяжении нескольких минут. В стадах горбчатых китов в западной части Северной Атлантики такие серии в среднем состо-

ят из 9,4 прыжка. (Сериями считались и те случаи, когда наблюдалось всего одно выпрыгивание.) Обычно мы были вполне уверены, что все прыжки в серии совершило одно и то же животное. Однажды на Силвер-Бэнк мы зарегистрировали серию из 130 прыжков, которая длилась 75 мин, и, по всей вероятности, все прыжки были сделаны одним и тем же животным.

Существует тенденция, что в пределах одной серии кит совершает выпрыгивания одного типа: он падает в воду либо только брюхом, либо только спиной. И у горбачей, и у гренландских китов к концу серии амплитуда выпрыгиваний снижается — по-видимому, просто потому, что животное начинает уставать.

Сколько энергии расходует кит при прыжке и какую мощность он развивает, когда покидает поверхность воды? Используя измерения, сделанные по фотографиям прыгающих китов, я



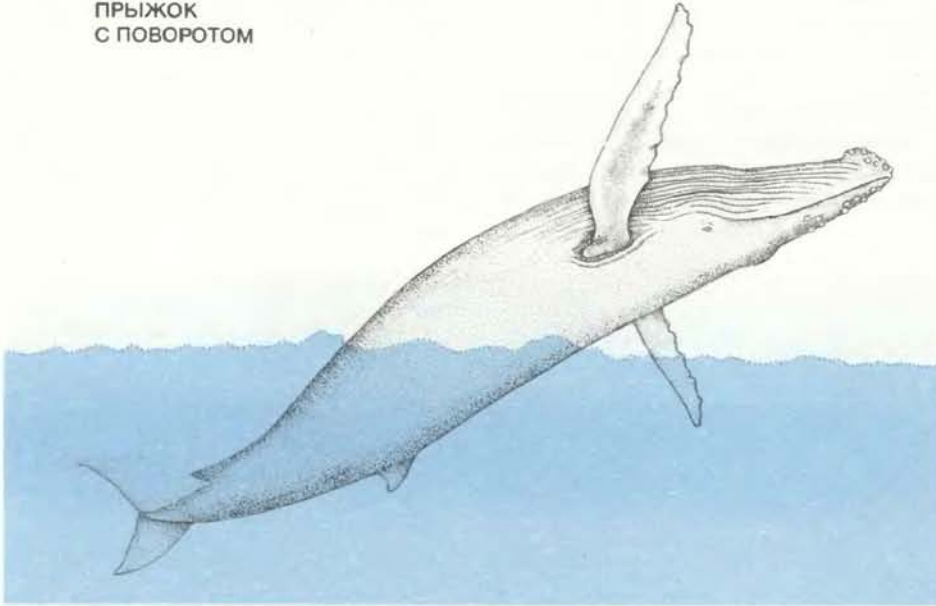
ВЫПРЫГИВАЮЩИЙ ГОРБАТЫЙ КИТ *Megaptera novaeangliae* был сфотографирован в Тихом океане около Гавайев. Он совершал прыжок с поворотом («настоящее выпрыгивание»), при котором животное показывается из воды на бо-

ку, закручивается в воздухе и приводняется на спину. Прыжки с поворотом составляют приблизительно 80% выпрыгиваний. Гораздо реже киты делают выпрыгивание, называемое прямым прыжком («шлепок брюхом»).

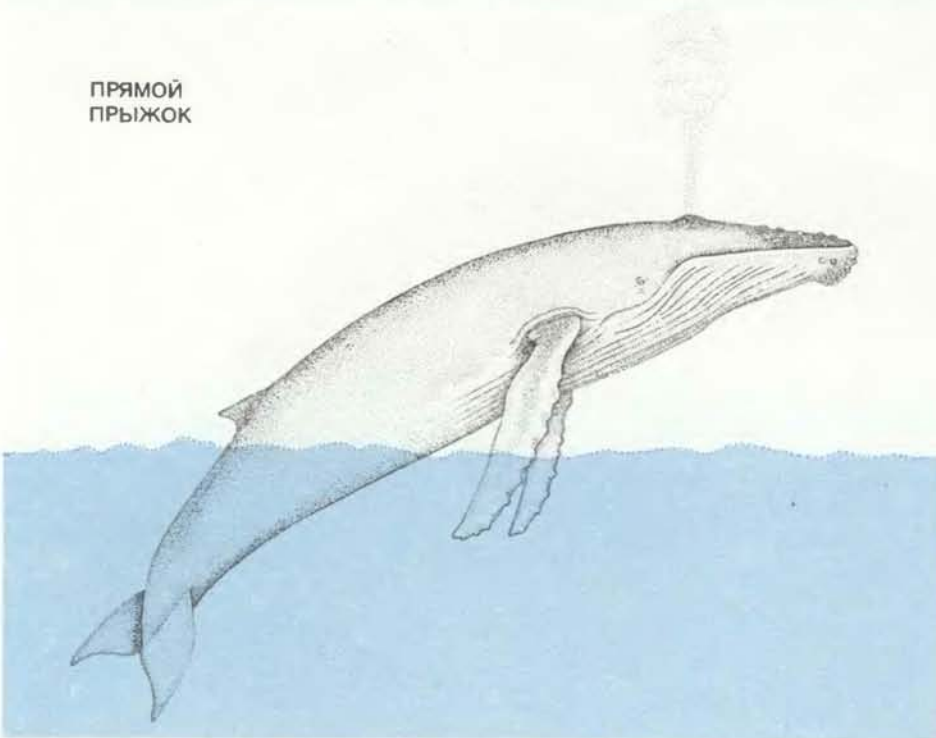


ГОРБАТЫЕ КИТЫ, которых изучали автор статьи и его коллеги, проводят лето близ Ньюфаундленда, а зиму на Силвер-Бэнк в Вест-Индии. Социальные взаимодействия между особями имеют большее значение в зимний сезон, когда они спариваются и рожают детенышей.

ПРЫЖОК
С ПОВОРОТОМ



ПРЯМОЙ
ПРЫЖОК



ПРЫЖОК С ПОВОРОТОМ И ПРЯМОЙ ПРЫЖОК начинаются с того, что кит появляется из воды под углом (вплоть до 70°) к поверхности. Обратно в воду животное падает соответственно либо спиной, либо брюхом, как показано на рисунке. Часто при прямом прыжке животное выдыхает воздух или пускает фонтан, поэтому предполагают, что прямой прыжок (выполняемый вообще-то редко) совершается в тех случаях, когда животное хочет вдохнуть. При прыжке дыхало остается вне воды дольше, чем при прыжке с поворотом.

смоделировал процесс выпрыгивания на компьютере. При полном прыжке, когда большая часть тела животного выходит из воды под углом около 35° , 12-метровый взрослый горбач врзается в поверхность воды со скоростью 15 узлов (27 км/ч). Такая скорость почти максимальна для горбатого кита, а значит, полный прыжок представляет собой экстремальное выражение двигательной мощности этого животного.

Для такого прыжка необходима значительная на первый взгляд энергия — примерно 2500 ккал. Уровень обмена кита в состоянии покоя — около 300 000 ккал в день. Следовательно, энергия, потребляемая при прыжке, составляет немного меньше одной сотой минимальной дневной энергетической потребности животного. В пересчете на пищу это соответствует примерно 2,6 кг мойвы *Mallotus villosus* — основного блюда в меню горбача. А горбатые киты часто заглатывают сразу по 100 кг мойвы. Таким образом, на один прыжок затрачивается незначительная доля дневного энергетического бюджета кита. Но серия из 20 или более прыжков требует уже много энергии. Неудивительно, что следующие один за другим прыжки мало-помалу ослабевают.

ГОРАЗДО труднее ответить на вопрос, почему киты прыгают. Исследователь поведения крупных китов подобен астроному: он видит свои объекты мельком, часто с большого расстояния, и не имеет возможности ставить эксперименты, а вынужден делать выводы на основании данных, которых обычно недостаточно. В таких условиях единственный способ узнать, каков же смысл явления, — исследовать все обстоятельства, в которых оно происходит.

Я провел сотни часов, день за днем сопровождая на небольшой яхте группы горбачей в их перемещениях. Из моих наблюдений, а также данных Пайна и других складывается довольно ясная картина обстоятельств, при которых киты прыгают. Это, конечно, не дает права сформулировать твердые «правила выпрыгивания»: такая точность обычно невозможна при изучении поведения высших животных. Самое большее, что можно сделать, — наметить статистически значимые тенденции. Судя по всему, выпрыгивание связано главным образом с социальным взаимодействием китов, возможно, с общением и, среди молодых животных, с игрой.

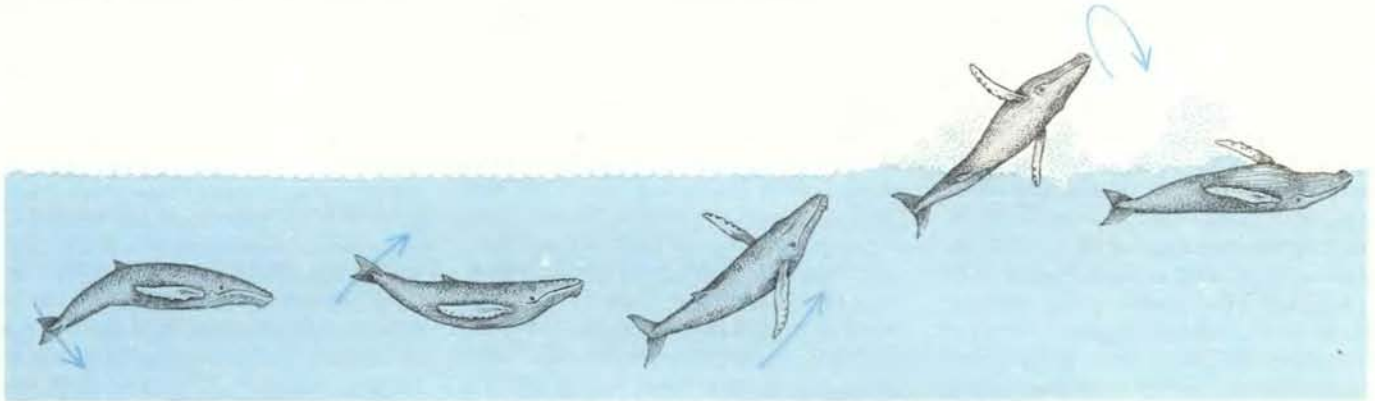
Киты часто прыгают, когда стадо, состоящее из двух и более горбачей, делится на две группы или когда два стада (или одиночные киты) объединяются. Как правило, прыжок совер-

шается не более чем через 15 мин после того, как кит шлепал хвостом по поверхности воды. Выпрыгивание может следовать за хлопанием грудным плавником (грудной плавник поднимается из воды и обрушивается

вниз со шлепком) и другими демонстрациями. К. Кларк из Рокфеллеровского университета и Пайн наблюдали подобное поведение у южных гладких китов.

Следует отметить тот явно проти-

воречивый факт, что горбачи прыгают гораздо меньше летом, чем зимой, хотя именно летом группы чаще делятся и соединяются. Однако зимой осуществляются спаривание и деторождение, а эти социальные взаи-



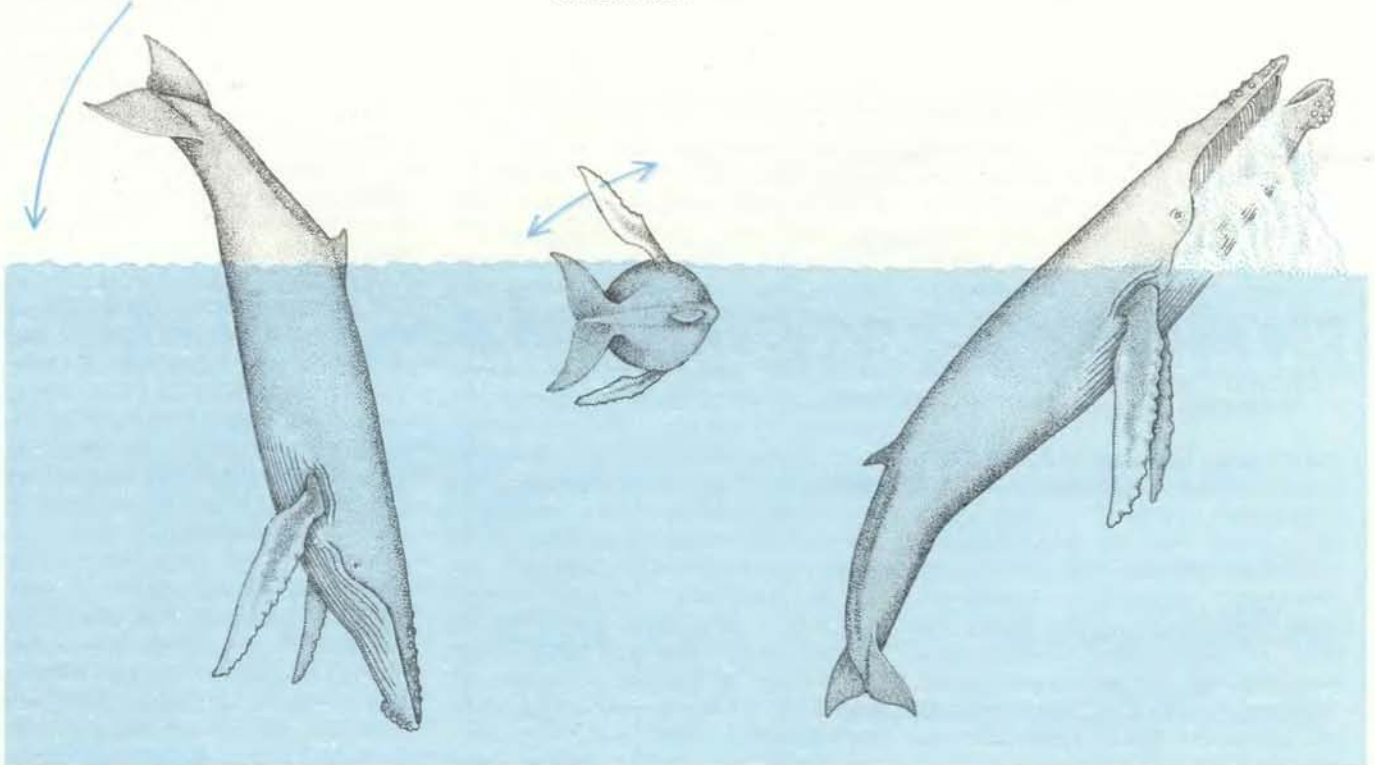
ВЫПОЛНЕНИЕ ПРЫЖКА начинается с того, что кит, плывя более или менее параллельно поверхности воды, набирает скорость. Он поднимает хвостовой плавник и задира-

ет голову вверх; тем самым горизонтальный момент движения изменяется на вертикальный. Изображенный здесь кит приступает к прыжку с поворотом.

ШЛЕПКИ
ХВОСТОМ

ШЛЕПКИ ГРУДНЫМ
ПЛАВНИКОМ

ВЫСТАВАНИЕ



ДЕЙСТВИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ВЫПРЫГИВАНИЕМ, включают хлопанье по воде хвостовым и грудным плавниками. По-видимому, они целесообразны. После этого не более чем

через 15 мин кит совершает выпрыгивание. Выставание, при котором над водой поднимается только часть тела, является случайным результатом подводного маневра.



ДЕЛЬФИНИРОВАНИЕ представляет собой серию горизонтальных прыжков, совершаемых на большой скорости. Для мелких китов и дельфинов при таком движении уменьша-

ется сопротивление воды. Дельфинирование неэффективно для крупных китообразных и им не присуще.

модействия, вероятно, важнее, чем то, что происходит летом. Следовательно, частота прыжков коррелирует с социальными взаимодействиями не только в количественном отношении — существенна также их важность в жизни китов.

Корреляция между выпрыгиванием и социальной активностью получается также при сравнении частоты прыжков у различных видов китов. Изучая этот вопрос, я составил таблицу, в одну из граф которой включил отношение средней массы тела кита к кубу его длины, которое является показателем округлости. Казалось бы, самые округлые киты должны быть наименее прыгучими из-за неблагоприятной гидродинамики. Поэтому удивительно, что, как показывают наблюдения, они-то и прыгают более часто.

Гладкий, серый и горбатый киты — три лучше других изученных вида с округлой формой тела — скапливаются зимой в традиционных местах размножения. Там они редко питаются, существуя за счет энергии,

запасенной в толстом слое подкожного жира. В период размножения социальные взаимодействия между китами часты и иногда энергичны, и именно в это время в районах скопления китов наблюдается наибольшее количество выпрыгиваний.

В противоположность им голубые киты *Balaenoptera musculus*, финвалы *B. physalus*, сейвалы *B. borealis* — представители этих видов отличаются стройными пропорциями — не собираются в определенных местах размножения и на протяжении зимних месяцев рассредоточены. Такая стратегия, вероятно, снижает чистый расход энергии, поэтому им не требуется толстого жирового слоя. Эти киты способны издавать громкие низкочастотные звуки, которые могут служить для привлечения особей противоположного пола; доступность брачного партнера может обеспечиваться и моногамией. В любом случае должны иметь место какие-то тесные социальные взаимоотношения.

Немного известно об общественном поведении гренландских китов

Balaena mysticetus, китов Брайда *Balaenoptera edeni* и малых полосатиков *B. acutorostrata*, но общее впечатление, создавшееся у тех, кто наблюдал их непосредственно, таково, что среди этих усатых китов виды с наибольшей степенью социальности характеризуются и более высокой частотой выпрыгиваний. Кашалот *Physeter catodon* — зубатый кит, который прыгает часто, — отличается особенно сложной социальной структурой стада.

КАКИЕ еще ключи к разгадке можно извлечь из анализа обстоятельств, в которых наблюдаются прыжки китов? В нескольких независимых исследованиях были получены весьма неожиданные данные о том, что с возрастанием скорости ветра киты начинают прыгать чаще. Речь идет не о внезапном увеличении частоты прыжков во время шторма, когда кит стремится прыгнуть, чтобы вдохнуть воздух без водяных брызг, а о довольно постепенном, наблюдающемся при умеренных скоростях ветра. Пайн предположил, что киты могут использовать звуки, которые они производят при выпрыгивании (от шлепка при вхождении в воду), как средство общения, когда шум ветра и волн заглушает нормальные звуки их голоса.

Пайн сделал открытие, на основании которого он считает, что выпрыгивание имеет сигнальную функцию. Он обнаружил, что у южных гладких китов выпрыгивание «заразительно». Другими словами, вероятность выпрыгивания данного кита возрастала, когда начинали прыгать находящиеся поблизости от него другие киты. Заинтригованный этим, я выполнил элементарную обработку материалов наблюдений, сделанных на некоторых из наших маршрутов через Силвер-Бэнк с целью определить плотность распределения китов. Анализ показал, что выпрыгивающие горбачи образуют скопления диаметром около 10 км. Вероятность выпрыгивания отдельно взятого животного получалась наибольшей при условии, что он находится в пределах 10 км от других выпрыгивающих китов. В разгар сезона такое скопление может насчитывать до 100 горбачей, из которых 10 — 15 выпрыгивают. При хороших условиях киты могут, вероятно, слышать звук от падения кита в воду за несколько километров. Таким образом подтверждается гипотеза Пайна о том, что выпрыгивание имеет сигнальную функцию. Если киты видят или слышат выпрыгивание «сотоварища», передается информация по меньшей мере о том, что кит выпрыгнул из воды.

Эффективно ли выпрыгивание как

ВИДЫ КИТОВ

| ВИДЫ КИТОВ | ОТНОШЕНИЕ МАССЫ ТЕЛА К КУБУ ЕГО ДЛИНЫ | ЧАСТОТА ВЫПРЫГИВАНИЙ |
|--|---|-------------------------|
| ГОРБАТЫЙ (<i>MEGAPTERA NOVAEANGLIAE</i>) | 10,6 | ОЧЕНЬ ЧАСТО |
| ЮЖНЫЙ ГЛАДКИЙ (<i>EUBALAENA AUSTRALIS</i>) | 16,2 | ЧАСТО |
| СЕРЫЙ (<i>ESCHRICHTIUS ROBUSTUS</i>) | 14,3 | ЧАСТО |
| КАШАЛОТ (САМЕЦ/САМКА) (<i>PHYSETER CATODON</i>) | 10,7/19,1 | ЧАСТО |
| ГРЕНЛАНДСКИЙ (<i>BALAENA MYSTICETUS</i>) | 26,7 | СЛУЧАЙНО |
| КИТ БРАЙДА (<i>BALAENOPTERA EDENI</i>) | 6,1 | СЛУЧАЙНО |
| МАЛЫЙ ПОЛОСАТИК (<i>BALAENOPTERA ACUTOROSTRATA</i>) | 12,3 | НЕОБЫЧНО |
| ФИНВАЛ (<i>BALAENOPTERA PHYSALUS</i>) | 4,0 | РЕДКО |
| БЛЮВАЛ (<i>BALAENOPTERA MUSCULUS</i>) | 6,3 | ПОЧТИ НИКОГДА |
| СЕЙВАЛ (<i>BALAENOPTERA BOREALIS</i>) | 3,6 | ПОЧТИ НИКОГДА |

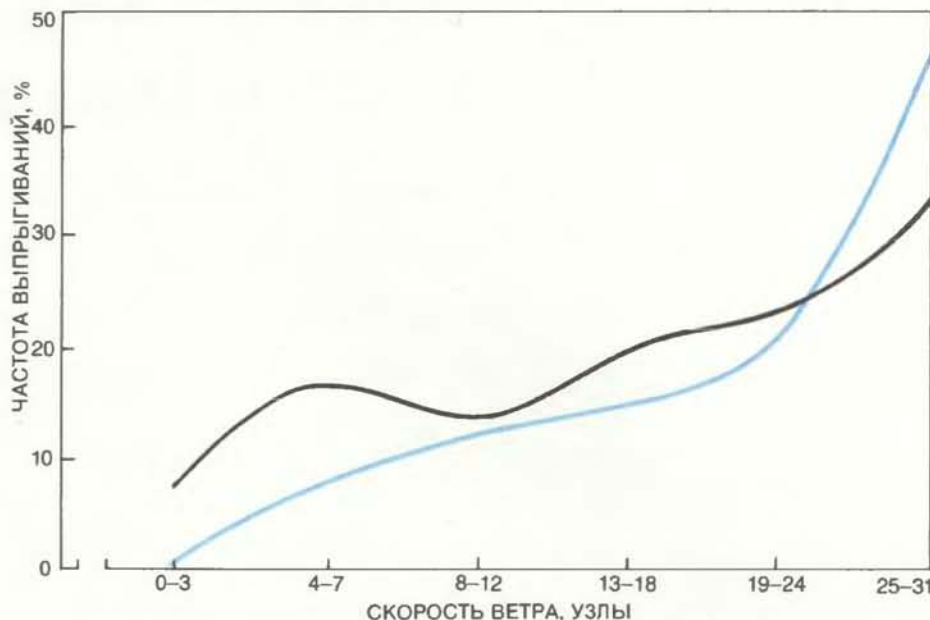
ВЫПРЫГИВАНИЕ И ОКРУГЛОСТЬ ТЕЛА КИТА связаны: чем округлее очертания кита, тем чаще он прыгает. Округлость измеряется отношением средней массы тела к кубу его длины. «Стройные» киты выпрыгивают редко, хотя с точки зрения гидродинамики форма их тела благоприятствует этому. По-видимому, наблюдаемая корреляция определяется тем, что округлым китам свойственны некоторые виды социальной деятельности, которые часто сопровождаются выпрыгиваниями, особенно когда животные скапливаются зимой в традиционных районах размножения. Зимой они едят немного, существуя главным образом за счет своих запасов жира. У «стройных» китов социальная активность гораздо слабее, и, вероятно, они питаются постоянно весь год.

способ передачи какой-либо иной информации? На поверхности это захватывающее зрелище сопровождается громким шумом, но те киты, которые в данный момент не прыгают, находятся под водой. Даже в чистой воде предел видимости не превышает 50 м. Однако звук в морской воде при благоприятных условиях может распространяться довольно далеко, так что вопрос заключается в том, может ли кит производить при выпрыгивании звуки более громкие (хотя бы в некоторых частотных диапазонах), чем при использовании голоса. Из силы подводного звука, производимого китом при выпрыгивании, другие киты могут извлечь лишь очень мало информации, и совсем нельзя получить информацию о том, пытался ли кит сделать этот звук громче, увеличив силу удара своего тела о воду.

Выпрыгивание в принципе может быть также показом таких намерений, как агрессия или вызов; демонстрацией силы; маневром при уходе в воду. Агрессия кажется совершенно неправдоподобным мотивом. Кит — животное гладкое и мягкое, поэтому трудно представить, какой серьезный вред может нанести его прыжок другому животному, если оно, конечно, не намного меньше прыгающего. Мне известен случай, произошедший близ Ньюфаундленда, когда горбач, совершая серию прыжков, опустился на лодку, но это было скорее случайностью, чем проявлением агрессивности со стороны кита. В течение многих месяцев, плавая на маленьких лодочках в море, я ни разу не заметил, чтобы какой-нибудь из тысяч прыжков, которые мы наблюдали, был направлен против нас. Кроме того, кит может проявить свою агрессивность более эффективно, создавая ударами хвостового плавника направленные мощные водопады.

Кит, совершая прыжок, демонстрирует свою силу всем китам, находящимся в пределах видимости или слышимости. Следовательно, выпрыгивание может играть роль демонстрации силы, роль вызова или элемента ухаживания. Возможно, самка при выборе партнера исходит (хотя бы отчасти) из силы его выпрыгиваний или его способности сохранять во время всей серии прыжков их высоту и громкость звуков при падении в воду. В этом проявляется сила и выносливость самца и таким образом косвенно — его генетическая пригодность.

Самец может использовать выпрыгивание в качестве вызова или демонстрации силы перед другими самцами, соревнующимися с ним за право доступа к самке. У гладких китов и горбачей выпрыгивания часто наблюдаются именно тогда, когда между



ВЫПРЫГИВАНИЕ И СКОРОСТЬ ВЕТРА также коррелируют. График построен по данным, полученным автором для горбачей в 1978 г. (черный) и в 1980 г. (цветной). По мнению Р. Пайна, выпрыгивания учащаются с возрастанием скорости ветра потому, что это делает возможным общение, когда из-за шума волн животным трудно пользоваться голосовыми сигналами.

самцами происходит такое соревнование.

Можно предложить некоторые гипотезы и относительно роли прыжков в игровом поведении. Если в каком-либо действии животного мы не усматриваем никакого очевидного результата, то называем его игрой. При таком подходе в эту категорию попадают любые необъяснимые феномены поведения, в том числе и выпрыгивание китов. В настоящее время в этологии игре уделяется серьезное внимание; игровое поведение рассматривается как вполне реальное (но с трудом определяемое) понятие. Если выпрыгивание имеет важное значение в жизни китов и если от приема, который при этом используется, зависит его эффективность, то с точки зрения естественного отбора понятно, почему детеныши и, возможно, взрослые киты «играют» в него.

Выпрыгивание имеет большинство черт, характерных для тех видов активности животных, которые этологи называют игрой: оно обычно при социальных взаимодействиях, часто совершается молодыми китами и во многих случаях не имеет никакого очевидного смысла. Некоторые исследователи предполагают, что целью игры у молодых животных является развитие мускулатуры; выпрыгивание может выполнять эту роль у китов.

Наиболее впечатляющие выпрыгивания совершают самые молодые киты. Детеныши гренландского, серого и горбатого китов начинают прыгать

уже через несколько недель после рождения. Выпрыгивания их очень энергичны и могут составлять длинные серии. По нашим наблюдениям на Силвер-Бэнк, детеныши прыгают чаще, чем взрослые киты. Действительно, для взрослого животного регулярное участие в такой деятельности, как игра, было бы трудно объяснимым, и кажется неправдоподобным, что у взрослых китов игра — основная функция выпрыгивания.

ОТКРЫТИЯ, о которых я рассказывал, и гипотезы, которые я обсудил, не дают простого и ясного указания на значение выпрыгивания китов из воды. Имеющиеся данные позволяют говорить о нескольких функциях этой деятельности. Хотя существует явная корреляция с социальностью, хотя выпрыгивания имеют характеристики физической природы, которые могли бы сделать их эффективными сигналами, убедительных доказательств такой гипотезы нет.

Мое субъективное мнение состоит в том, что выпрыгивание служит для акцентирования других визуальных или акустических сигналов при общении. Это своего рода восклицательный знак. Подобно тому как человек повышает голос, жестикулирует или подпрыгивает на месте, привлекая внимание к сообщаемой информации, кит выпрыгивает. Но, словно подглядывая в замочную скважину, люди, наблюдающие прыжки китов, возможно, упускают главное, а замечают лишь бросающиеся в глаза детали.

Неолитическое укрепление И МОГИЛЬНИК

Раскопки на Хэмблдонском холме в юго-западной части Англии показали, что около 3600 г. до н.э. там совершались сложные погребальные обряды. После того как могильник пришел в упадок, на его месте было построено большое укрепление

Р. ДЖ. МЕРСЕР

МЕЛОВОЙ Хэмблдонский холм величаво возвышается над долиной реки Стаур на юго-западе Англии. Пастух времен неолита, которому доводилось взглянуть на вершину этого холма, наверное, видел нечто поистине впечатляющее: колоссальное для той эпохи укрепление с тремя концентрическими валами. Внутренний вал, самый мощный из трех, был укреплен 10 тысячами дубовых бревен толщиной с телеграфный столб. Во рву, окружавшем валы, были выставлены человеческие черепа, придававшие укреплению особенно мрачный вид.

Однако неолитический комплекс Хэмблдонского холма поначалу не был оборонительным сооружением. Впечатляющее укрепление явилось финалом процесса расширения стоянки, появившейся здесь около 3600 г. до н.э. и развивавшейся в течение нескольких столетий. С точки зрения археолога, Хэмблдонский холм особенно интересен даже не тем, что на нем было построено неолитическое оборонительное сооружение, а тем, что на раннем этапе существования стоянки он служил местом совершения сложных погребальных ритуалов. Когда умирал житель одного из поселений, находившихся в окрестностях холма, его тело помещали под открытым небом в специально отведенном месте. Иногда рядом с ним клали различные ценные предметы. После того как мягкие ткани отделялись от костей, останки переносили в другое место и предавали земле с соблюдением определенного ритуала.

Интенсивное строительство на Хэмблдонском холме стало возможным лишь в результате важных социальных изменений, происходивших в Британии в эпоху неолита, начавшегося здесь около 4000 г. до н.э. Именно в это время совершился переход от охоты и собирательства к земледелию и скотоводству. Первые земледельческие общины, по-видимому, не имели достаточно стабильной эконо-

мической базы для строительства постоянных поселений. Однако уже через несколько сотен лет экономическая стабильность настолько возросла благодаря развитию земледелия, что часть членов общин смогли оставить свои поля и стада и заняться новыми видами деятельности. Именно в это время на Хэмблдонском холме начали совершаться сложные погребальные ритуалы, а несколько позже там было построено оборонительное сооружение. Этот холм — место одной из самых больших (по площади) неолитических стоянок в Европе, где обнаружены следы сложных погребальных ритуалов. Такие стоянки позволяют по-новому представить картину жизни в Британии в эпоху неолита.

ЦЕЛЮ раскопок и полевых исследований Хэмблдонского холма в 1974—1982 гг., в сущности, было спасение стоянки каменного века от уничтожения фермерами. Первые следы деятельности древнего человека на Хэмблдонском холме были обнаружены давно. Еще в 1913 г. британский архитектор и археолог Хейвуд Самнер обнаружил там остатки неолитических укреплений и составил их план, ставший одним из первых подобных планов, опубликованных в Англии.

В 1959 г. холм был обследован Десмондом Бонни из Королевской комиссии по историческим памятникам. Он обнаружил там остатки еще нескольких земляных сооружений и пришел к выводу, что этот комплекс заслуживает ширококомасштабных раскопок. Однако в начале 60-х годов на-

чалась распахка пастбища на Хэмблдонском холме, в результате которой интереснейшие части этого огромного памятника оказались под угрозой полного уничтожения. Раскопки, начатые в 1974 г., к настоящему времени произведены на площади 60 тыс. м².

В ходе раскопок на холме были обнаружены остатки нескольких сооружений эпохи неолита, составляющих единый комплекс (см. рисунок на с. 45). Большая часть находок, относящихся к погребальным ритуалам, была сделана внутри большого (главного) укрепления в центре холма. К северу и югу от этого укрепления находятся две длинные невысокие насыпи, по-видимому имевшие ритуальное значение. На юго-восточном склоне холма располагалось еще одно, меньшее по размерам укрепление (Степлтонское укрепление). Вероятно, в течение некоторой части его неолитической истории внутри Степлтонского укрепления жили люди.

Оборонительные сооружения, окружавшие вершину холма, были особенно мощными с южной и восточной сторон, между Степлтонским и главным укреплениями. Не исключено, что на северном склоне холма, имевшем важное значение для обороны вершины, существовало еще одно укрепление, но его остатки погребены под развалинами пока не раскопанного другого укрепления, относящегося к железному веку. Хотя оборонительные и погребальные сооружения находятся совсем рядом, они построены, по-видимому, в разное время, и установление хронологии различных

ХЭМБЛДОНСКИЙ МЕЛОВОЙ ХОЛМ возвышается над местностью, изобилующей величественными пастбищами. На вершине холма в каменном веке находился могильник, а позднее — большое укрепление. На фотографии памятники эпохи неолита почти не видны. Земляные сооружения на северном склоне холма (нижняя часть фотографии) представляют собой остатки укрепления железного века, построенного на месте неолитических укреплений. Основные находки, свидетельствующие о неолитических погребальных ритуалах, были сделаны на вершине холма и на Степлтонском укреплении (вверху слева). Неолитические укрепления окружали всю вершину холма и были особенно мощными на южном и западном склонах (вверху справа).



фаз строительства на холме было одной из главных целей полевых работ.

Кроме стратегического положения Хэмблдонского холма выбор его вершины в качестве места для строительства был обусловлен также рядом экономических факторов. Этот холм возвышается над местностью, богатой двумя чрезвычайно важными для неолитического человека ресурсами: пастбищами и кремнем. В его окрестностях находятся такие плодородные пастбища, как Блэкморская долина на западе и меловые холмы Крэнборн-Чейз на востоке. Меловая область богата кремнем и в ней встречаются в изобилии первобытное кремневое охотничье снаряжение и кремневые топоры.

ПЛОДОРОДНЫЕ окрестности Хэмблдонского холма оказались весьма удобным местом для раннего развития земледелия и скотоводства. Возможно, этот процесс был ускорен переселением туда племен из континентальной Европы, принесших с собой новые навыки и орудия, но эта часть неолитического периода в Британии пока еще недостаточно изучена. Так или иначе, переход к производящей экономике произошел около 4000 г. до н.э.

В этом переходе от групп охотников и собирателей к оседлым общинам земледельцев и скотоводов немаловажную роль сыграло появление нового типа сооружения — укрепленной ограды (укрепления). Она помогала членам общины контролировать ресурсы и защищаться от нападений, на огороженной территории выполняли определенные виды работ (например, изготавливали орудия труда). Всего в южной Англии обнаружено около 60 неолитических укреплений площадью от 1 до 70 га. Внешний вал укрепления был обычно окружен рвом. Наряду с такими простыми сооружениями встречаются и более сложные, имеющие до 5 концентрических рвов.

Независимо от сложности почти у всех неолитических укреплений есть одна общая особенность: окружающие их рвы никогда не были сплошными: они пересекались в нескольких местах насыпями, перпендикулярными продольной оси кругового углубления. Наличие этих насыпей говорит о том, что сами по себе рвы не относились к оборонительным сооружениям; по-видимому, из них лишь брали землю для насыпания валов. Кое-где эти валы также сохранились, хотя и сильно разрушены эрозией. Вид вала и материалы, из которых он сооружался, вероятно, зависели от доступности ресурсов и назначения укрепления.

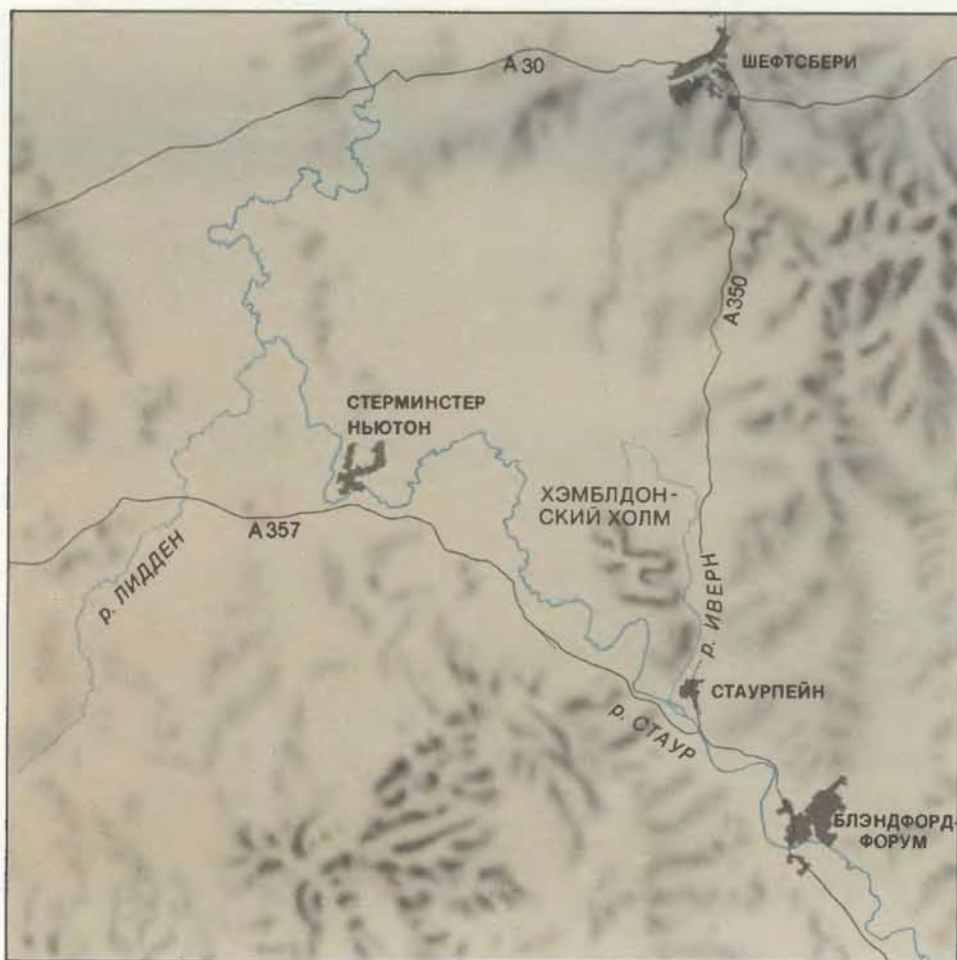
Главное укрепление, расположенное в центре Хэмблдонского холма, с самого начала привлекло особое внимание исследователей. Поскольку в 1974 г., когда здесь начались археологические работы, о Хэмблдонском холме было известно очень немного, ученые избрали простую стратегию предварительных раскопок. Сначала было раскопано примерно 20% площади главного укрепления с целью выяснить, как оно использовалось в эпоху неолита.

Одновременно были проведены раскопки приблизительно такой же части рва, окружающего укрепление. Исследование рва дало археологам дополнительную информацию о назначении укрепления, в частности позволило установить хронологию основных фаз в использовании этой части комплекса. Хронология основана на результатах радиоуглеродного анализа и тщательной реконструкции слоев, постепенно отложившихся во рву после того, как он был впервые выкопан.

Уже в начале раскопок выяснилось, что подпочвенный слой на Хэмблдонском холме был в значительной мере нарушен эрозией и распашкой. Как оказалось, распашка производилась здесь как в каменном, так в бронзовом и железном веках, а также в римскую эпоху и средние века. За несколько тысячелетий был полностью разрушен верхний слой почвы толщиной от 70 см до 1 м.

Удаление слоя почвы такой толщины значительно затруднило работу археологам, поскольку при этом была уничтожена большая часть углублений от столбов — оснований жилищ и других деревянных построек. Таким образом, нам почти ничего не известно о сооружениях, некогда стоявших на вершине Хэмблдонского холма, а это весьма значительная потеря. Однако многие ямы, находившиеся внутри главного укрепления, оказались достаточно глубокими, чтобы наслоения, образовавшиеся на их дне, уцелели от распашки. Именно они позво-

ли определить его выбор для строительства на нем укрепления в раннем неолите. Холм возвышается над долиной реки Стаур на юго-западе Англии. К западу от него лежат пастбища Блэкморской долины. Около 4000 г. до н.э., в начале эпохи неолита, плотность населения в этом районе была, по-видимому, относительно высокой, поскольку здесь имелись в изобилии пастбища и кремень, необходимый для изготовления орудий.



СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ Хэмблдонского холма определило его выбор для строительства на нем укрепления в раннем неолите. Холм возвышается над долиной реки Стаур на юго-западе Англии. К западу от него лежат пастбища Блэкморской долины. Около 4000 г. до н.э., в начале эпохи неолита, плотность населения в этом районе была, по-видимому, относительно высокой, поскольку здесь имелись в изобилии пастбища и кремень, необходимый для изготовления орудий.

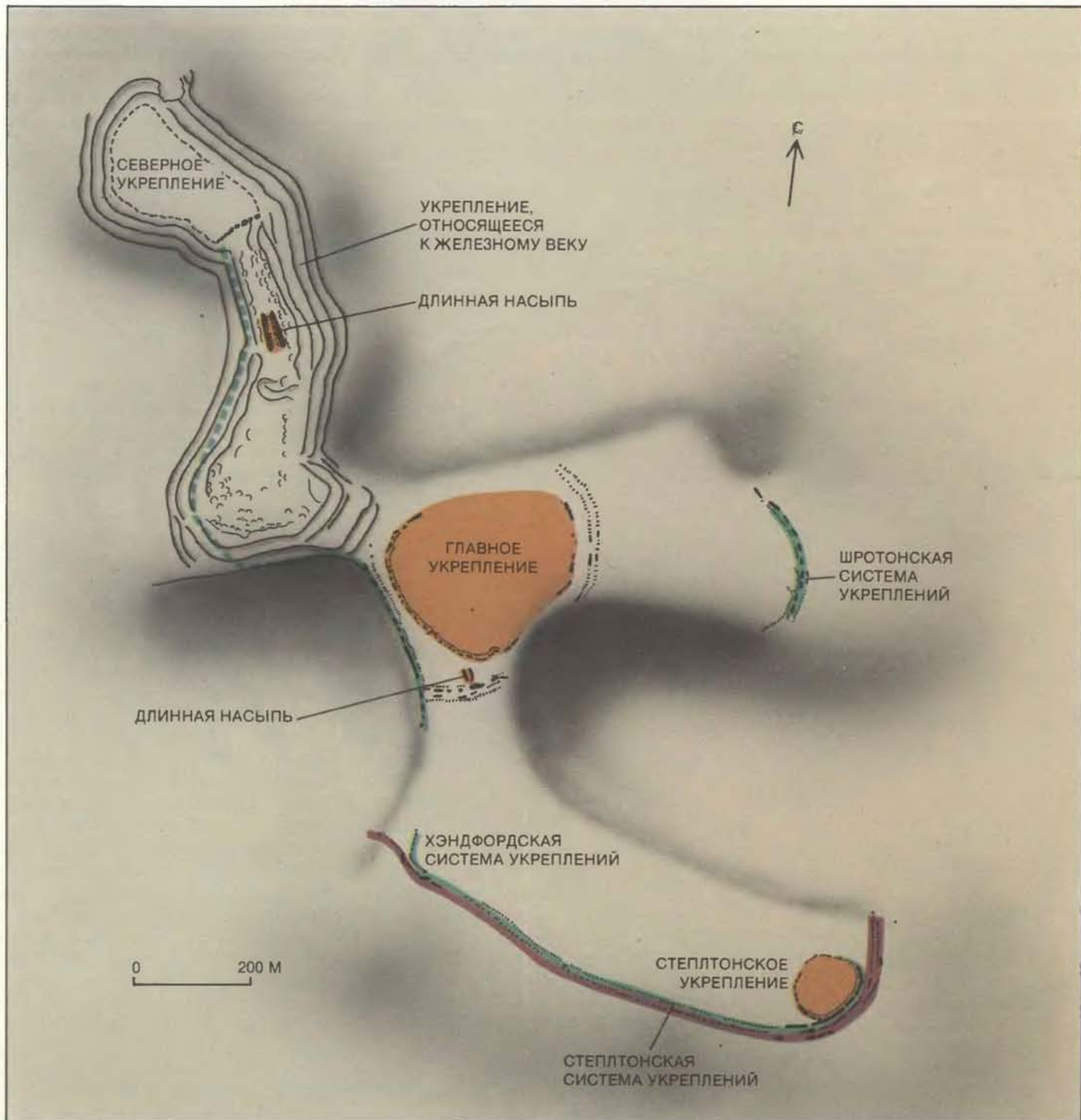
лили многое узнать о ритуалах, выполнявшихся здесь в эпоху неолита.

Многие из вырытых ям оставляли длительное время пустыми, с тем чтобы на их дне отложился в результате естественной эрозии слой мела. Затем в ямы помещали тщательно отобранные предметы, в том числе

гончарные изделия, каменные топоры и рога благородного оленя. По-видимому, это были ритуальные приношения, и, возможно, их помещали в ямы вместе с телами умерших.

Эти предметы считались у членов местной неолитической общины весьма ценными. Обнаруженные в ямах

фрагменты керамики, очевидно, представляют собой остатки сосудов. По сравнению с керамикой, обнаруженной в других частях комплекса, здесь встречается необычно много остатков изделий из разных отдаленных мест — таких, как Корнуолл и Девон. Некоторые сосуды были довольно



ПЛАН ХЭМБЛДОНСКОГО КОМПЛЕКСА, на котором показаны основные периоды его развития. В первый период (желтый цвет) там исполнялись погребальные ритуалы. Сначала тела умерших помещали под открытым небом в главном укреплении на вершине холма. После того как мягкие ткани отделялись от костей, некоторые тела, возможно, хоронили в одной из двух длинных насыпей, расположенных к северу и югу от главного укрепления. В Степлтонском укреплении, вероятно, жила небольшая привеле-

гированная группа людей, которые руководили погребальными ритуалами. Когда могильник пришел в упадок, неолитическая община построила на его месте «крепость». На южном и западном склонах холма и на Шротонском склоне был возведен вал (зеленый цвет). Третье укрепление, находившееся на северном склоне, возможно, служило «командным пунктом». Позднее для укрепления наиболее пологого и, следовательно, уязвимою южного склона были построены два дополнительных вала (коричневый цвет).

велики и изготовлены столь искусно, что местные жители пытались их имитировать, правда, не всегда успешно.

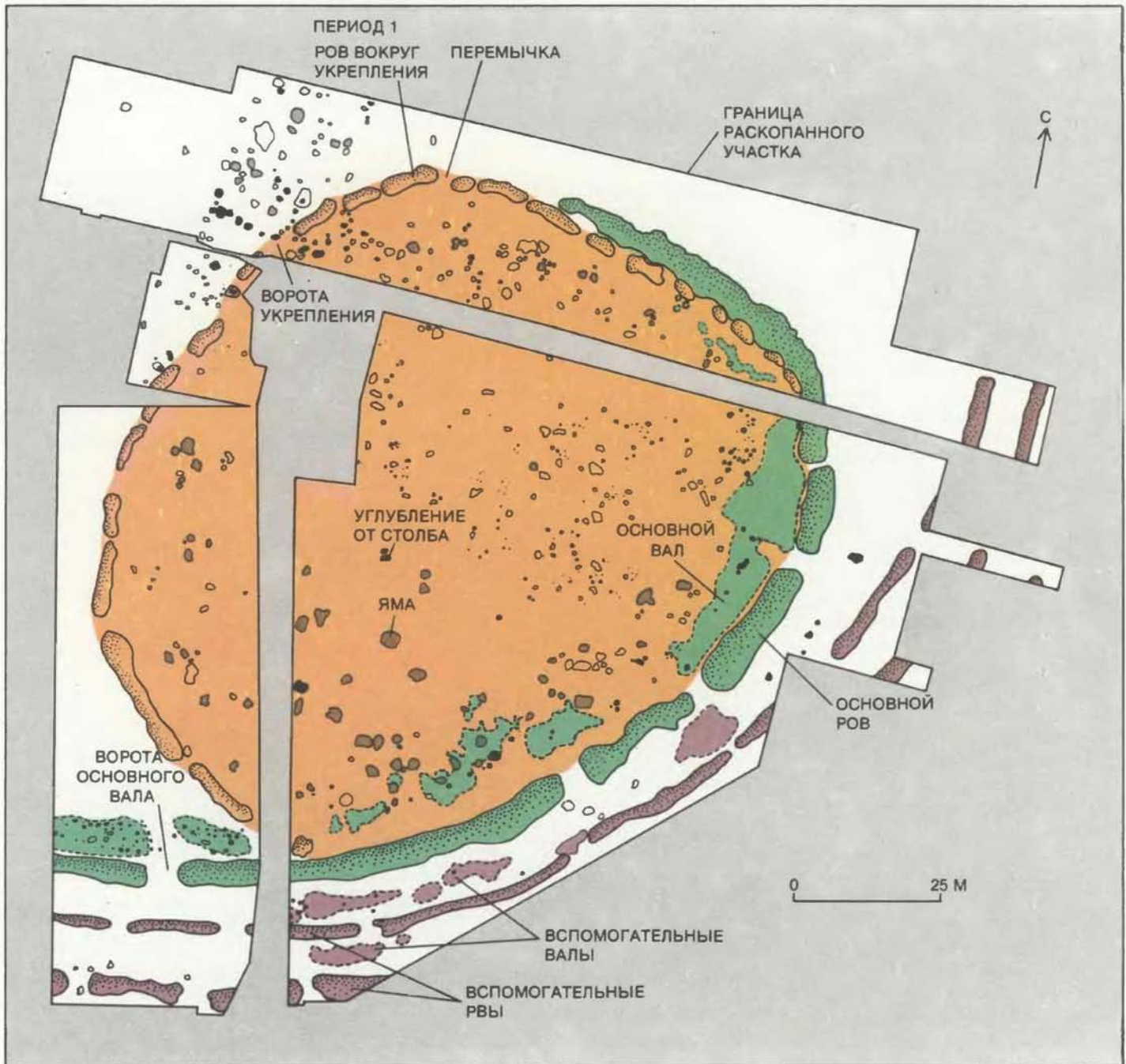
Обнаруженные в ямах каменные топоры также относятся к числу привозных предметов. Анализ камня показывает, что они привезены из Корнуолла, Южного Уэльса и Борроудэйла в Камберленде. То, что эти предметы доставляли из столь удаленных мест (Борроудэйл, например, находится в 400 км от Хэмблдонского холма), свидетельствует об их огромной ценно-

сти. Но особенно неожиданной оказалась находка двух топориков — одного из нефрита, другого из жадеита, изготовленных явно не в Британии (ближайшее возможное место их изготовления — Бретань).

Предметы, обнаруженные внутри главного укрепления, свидетельствуют о том, что там выполнялись ритуальные обряды. Раскопки во рву, окружавшем укрепление, не только подтвердили это, но и позволили узнать, каковы были эти обряды. Первоначально ров предназначался для

обеспечения материалом строительства оборонительного вала, от которого сохранились лишь остатки. В результате раскопок удалось установить, что этот вал представлял собой сооружение, имевшее деревянный каркас, заполненный мелом, который брали из рва. Хотя это сооружение и имело внушительный вид, но все же было непрочным.

После того как вал был построен, вымываемый из него мел постепенно стекал на дно рва, где образовался вязкий наносный слой. Во многих ме-



В СТЕПЛТОНСКОМ УКРЕПЛЕНИИ (желтый цвет), возможно, жили люди. Более древний ров был выкопан, чтобы обеспечить материал для строительства почти полностью разрушенного к настоящему времени вала. Вход в укрепление находился слева вверху. Наличие углублений под столбы показывает, что внутри укрепления, возможно, находились жилища. В ямах обнаружены остатки кухон-

ных отходов и отходы от изготовления кремневых орудий. После того как первоначальный вал разрушился, на месте части укрепления были возведены новые оборонительные сооружения. Сначала были сооружены главный ров и вал (зеленый цвет) с воротами слева внизу, а затем еще два меньших вала (коричневый цвет).

стах этот слой был позже срезан и использован для ремонта вала.

УДАЛЕНИЕ древними строителями этих наносов лишило нас важной информации о первоначальном назначении укрепления. Однако предметы, оказавшиеся на дне рва (после того как наносы были срезаны), носят явно ритуальный характер. Возможно, они первоначально были в кожаных мешочках. Среди находок на дне рва преобладают кости людей и животных, кремневые орудия и керамика.

Некоторые предметы прямо свидетельствуют о захоронении во рву тел умерших. Так, в нем были найдены человеческие черепа, расположенные на одинаковом расстоянии друг от друга и обращенные левой стороной вверх. В нижних слоях обнаружено большое количество разбитых человеческих костей и даже два целых детских скелета, захороненных под специально насыпанными кучами кремневых обломков.

Однако еще больший интерес представляют останки туловища и бедер 15-летнего юноши, тело которого было помещено в ров уже в полуразложившемся состоянии. Вероятно, собаки или другие хищники стащили некоторые части разложившегося трупа на дно рва и основательно изгрызли его кости.

Предположение о том, что тела умерших преднамеренно помещались под открытым небом внутри или вокруг главного укрепления, помогает ответить на два важных вопроса, касающихся погребальных ритуалов эпохи неолита. Раскопки длинных насыпей в других местах показали, что обнаруженные в них скелеты или части скелетов были захоронены уже после разложения трупов.

Первый вопрос состоит в том, где именно оставляли трупы разлагаться. Второй связан с захоронением древними жителями Британии умерших женщин и детей. Исследователей давно интересовало, почему в длинных насыпях захоронены только останки взрослых мужчин. Отсутствие останков детей тем более удивительно, поскольку в доисторические времена детская смертность была, несомненно, очень высокой.

На основании находок нами выдвинута гипотеза, что тела всех умерших членов общины помещались на открытом воздухе в специальных «центрах», таких, как главное укрепление на Хэмблдонском холме. После того как мягкие ткани отделялись от костей, некоторые скелеты отбирались для захоронения в длинных насыпях. Если эта гипотеза верна, то главное укрепление и длинные насыпи на Хэмблдонском холме являются частями единого ритуального комплекса.

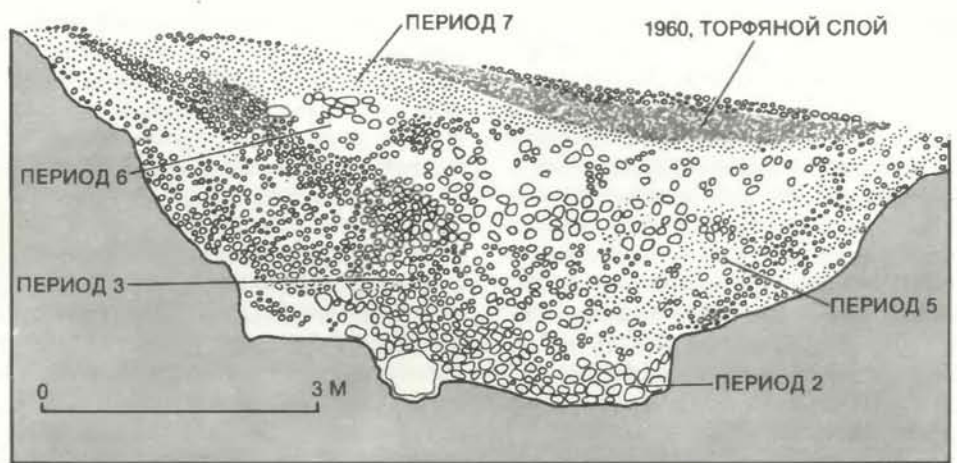


СХЕМА НАСЛОЕНИЙ во рву, окружающем главное укрепление. Изучение этих слоев помогло установить хронологию основных периодов истории комплекса. Слой № 1 соответствует сооружению самого рва, поэтому на схеме не указан. Мел, извлеченный из рва, был использован для строительства вала. Слой № 2 содержит человеческие кости и ритуальные приношения в виде рогов благородного оленя, каменных орудий и керамики. Слой № 3 представляет собой остатки вала, частично заполнившие ров после того, как главное укрепление пришло в упадок. Слой № 5 образовался, когда на месте рва была вырыта канавка и заполнена новыми приношениями, а слой № 6 соответствует насыпи из обломков кремня. Верхний слой почвы (слой № 7) образовался в более позднее время. (Слой № 4, сходный со слоем № 5, отсутствует в данной части рва.)

В пользу этой гипотезы свидетельствует, в частности, тот факт, что около 60% костей, найденных при раскопках главного укрепления на Хэмблдонском холме, были детскими. Кроме того, количество обнаруженных костей мужчин и женщин приблизительно одинаково. Таким образом, там были, по-видимому, захоронены останки всех умерших членов общины или какой-то подгруппы общины. Чтобы окончательно установить связь между главным укреплением и длинными насыпями на Хэмблдонском холме, необходимо будет произвести раскопки этих насыпей.

Южная насыпь, длиной 20 м, была стерта с лица земли бульдозером в 1960-х годах во время распахки пастбища. Однако канавка, окружавшая насыпь, сохранилась, и в ней обнаружены предметы, в основном такие же, как и во рву главного укрепления. Это свидетельствует о том, что эти два сооружения были как-то связаны между собой. К сожалению, разрушение самой насыпи лишило нас возможности выяснить связь между захороненными в ней останками и телами умерших, помещавшихся под открытым небом в главное укрепление.

Другая насыпь, длиной 66 м, находящаяся к северу от главного укрепления, осталась до нашего времени неповрежденной. Этой насыпи, расположенной внутри «крепости» железного века, в северной части холма, пока ничто не угрожает. Поскольку раскопки на Хэмблдонском холме представляли собой, в сущности, спасательную операцию, то внимание ис-

следователей было сконцентрировано на тех памятниках, которым грозило уничтожение. Раскопки же находящейся в безопасности северной насыпи не предпринимались вообще. Таким образом, чтобы окончательно выяснить связь между этим укреплением и длинными насыпями, необходимы дополнительные исследования.

ПОСЛЕДНЕЙ значительной частью погребального комплекса на вершине холма было Степлтонское укрепление, значительно меньшее по размерам, чем главное. Это неолитическое сооружение было выявлено и исследовано с помощью аэрофотосъемки. Вполне вероятно, что в ранний период строительства на Хэмблдонском холме Степлтонское укрепление представляло собой небольшое простое сооружение, вход в которое находился со стороны главного укрепления.

Следы углублений под столбы в Степлтонском укрепление показывают, что там существовали какие-то постройки. К сожалению, у нас еще недостаточно материала для реконструкции этих построек. В то же время находки, обнаруженные рядом с укреплением, свидетельствуют о том, что это были жилища. Так, в древнейшем слое отложений во рву, окружающем укрепление, найдено очень мало человеческих костей (и ни одного черепа), зато там обнаружено большое количество отходов от кремня и оленьего рога, шедших на изготовление орудий, что свидетельствует о повседневных занятиях людей эпохи неолита. Огромное количество костей

животных, обнаруженных внутри и вокруг Степлтонского укрепления, говорит и о часто происходивших там «пиршествах». По состоянию костей видно, что объедали их не слишком старательно и редко разрубали, чтобы сварить суп или потушить мясо. Очевидно, обитатели Степлтонского укрепления, кто бы они ни были, питались почти исключительно основным деликатесом неолитической эпохи — жареным мясом на костях — и без колебаний выбрасывали куски похуже. Находки внутри и вокруг укрепления свидетельствуют о том, что здесь, вероятно, жила небольшая, относительно привилегированная группа людей. Трудно удержаться от предположения, что это были именно те, кто руководил сложными погребальными ритуалами, возможно связывавшими главное укрепление с двумя длинными насыпями.

Могильник на Хэмблдонском холме все еще действовал, когда началась его постепенная перестройка. Суш-

ность работ, длившихся от 200 до 300 лет, заключалась в том, чтобы превратить вершину холма в мощную «крепость». Это был длительный процесс, и пока шло строительство валов, в главном укреплении по-прежнему исполнялись погребальные ритуалы.

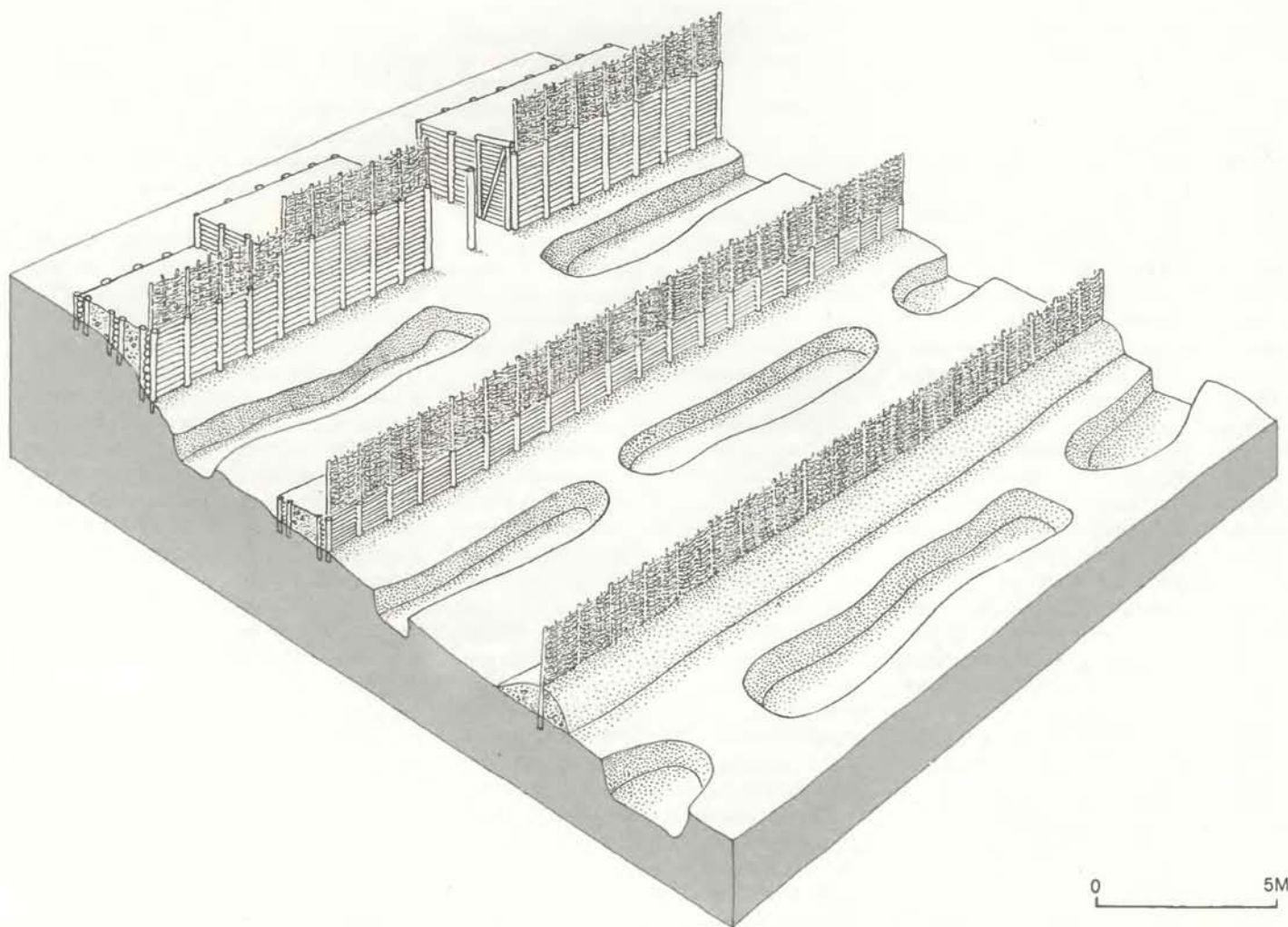
СТРОИТЕЛЬСТВО единого укрепления, по-видимому, началось после того, как главный и Степлтонское укрепления и насыпи пришли в плохое состояние. Сначала в южной части холма было построено мощное земляное укрепление. Это сооружение, представлявшее собой ров с перемычками и укрепленный бревнами вал, вероятно, прикрывало с наиболее уязвимых сторон всю вершину холма площадью около 60 га.

Однако об этой первой системе земляных укреплений нам известно немного, так как вскоре она подверглась значительной перестройке. Ров был углублен, а на месте прежнего вала был насыпан новый, более мощ-

ный. Новое укрепление также прикрывало всю вершину холма площадью 60 га.

Так же как и его предшественник, новый вал был каркасного типа. Спереди и сзади от вала, на расстоянии около одного метра друг от друга, в землю были врыты дубовые бревна толщиной с телеграфный столб. Чтобы увеличить устойчивость этих вертикальных подпорок, их, по-видимому, соединяли горизонтальными балками, проходившими через саму насыпь. Всего при сооружении крепости было использовано до 10 тысяч огромных дубовых бревен. Такой размах строительных работ показывает, что обитавшая там древняя земледельческая община обладала значительными трудовыми ресурсами и умела ими распоряжаться.

К тому времени, когда вершина холма была превращена в «крепость», могильник явно пришел в упадок. Валу главного и Степлтонского укреплений постепенно разрушились, и их



ТРИ ВАЛА защищали вершину Хэмблдонского холма с южной стороны. Главный (внутренний) вал имел деревянный каркас, для сооружения которого потребовалось до 10 тысяч дубовых бревен толщиной с телеграфный столб. В каждом проходе имелись двустворчатые ворота, повешенные на массивный дубовый столб, врытый посередине. По

верху валов проходила живая изгородь. Второй вал также имел деревянный каркас, а третий представлял собой простую насыпь. То, что рвы имели перемычки, показывает, что они служили не столько преградой на пути противника, сколько источником материала для строительства валов.

остатки заполнили рвы. То же самое произошло и с меньшей из двух длинных насыпей.

Однако даже после того, как они оказались полуразрушенными, главное укрепление и насыпи все еще использовались в ритуальных целях. Изучение слоев во рву главного укрепления показало, что после разрушения вала в его остатках, заполнивших ров, в нескольких местах были выкопаны ямы. Некоторые из этих ям, заполненных золой, обломками керамики, костями людей и животных, оказались достаточно глубокими, чтобы достичь прежнего дна рва.

Позднее вдоль всей окружности старого рва была прорыта неширокая канавка. В некоторых местах эта канавка засыпалась, и ее выкапывали вновь не менее четырех раз. Некоторые части канавки оказались засыпанными щебнем, в то время как другие оставались открытыми настолько долго, что в них образовался наносный слой, и они заполнились костями животных, обломками керамики и кремневыми орудиями. Возможно, эти ямы и канавка были вырыты в ритуальных целях и связаны с почитанием предков, некогда погребенных в укреплении.

Последним свидетельством исполнения главного укрепления для совершения ритуалов было сооружение над рвом насыпи из кремневых обломков. При раскопках рва вокруг меньшего из двух длинных курганов было обнаружено, что и здесь имела место та же последовательность действий, явно носивших ритуальный характер. Сначала в засыпанном щебнем рву вырыли неширокую канавку, а затем соорудили насыпь из обломков кремня. Такое сходство в истории насыпей и главного укрепления свидетельствует о том, что и в этот период они оставались связанными между собой по замыслу строителей крепости. Очевидно, они по-прежнему были частями единого могильника, хотя и пришедшего в упадок, но все еще действовавшего. Это предположение отчасти подтверждается и тем фактом, что вокруг Степлтонского укрепления, и в этот период остававшегося местом обитания людей, не было обнаружено никаких следов подобных погребальных ритуалов.

ВТО ВРЕМЯ, как характер построек внутри укрепления постепенно менялся, возведение оборонительных сооружений продолжалось. Вслед за главным валом были построены два вспомогательных, прикрывших холм с наиболее уязвимой, южной стороны. Внешний вал представлял собой простое земляное сооружение, а средний, так же как и внутренний, имел деревянный каркас.

Входом в крепость служили трое широких, укрепленных частоколом ворот. Первый вход находился рядом со Степлтонским укреплением, второй — на Хэнфордском склоне холма (между Степлтонским и главным укреплениями), а третий — на восточном склоне. Посередине каждого прохода был врыт толстый столб, на котором висели две створки ворот. Ширина прохода, несколько сужавшегося во внутренней части, достигала двух с половиной метров, а его стенки были укреплены массивными дубовыми столбами.

После постройки внешних валов Хэмблдонское укрепление превратилось в весьма внушительное сооружение. Оно было видно на расстоянии многих миль, практически из любой точки Блэкморской долины, в которой паслись стада местной общины. Южный и западный склоны холма были защищены укрепленным бревнами валом длиной около 2500 м. Для того чтобы построить вал на крутом западном склоне, сначала пришлось вырыть террасу. С южной стороны в дополнение к основному валу были построены мощные вспомогательные оборонительные сооружения длиной до 1200 м.

«Командным пунктом», по-видимому, служило укрепление, расположенное на северном склоне холма. Следы этого укрепления, на месте которого в железный век было построено новое укрепление, удалось обнаружить благодаря аэрофотосъемке и огромной работе, проделанной геодезистом экспедиции Роджером Палмером. Северное укрепление, площадью около 4,5 га, пока еще не раскопано.

Сооружение трех валов превратило вершину Хэмблдонского холма в мощное укрепление. Однако оно во все не была неприступным. Напротив, раскопки показали, что комплекс был окончательно заброшен после нападения врагов, в ходе которого сгорел участок стены длиной около 200 м, расположенный на юго-восточном склоне холма.

Этот пожар вряд ли мог быть случайным, поскольку пылало все сооружение. Дубовые столбы сгорели до основания. Это свидетельствует о том, что стену подожгли намеренно. В результате пожара обгоревшие бревна, а позже и остатки самого вала обрушились в ров. Обожженные куски мела, обнаруженные во рву, говорят о большой силе пламени.

КАК осаждающие, так и защитники укрепления, по-видимому, понесли значительные потери. Состояние скелетов двух молодых мужчин, обнаруженных здесь, говорит о том, что они были захоронены наспех. Один из них, очевидно, нес с собой

грудного ребенка, которого он раздавил при падении. Этот человек был убит стрелой с изящным листовидным наконечником, пронзившей грудную клетку со спины.

Еще один молодой мужчина, скелет которого лежал на краю рва, вообще не был похоронен. По состоянию костей видно, что он вскоре стал добычей хищников. Четвертый скелет, найденный в верхнем слое, во рву Степлтонского укрепления, был стащен туда и разорван на части собаками или волками.

Впрочем, некоторые из погибших все же были преданы земле с соблюдением погребальных ритуалов. Так, в северной части Степлтонского укрепления обнаружены два захоронения, судя по всему имеющие непосредственное отношение к пожару. Одна из ям, в которую было аккуратно положено тело молодого мужчины, засыпана сильно обожженным мелом, явно взятым с разрушенной во время штурма части вала.

То, что комплекс на Хэмблдонском холме оказался заброшенным в результате вооруженного нападения, не вызывает сомнений. Однако обстоятельства, вызвавшие это столкновение, нам неизвестны. По-видимому, в середине эпохи неолита, около 3300 г. до н.э., имел место период каких-то социальных катаклизмов, обусловленных экономическими факторами или природными условиями. Известно, что именно в это время были покинуты многие поселения, причем при раскопках некоторых из них обнаружено большое количество листовидных наконечников стрел.

К сожалению, у нас еще недостаточно данных для того, чтобы ответить на вопрос о причинах этих событий. Более того, мы пока очень мало знаем даже о самом штурме «крепости» на Хэмблдонском холме. Вероятно, что основной целью атакующих было взятие укрепления, расположенного на северном склоне холма. (Позже, в железный век, там было построено другое укрепление.) Скелеты же и разрушения, обнаруженные до сих пор, представляют собой лишь следы предварительной стычки.

Чтобы дать окончательный ответ на этот вопрос, необходимо произвести раскопки северного укрепления. К счастью, этот склон Хэмблдонского холма был недавно приобретен Британским советом по охране природы, поэтому находящимся там археологическим памятникам распахка не угрожает. Раскопки северного укрепления помогут узнать много нового об истории Хэмблдонского комплекса. Но и уже проделанная работа дает представление об энергии и строительных замыслах древнейших земледельцев Британии.

Ионная имплантация

Внедрение примесных ионов в поверхность материала придает ей новые свойства. Метод имплантации приобретает все большее значение как в промышленности, так и в науке

ТОМАС ПИКРО, ПОЛ ПИРСИ

ПОВЕРХНОСТЬ — это граница, где материал соприкасается с внешней средой. Именно поверхность любого изделия подвергается коррозии и износу, облучается светом и взаимодействует с внешними электрическими и магнитными полями. С уменьшением размеров механических и электронных деталей отношение поверхности к объему увеличивается, и потому значение характеристик поверхности возрастает. Желание придать поверхности определенные электрические, механические, оптические или химические свойства часто противоречит другим требованиям, которые определяются свойствами изделия в целом: низкой стоимости, высокой прочности или легкости обработки.

Ионная имплантация открывает невиданные ранее возможности для придания поверхности свойств, не зависящих от свойств, определяемых всей массой изделия. Новая технология позволяет внедрить в поверхность вполне определенное количество почти любого химического элемента путем ее бомбардировки ускоренными в электростатическом поле ионами примесного вещества. Внедрившиеся ионы соединяются с атомами основного вещества, образуя поверхностный слой толщиной несколько десятитысячных долей миллиметра, который располагается на заранее заданной глубине. Таким образом можно создавать уникальные структуры и составы: сплавлять металлы, которые в жидком состоянии не смешиваются, или вводить одно вещество в другое в пропорциях, которых невозможно достичь даже при использовании высоких температур, необходимых для смешивания этих веществ. При этом свойства поверхности меняются часто неожиданно и благоприятно.

Ионная имплантация впервые стала использоваться в начале 60-х годов. Ее появление было обусловлено достижениями в различных областях науки. Физики облучали вещество пучками ускоренных частиц, исследуя столкновения атомов и структуру их ядер. Радиохимики пытались выявить, какие изменения возникают в кристаллической решетке твердого

тела под действием быстрых частиц, испускаемых ядрами при радиоактивном распаде. Специалисты по полупроводникам искали новые способы легирования кремния, т.е. внедрения в кристаллическую структуру примесей, изменяющих его электрические свойства. Стремление к миниатюризации и попытки создания интегральных схем, представляющих собой небольшой кусочек кристалла со множеством транзисторов, диодов, резисторов и конденсаторов, потребовало разработки более точных методов легирования, чем осаждение примеси из газовой фазы или покрытие кремния пленкой легирующего вещества. В основе обоих методов лежит диффузия атомов примеси в кремний при высокой температуре, что приводит к получению профиля концентрации, плавно изменяющегося с глубиной.

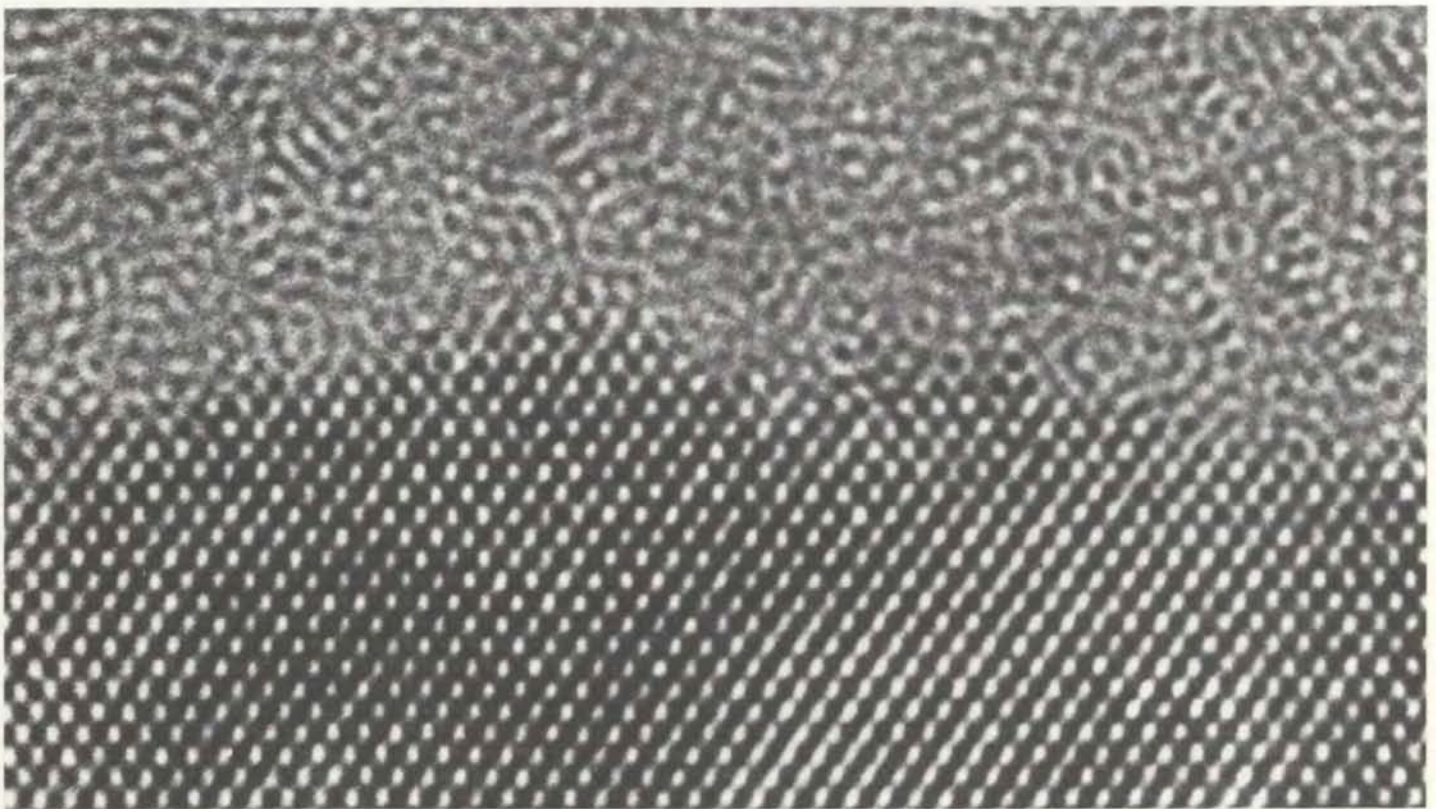
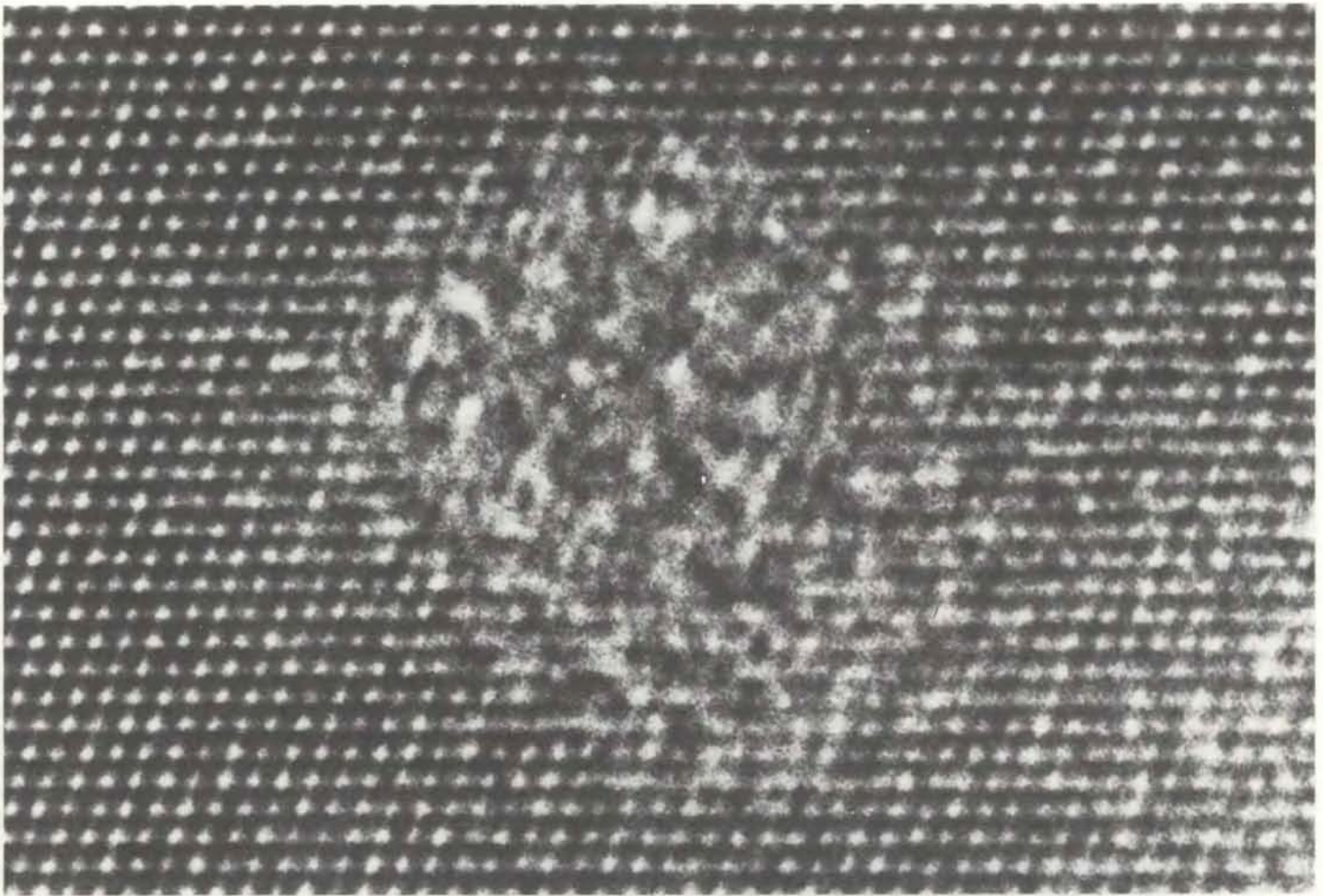
Поскольку электрические процессы в интегральных схемах происходят в очень тонких поверхностных слоях, потребовался метод, позволяющий точно контролировать число и глубину внедрения примесных атомов. Используя пучки ускоренных ионов, подобные тем, которые генерируются при проведении фундаментальных исследований в физике и химии, разработчики полупроводниковых материалов обнаружили, что с их помощью можно легировать кремний с необходимой точностью. Применение ионных пучков произвело революцию в микроэлектронике, сделав возможным производство маломощных быстродействующих полупроводниковых устройств, которые теперь широко используются как в простых микрокалькуляторах, так и в сложных компьютерах. В настоящее время ученые исследуют, как с помощью ионных пучков можно изменять свойства других веществ: металлов и диэлектриков, в том числе керамики и стекла. Имплантация — это не только перспективный технологический процесс, но и инструмент для научных исследований.

НЕСМОТРЯ на различие целей, аппаратура, которая используется для обработки веществ ионными пучками, мало отличается от той, которая применяется для исследования ядер-

ных взаимодействий. Ионы создаются в специальной камере с ускорителем, в котором электроны, испускаемые нитью накала, разгоняются в электрическом поле. Если ионизируемое вещество имеет газообразную форму, как, например, аргон или углерод в виде углекислого газа, то оно непосредственно вводится в камеру. В столкновениях с ускоренными электронами атомы теряют свои электроны, газ ионизируется, и образуется плазма. Летучие элементы, такие, как олово, нагревают в печи, сообщаясь с плазменной камерой; испаряясь, они проникают в камеру, где ионизируются быстрыми электронами.

Для нелетучих веществ процесс несколько усложняется. В камеру помещают пластину из такого вещества и ионизируют газ, например аргон. Пластине сообщают отрицательный заряд; она притягивает положительные ионы газа, которые при столкновении с поверхностью выбивают часть атомов вещества. При этом поверхность пластины настолько нагревается, что некоторые атомы испаряются; свободные атомы ионизируются электронами.

Полученная плазма отводится из камеры электрическим полем. В большинстве случаев необходимо, чтобы пучок ионов был довольно чистым. Поэтому трубку, в которой находится ионизованный газ, окружают магнитом, отклоняющим ионы на определенный угол. Более легкие ионы отклоняются на большие углы и отсеиваются из пучка, более тяжелые также отсеиваются, поскольку их углы отклонения оказываются меньшими, чем у выбранных ионов. Очищенный пучок фокусируется и последовательно ускоряется несколькими электрическими полями, пока ионы не приобретают требуемую энергию. Затем ионы направляются в имплантационную камеру, где бомбардируют обрабатываемую мишень. Поскольку пучок узок (обычно несколько сантиметров в диаметре), для равномерного покрытия мишени его отклоняют так, чтобы он скользил вдоль ее поверхности. Во многих случаях у входа в имплантационную камеру устанавливают электроды, которые отклоняют пучок то в одну сторону, то в дру-



ИЗМЕНЕНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВЕЩЕСТВА — один из результатов ионной имплантации. На микрофотографиях кремния, полученных Дж. Нараяном из Национальной лаборатории в Ок-Ридже методом электронной просвечивающей микроскопии, показана кристаллическая решетка в поперечном разрезе. Каждое яркое пятно соответствует цепочке атомов в кристаллической решетке. Нарушение регулярности решетки вблизи центра верхнего изображения — результат ее бомбардировки ионом

висмута с энергией 100 кэВ. Если такую бомбардировку продолжить, то разупорядоченность распространится на весь верхний слой кристалла и он перейдет в аморфное состояние. На нижней фотографии заметна резкая граница между аморфной зоной и ненарушенной частью кристалла, лежащей ниже нее. Своеобразная структура аморфной зоны является артефактом фотографирования и не соответствует атомной структуре имплантированного слоя.

гу; иногда перемещается сама мишень.

Когда ионы проникают в материал мишени, они теряют энергию при столкновениях с электронами и ядрами и быстро останавливаются. Наиболее вероятная глубина внедрения, или пробега, ионов может быть вычислена, если известны их тип и энергия, а также свойства бомбардируемого вещества. Для пучков с типич-

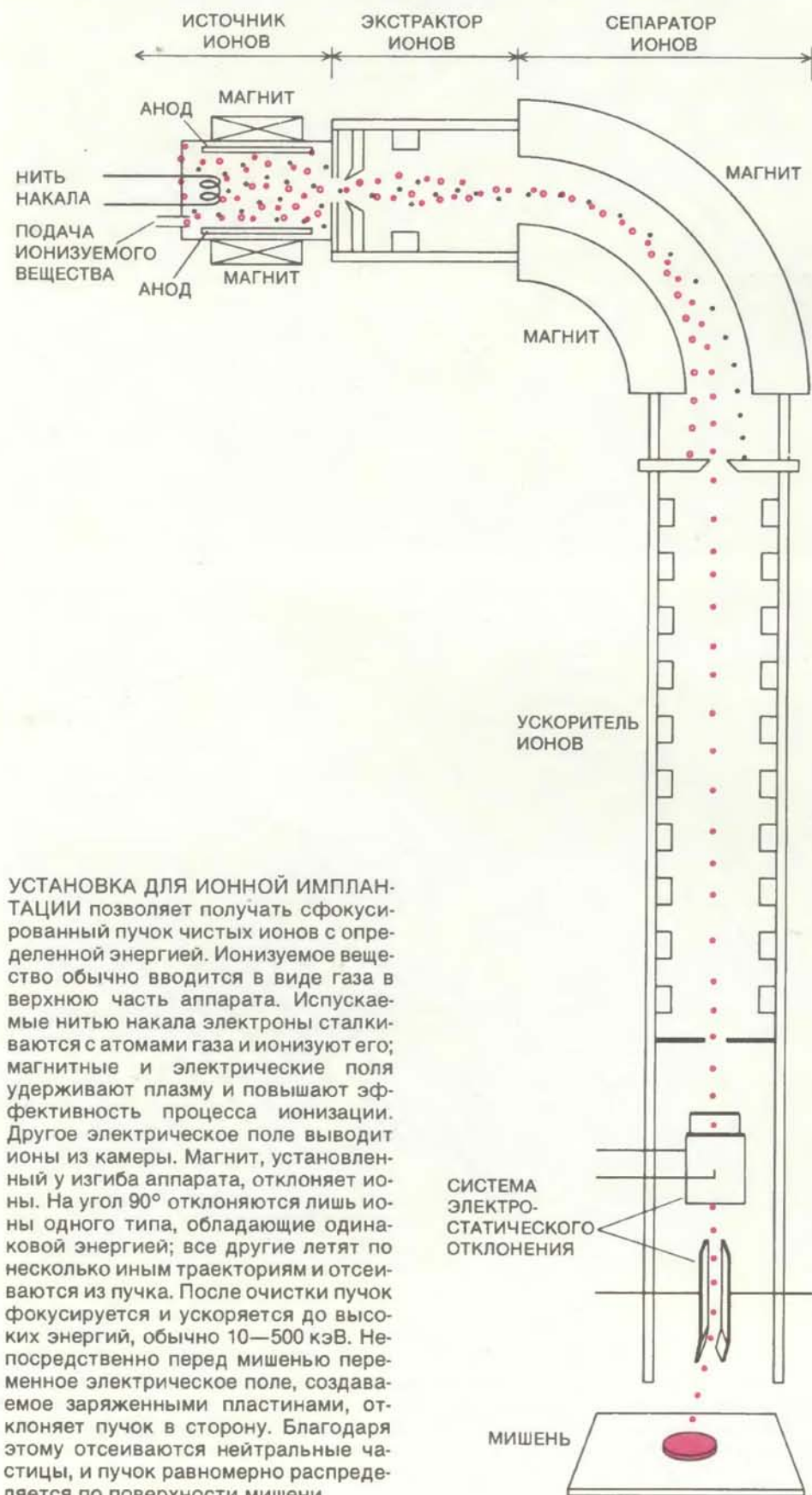
ными энергиями 10—500 кэВ величина наиболее вероятного пробега лежит в пределах 10—1000 нм. Конечно, не все ионы имеют одинаковую величину пробега. На самом деле значения пробегов имеют распределение, которое можно представить в виде кривой в форме колокола; ее центр будет соответствовать глубине, на которую проникнет максимальное число ионов. Ширина кривой, представляющая

нормальный разброс пробегов именуется рассеянием.

Распределение пробегов имплантированных ионов можно не только предугадать, но и управлять им. Благодаря этому можно заранее задать изменения, которые желательно получить в структуре бомбардируемого материала. Для этого необходимо знать величину потока ионов, число атомов в единице объема бомбардируемого вещества и время экспозиции. Предположим, что требуется изменить состав поверхностного слоя толщиной 100 нм, в котором содержится $5 \cdot 10^{22}$ атомов в 1 см^3 , на 10 млн^{-1} . Если поток ионов в пучке равен 10^{14} ион/($\text{см}^2 \cdot \text{с}$), то потребуются экспозиция в $1/20 \text{ с}$ на единицу площади поверхности мишени. Чтобы изменить состав на 20%, потребуются экспозиция примерно 20 мин на единицу площади. Для того чтобы имплантированные атомы равномерно распределились по глубине обрабатываемого участка, необходимо варьировать энергию ионного пучка так, чтобы кривые распределения, соответствующие отдельным значениям энергии, вместе образовали результирующее распределение с постоянным профилем.

ВТОРЖЕНИЕ быстролетящих примесных ионов в кристаллическую решетку основного материала повреждает ее различными способами. Ионы выбивают атомы вещества из узлов решетки, оставляя в ней пустые места, именуемые вакансиями; выбитые ионами атомы и сами ионы застревают между узлами решетки, образуя так называемые межузельные атомы. Накапливаясь, эти точечные дефекты образуют скопления вакансий и межузельных атомов; большое число дефектов в одной плоскости кристаллической решетки создает плоское скопление, именуемое дислокационной петлей. При дальнейших повреждениях кристаллической структуры петли растут и, пересекаясь друг с другом, образуют сеть дислокационных линий.

Беспорядок, который вызывает в кристаллической решетке вещества бомбардировка ионами, называют радиационным повреждением; повреждение, создаваемое одиночным ионом, именуется каскадом столкновений. Если ион и атомы вещества мишени имеют большие атомные номера и тяжелые ядра, то повреждения быстро нарастают; они нарастают медленнее, если вещество и ионы имеют более легкие ядра. Как правило, при прохождении иона через каждую плоскость решетки, смещается один атом. При ионной бомбардировке, вызывающей изменение состава поверхности слоя на 1%, каждый атом в



УСТАНОВКА ДЛЯ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ позволяет получать сфокусированный пучок чистых ионов с определенной энергией. Ионизируемое вещество обычно вводится в виде газа в верхнюю часть аппарата. Испускаемые нитью накала электроны сталкиваются с атомами газа и ионизируют его; магнитные и электрические поля удерживают плазму и повышают эффективность процесса ионизации. Другое электрическое поле выводит ионы из камеры. Магнит, установленный у изгиба аппарата, отклоняет ионы. На угол 90° отклоняются лишь ионы одного типа, обладающие одинаковой энергией; все другие летят по несколько иным траекториям и отсеиваются из пучка. После очистки пучок фокусируется и ускоряется до высоких энергий, обычно 10—500 кэВ. Непосредственно перед мишенью переменное электрическое поле, создаваемое заряженными пластинами, отклоняет пучок в сторону. Благодаря этому отсеиваются нейтральные частицы, и пучок равномерно распределяется по поверхности мишени.

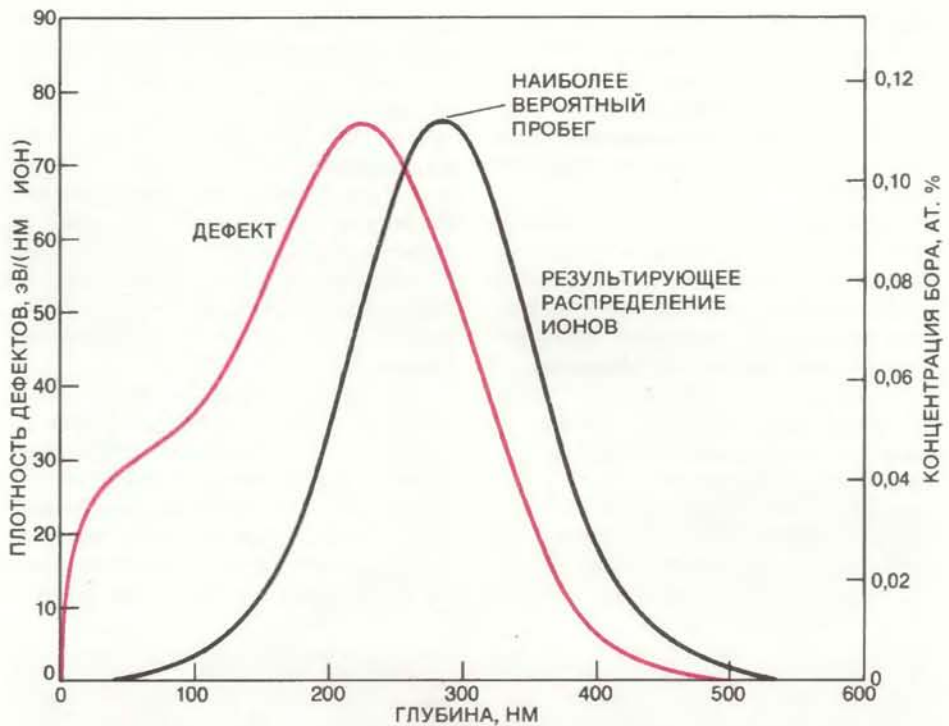
пределах глубины имплантации смещается несколько раз.

В некоторых случаях радиационные повреждения ведут к благоприятному изменению электрических или механических свойств материала. Однако чаще такие повреждения и их последствия бывают нежелательными. В полупроводниках примесные атомы, задержавшиеся между плоскостями решетки, не выполняют предназначенной им роли доноров или акцепторов; в то же время вакансии изменяют проводимость полупроводника, захватывая электроны или положительные заряды. Для получения оптимальных свойств необходимо, чтобы примесные ионы встроились в кристаллическую решетку и заполнили вакансии.

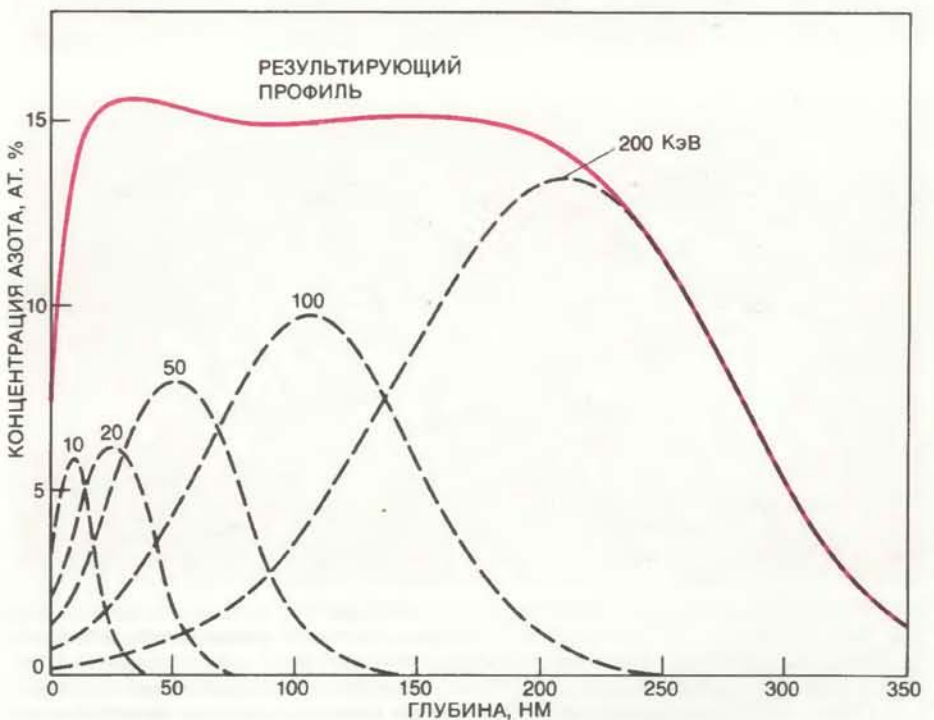
Многие точечные дефекты могут перемещаться и недолго сохраняются при комнатной температуре. Межузельные атомы заполняют вакансии или мигрируют к поверхности. Дефектные скопления и петли, напротив, обычно устойчивы, и для их устранения требуется отжиг: нагрев вещества ускоряет перегруппировку атомов, которые занимают энергетически более выгодные позиции в упорядоченной кристаллической решетке.

СТАНДАРТНЫЙ технологический процесс производства микросхем состоит из одного или нескольких этапов ионной имплантации, чередуемых с отжигом, в процессе которого примесные атомы встраиваются в кристаллическую решетку кремния. Электрическую основу работы микросхем составляют переходы между областями полупроводника с различными электрическими свойствами. Одна область содержит примесные атомы, легко отдающие электроны, которые повышают электрическую проводимость; эта область полупроводника имеет электронную, или *n*-типа, проводимость. Соседняя с ней область содержит иную примесь — ее атомы легко принимают электроны основного вещества, оставляя в нем положительно заряженные дырки; они подвижны и создают дырочную проводимость *p*-типа. На границе двух областей с различными типами проводимости возникает электрическое поле, которое играет ключевую роль в работе полупроводниковых схем.

Примеси вносятся ионным пучком; для получения проводимости *n*-типа в кремний добавляют фосфор или мышьяк, *p*-типа — бор. Перед каждым циклом ионной обработки кремний покрывают слоем маскирующего вещества, чувствительного к свету или электронам. Для переноса рисунка схемы на маску применяют методы электронно-лучевой литографии или



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ ПО ГЛУБИНЕ при имплантации энергетически однородным пучком имеет нормальный вид (черная кривая). Глубина, на которой кривая достигает максимума, зависит от энергии пучка, а также от типа ионов и бомбардируемого материала. Столкновения ведут к смещению атомов и образованию дефектов кристаллической решетки материала. Глубина, на которой происходят столкновения, меньше той, на которой ионы окончательно останавливаются. Цветная кривая показывает распределение дефектов по энергии, теряемой ионом при столкновениях с атомами в каждом нанометре толщины материала. Кривые получены при имплантации кремния ионами бора в количестве 10^{15} на 1 см^2 поверхности. Энергия ионного пучка равна 100 кэВ.



ОДНОРОДНАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ ИОНОВ в поверхностном слое достигается варьированием энергии пучка и числа ионов, попадающих в мишень, при каждом значении энергии пучка. Пунктирными кривыми показаны распределения ионов азота, имплантированных в железо пучками с различными энергиями. При каждой очередной обработке энергия пучка и число имплантированных ионов увеличивались. Сплошная кривая, полученная суммированием отдельных профилей концентрации, показывает, что путем многоступенчатой обработки можно создать однородную концентрацию на глубине 200 нм.

фотолитографии. Облученные области маски удаляют химическим путем; при этом удаленные части маски защищают поверхность от воздействия ионов. После имплантации кристалл отжигают при температуре 600—1000 °С.

Описанный выше процесс хорошо отработан. В настоящее время исследуется возможность использования ионно-лучевой технологии для производства нового поколения полупроводниковых устройств. Например, в производстве сверхбольших интегральных схем (СБИС), технология изготовления которых находится сейчас в стадии освоения, можно обойтись без этапа маскирования. Для нанесения очень плотного и тонкого рисунка СБИС требуется исключительно высокая разрешающая способ-

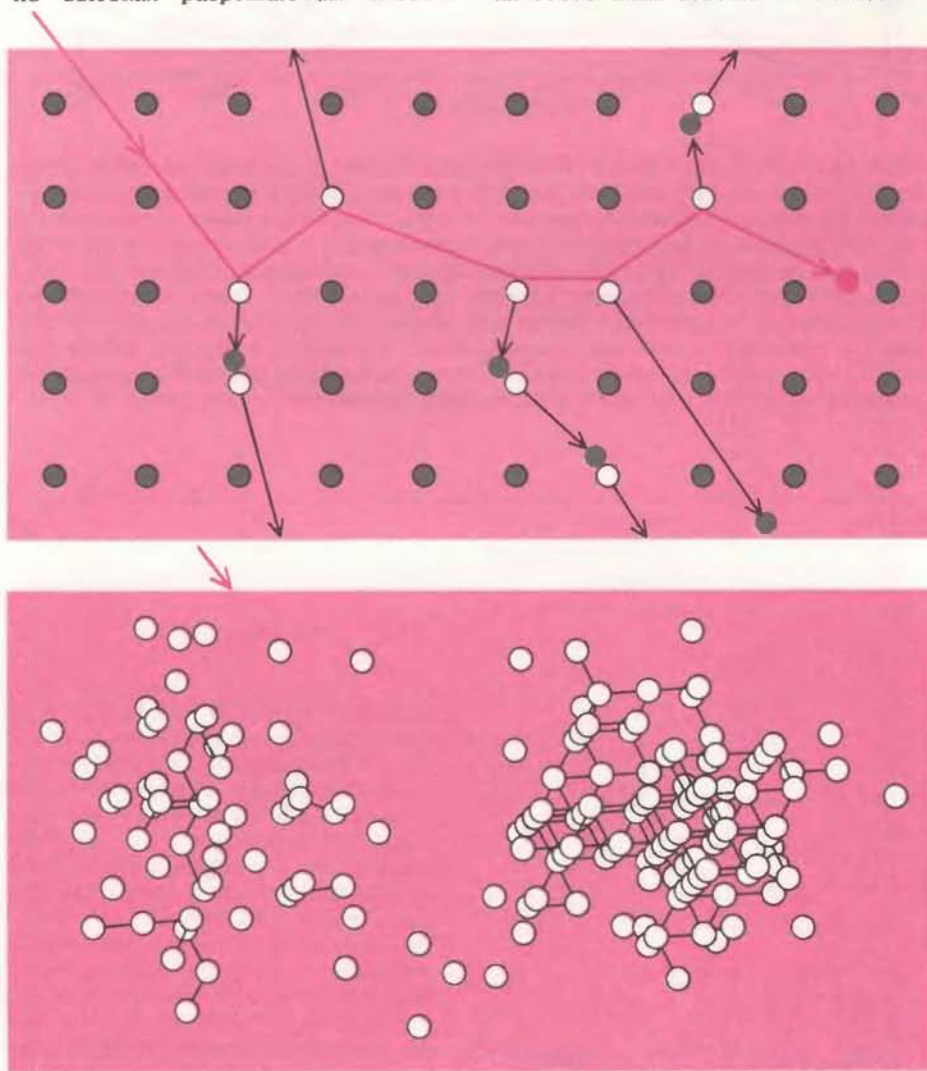
ность, близкая к тому пределу, который можно получить, используя электронный пучок или луч света. С помощью остросточкованного ионного пучка достигается значительно большее разрешение; в принципе ионные пучки можно применять, не прибегая к маскированию, и создавать элементы схемы шириной меньше одного микрометра, а их электрические характеристики изменять в пределах, определяемых всего 100 примесными атомами.

Другая разновидность новой технологии — изготовление полупроводниковых соединений — требует применения сложных процессов отжига. Полагают, что такие полупроводники позволят создать более быстродействующие схемы. Полупроводники этого типа состоят не из одного

элемента, а из нескольких — например мышьяка и галлия (арсенида галлия), в котором электроны и дырки перемещаются быстрее. Кристаллическая структура вещества, включающего два или более элементов, состоит из взаимопроникающих подрешеток: атомы каждого элемента, смещенные в процессе имплантации, должны возвратиться на свои места в соответствующие подрешетки. Отжиг еще более усложняется, когда один из элементов летучий, как, например, мышьяк. Длительный отжиг может привести к частичной утрате его атомов, что отразится на химическом составе (стехиометрии) полупроводника и его электрических свойствах. В число методов, которые, как надеются, позволят преодолеть это затруднение, входят применение защитных покрытий, препятствующих испарению летучего элемента, высокотемпературный отжиг с помощью оптических импульсов и отжиг в атмосфере с избыточным давлением паров летучего элемента.

Ионные пучки позволяют не только обрабатывать полупроводники с целью получения электрической проводимости требуемого типа, но и создавать новые полупроводниковые среды. Например, микроминиатюризация на уровне СБИС требует, чтобы локальные электрические процессы сосредоточивались в чрезвычайно тонких слоях полупроводника и электрическое взаимодействие соседних элементов схемы было как можно меньшим. Один из путей к этому лежит через создание схем, именуемых «кремний-на-диэлектрике» (КНД), в которых слой кремния толщиной около 0,5 мкм, лежит на изолирующей подложке. КНД-схемы потребляют меньшую мощность, имеют большее быстродействие и менее чувствительны к радиации (важное свойство для космических и военных целей). Они также более устойчивы к «зашелкиванию» — разрушительному процессу, приводящему к электрическому закорачиванию соседних транзисторов в схеме.

Получить достаточно тонкий слой монокристаллического кремния на диэлектрике довольно трудно, и это замедлило внедрение КНД-технологии. Ионная имплантация позволила решить эту проблему. Изолирующий слой двуокиси кремния можно создать путем имплантации ионов кислорода в кристалл кремния при соответствующих условиях. Тщательная стабилизация энергии имплантирующего пучка и температуры позволяет сформировать изолирующую зону не на поверхности кремниевого кристалла, а на 0,5 мкм ниже нее. После этого элементы микросхемы формируются в поверхностной пленке неизменно-



НАРУШЕНИЕ кристаллической структуры материала проявляется в двух формах. Ионы выбивают атомы из узлов решетки, оставляя вакансии (белые кружки); смещенные атомы и имплантированные ионы часто «застревают» между атомными плоскостями кристалла. Они называются межузельными атомами. Если ион и обрабатываемый материал имеют тяжелые ядра, то попадание даже одного иона вызывает обширные дефекты. На нижней части рисунка показано распределение вакансий, возникшее после попадания одного иона молибдена на поверхность вольфрамовой иглы; линиями соединены вакансии, принадлежащие соседним узлам решетки. Стрелкой показано приблизительное место вхождения иона. Это трехмерное распределение было построено Чин-Ю Веем и Д. Сейдманом из Корнеллского университета. Они использовали метод испарения под действием поля, позволивший последовательно обнажать слой за слоем атомы на поверхности иглы. Структура каждого «обнаженного» слоя регистрировалась с помощью ионной эмиссионной микроскопии.

го кремния, которая электрически изолирована от остальной части кристалла.

ПО ОТНОШЕНИЮ к полупроводникам ионная имплантация применяется почти исключительно для изменения их электрических свойств. Что касается металлов, то в этом случае на первый план выдвигаются задачи изменения их механических и химических свойств. Такой способ получения желаемых свойств материала тем более ценен, что он не требует изменения размеров или объемных свойств деталей; к тому же адгезия имплантированных поверхностей не ухудшается в отличие от тех случаев, когда применяют различного рода покрытия.

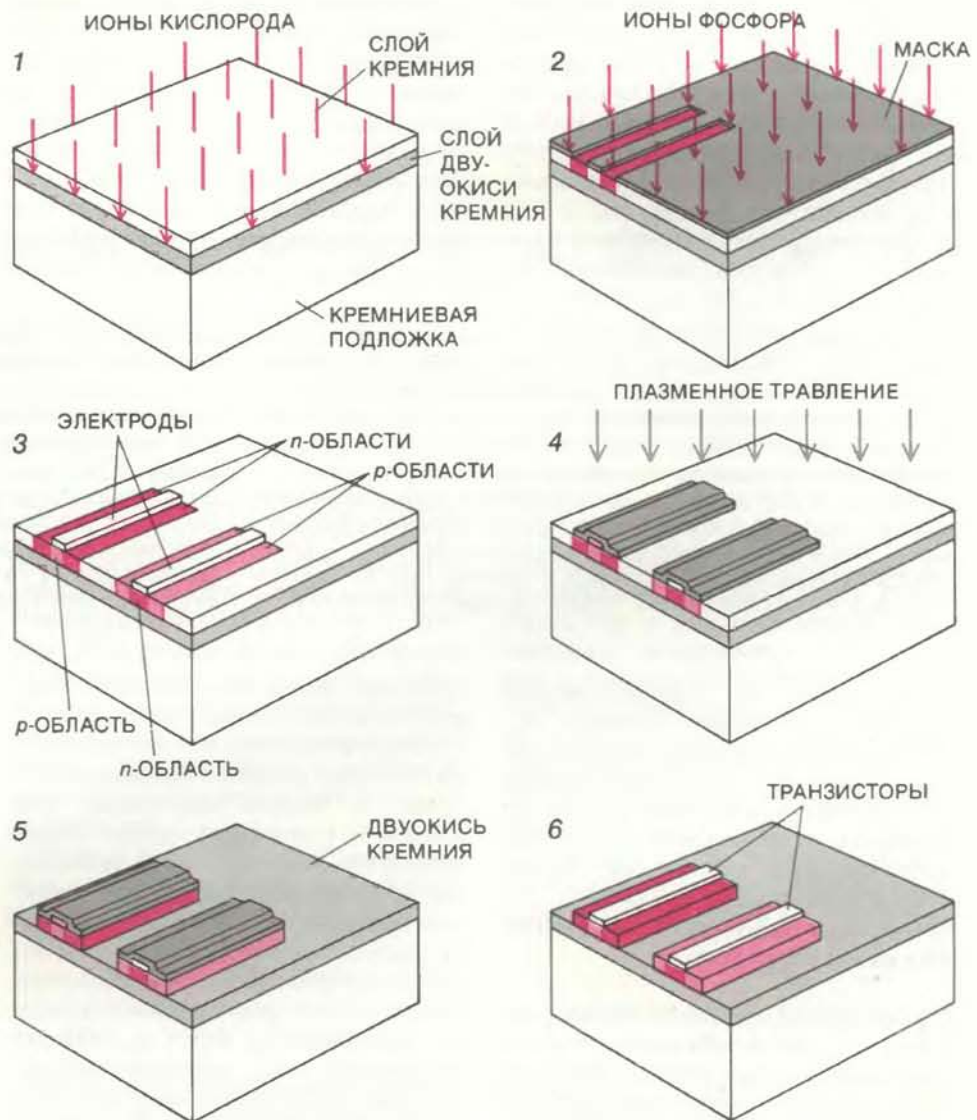
Ионная имплантация существенно улучшает рабочие характеристики поверхностей металлических изделий, повышая их прочность и износостойкость, сопротивление окислению или коррозии, понижая коэффициент трения и изменяя к лучшему ряд других их свойств. Если для создания электрической проводимости *n*- или *p*-типа в полупроводниках достаточно, чтобы концентрация примеси составляла несколько частей на миллион, то для заметного изменения поверхностных свойств металла необходимо, чтобы концентрация имплантированных ионов достигала нескольких атомных процентов. Поэтому в последнем случае требуются длительные экспозиции и применение ускорителей, создающих большие потоки ионов.

Из всех свойств поверхности, на которые ионная имплантация оказывает благоприятное воздействие, наиболее важным является износостойкость. И это неслучайно, так как большинство важных процессов, влияющих на износ, протекают в наружном слое толщиной около 1 мкм, в котором ионная имплантация может непосредственно произвести структурные изменения. Более того, многие традиционные методы обработки, которые повышают поверхностную прочность и износостойкость, также связаны с введением в поверхностный слой различных примесей. Примером может служить азотирование стали, которое обычно применяют для обработки опорных поверхностей деталей клапанов и цилиндров в двигателях внутреннего сгорания, а также других деталей, для которых необходима прочная поверхность. При азотировании изделие нагревают примерно до 500 °С в атмосфере, обогащенной азотом обычно в виде аммиака. Азот диффундирует в поверхность, где он взаимодействует с железом, образуя мелкие кристаллы нитрида, вкрапленные в кристаллическую структуру стали.

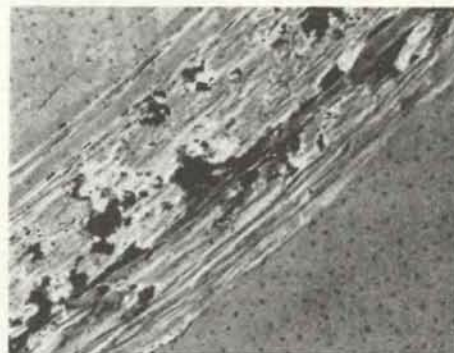
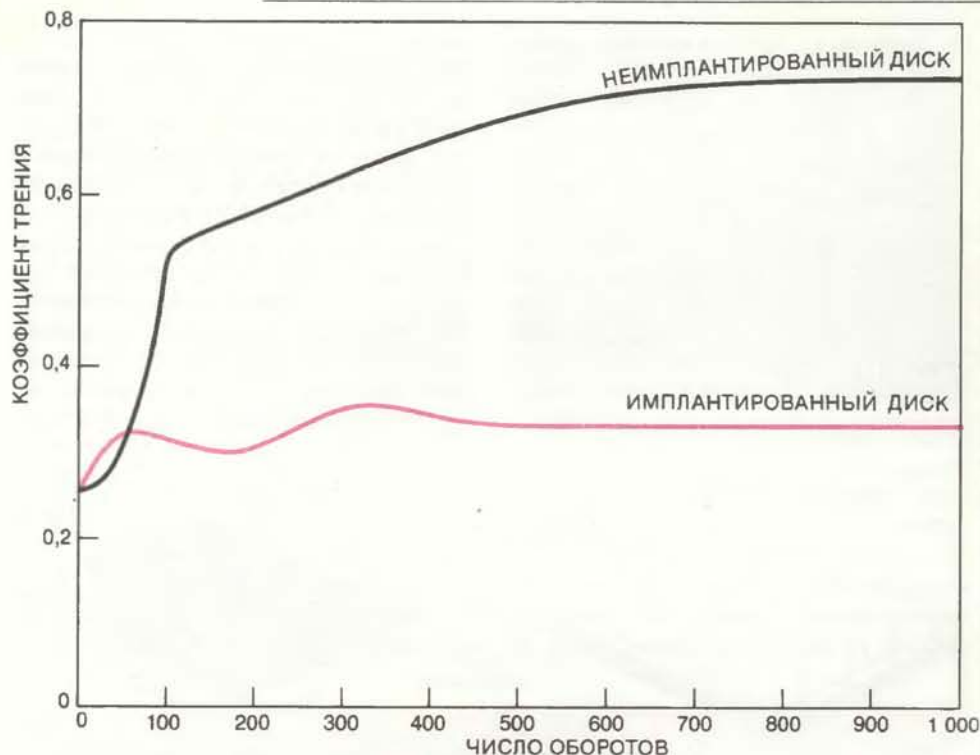
Джеффри Диарнели и его коллеги

из Харуэлла в Англии впервые применили азотирование ионным пучком вместо диффузии. Получить ионы азота в большом количестве с помощью ионного ускорителя проще, чем ионы других элементов, так как азот — это газ и он легко ионизируется. За практически приемлемое время методом ионной имплантации можно получить концентрацию азота, равную 20—40 ат. % (атомным процентам), т. е. столько, сколько необходимо для повышения прочности и износостойкости обрабатываемой поверх-

ности. При имплантации ионы азота либо просто внедряются в кристаллическую решетку, образуя так называемый твердый раствор, либо образуют азотные соединения, которые распределяются тонким слоем. Проведенные испытания, в которых на вращающийся стальной диск с обработанной ионной имплантацией поверхностью давили стальным стержнем с различной нагрузкой, показали, что износостойкость за счет такой обработки повышается в 10 раз. Степень снижения износа зависит от со-



СХЕМЫ ТИПА «КРЕМНИЙ-НА-ДИЭЛЕКТРИКЕ» получают с помощью ионных пучков. На первом этапе кристалл кремния бомбардируют пучком ионов кислорода; ионы останавливаются под поверхностью кристалла и создают слой двуокиси кремния, являющейся диэлектриком (1). После отжига кремния, который проводится для устранения дефектов смещения, созданных в кристалле ионами, в тонком слое электрически изолированного кремния формируются элементы микросхемы. Для этого кремний покрывают фоточувствительным маскирующим слоем, на который посредством фотолитографии наносят рисунок схемы. Засвеченные области маски удаляют травлением; обнажившиеся области кремния обрабатывают пучками ионов бора и фосфора. В результате получаются области с проводимостями *n*- и *p*-типов (2). Повторные этапы маскирования и ионной обработки, а также этап осаждения затворных электродов завершают создание элементов схемы, в данном случае двух транзисторов (3). Для защиты транзисторов наносится новая маска и окружающий транзисторы неизменный кремний вытравливается (4). Транзисторы, имеющие толщину около 500 нм и ширину несколько микрометров, остаются как острова кремния на диэлектрике — двуокиси кремния (5). После удаления маски (6) таким же способом изготавливаются проводники, соединяющие транзисторы между собой.



СНИЖЕНИЕ ТРЕНИЯ — еще один из результатов ионной имплантации. Рисунок иллюстрирует влияние ионной имплантации на коэффициент трения нержавеющей стали. В эксперименте, выполненном Д. Фолькштадтом, Л. Поупом и их коллегами из Национальной лаборатории в Сандии, применялся стержень из нержавеющей стали, который прижимался без смазки к вращающемуся диску из нержавеющей стали. В первом опыте (*черная кривая*) использовался обычный диск; во втором (*цветная кривая*) — диск, обработанный ионами углерода и титана, под действием которых его поверхность стала не кристаллической, а

аморфной (стеклообразной). Приблизительно после 100 оборотов коэффициент трения имплантированной поверхности стабилизировался на уровне, соответствующем вдвое меньшему его значению по сравнению с величиной для необработанной поверхности. Снижение трения замедлило износ имплантированной стали. Микрофотографии (*справа*), полученные на растровом электронном микроскопе с увеличением в 500 раз, показывают, что имплантированная поверхность осталась гладкой после 100 оборотов (*внизу*), в то время как необработанная поверхность стала неровной (*вверху*).

става стали, ее кристаллической структуры и предшествовавшей термообработки: например, износостойкость особо прочных конструктивных сталей после имплантации не повышалась. В то же время совместное азотирование и имплантация других сталей дают лучшие результаты, чем применение только одного из указанных видов обработки.

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ пока не удается объяснить полностью на атомном уровне. Внесение примесных атомов нарушает регулярность кристаллической структуры стали. Возможно, что это нарушение препятствует дислокационной текучести стали, при которой отдельные слои атомов под влиянием поверхностных напряжений скользят относительно друг друга, атом за атомом. Скорость износа отражает не только прочность поверхности, но и специфические механизмы износа, во многом пока еще непонятные.

Предполагают, что в других металлах имплантация азота изменяет доминирующий механизм износа. Она, например, замедляет износ хромовых покрытий почти в 100 раз. Видимо, в результате такой обработки слои хрома как бы растекаются и микро-

трещины, вдоль которых, как считается, начинается износ, закрываются. Имплантация ионов азота существенно улучшает прочностные характеристики и такого материала, как Ti-6Al-4V (титановый сплав, содержащий 6% алюминия и 4% ванадия), который применяется для изготовления конструкций космических и воздушных объектов. Эксперименты показали, что имплантированные азотом поверхности из этого сплава без смазки изнашиваются почти в 1000 раз медленнее, чем неимплантированные; при этом трение также снижается до одной трети обычного уровня. Внедренные в процессе имплантации ионы азота способствуют образованию поверхностного слоя оксида, который, по-видимому, действует как смазка, препятствующая микроскопическим разрушениям, имеющим место при трении поверхностей друг о друга.

В других случаях повышение износостойкости является результатом изменения фазового состава вещества. Когда специалисты Национальной лаборатории в Сандии (шт. Нью-Мексико) и Военно-морской исследовательской лаборатории обработали нержавеющую сталь пучками ионов углерода и титана, создав на поверх-

ности сплав, содержащий 20% каждого элемента, поверхностный слой стали утратил кристаллическую структуру и стал аморфным, или стеклообразным. Такую фазу стали нельзя получить никаким другим методом. Коэффициент трения стали снизился вдвое, а ее износостойкость возросла почти в 10 раз.

Имплантационные процессы, снижающие трение и износ металлов, являются предметом пристального внимания специалистов различных областей промышленности. Их интересует возможность повышения этим методом прочностных характеристик таких деталей, как подшипники реактивных двигателей и гироскопов, прецизионные инструменты, долговечность которых имеет решающее значение с точки зрения возможности сокращения брака при изготовлении дорогостоящих изделий или снижения потерь, связанных с остановкой производства при их замене. Исследователи в США, Великобритании и в других странах обнаружили, что имплантация ионов азота в 2—5 раз продлевает срок службы металлообрабатывающих штампов, изготовленных из стали и легированного кобальтом карбида вольфрама. Прецизионные штампы для формовки

пластмасс изнашиваются за счет абразивного действия волокон и минеральных частиц, используемых в качестве наполнителей пластмасс; долговечность этих штампов после ионной имплантации повышается почти в 10 раз.

В хирургии имплантация благотворно влияет на качество протезов тазобедренных суставов, изготовленных из титанового сплава. Их долговечность имеет особо важное значение. Металлическая шаровая опора, двигающаяся в полиэтиленовом стакане, в среде тканевой жидкости быстро разрушается. Исследования показали, что имплантация азота замедляет износ сплава, контактирующего с полиэтиленом, почти в 1000 раз.

Детали, испытывающие сильный износ, часто одновременно подвергаются и коррозии: например, штампы для формовки пластмасс подвергаются абразивному износу и воздействию химических веществ; протезы тазобедренных суставов разрушаются от коррозии под влиянием тканевых жидкостей и в результате трения. Электрохимики установили, что имплантация ионов может усилить сопротивляемость материала как коррозии, так и износу. Если нержавеющей сталь имплантировать атомами платины в количестве $5 \cdot 10^{16}$ атомов на 1 см^2 поверхности, то образующийся поверхностный сплав защищает сталь от воздействия 20%-ного раствора серной кислоты в течение 80-дневного погружения. Несмотря на то что платина — драгоценный металл, стоимость имплантированной платины составляет несколько сотых долей цента на 1 см^2 , поскольку обработанный ею слой очень тонкий.

Обработка поверхности метал-

ла методом ионной имплантации уже находится на пороге промышленного применения: для этого может быть использован как обычный метод ионной имплантации, так и его разновидность, известная под названием ионного смешивания. В этом процессе имплантируемое вещество осаждается из паров в виде тонкой пленки; одновременно или вслед за этим поверхность обрабатывается ионным пучком. За счет многократных соударений осажденное вещество смешивается с материалом подложки. Даже небольшое число ионов, проникающих через границу между пленкой и подложкой, прочно скрепляет покрытие с основным материалом. Повышение числа ионов ведет к полному смешиванию компонентов и образованию сплава. Поскольку при этом расходуется значительно меньше ионов, чем при получении поверхностного слоя методом чистой имплантации, такой процесс более экономичен.

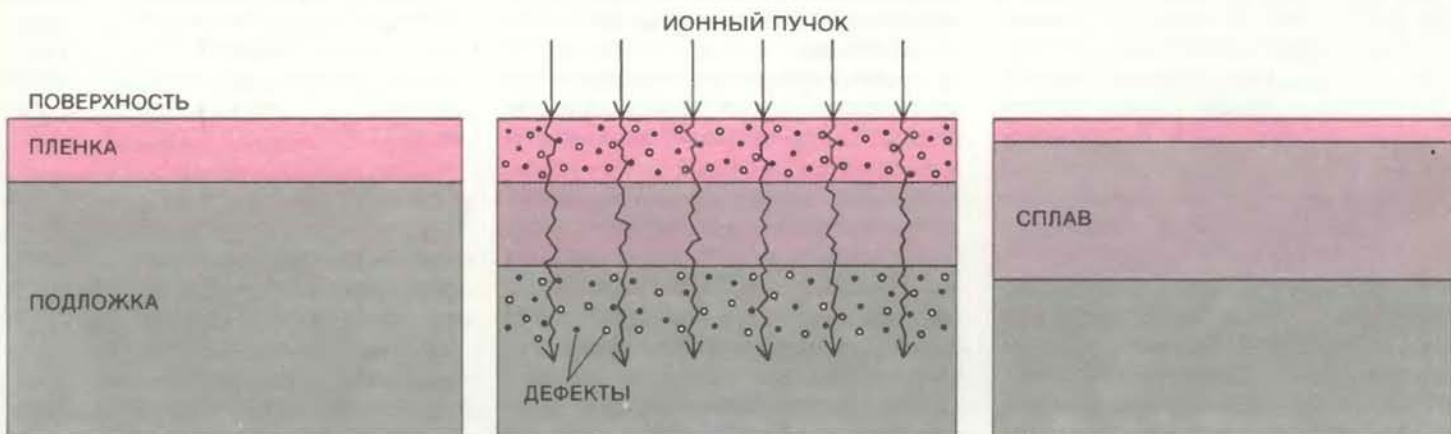
ХОТЯ ионная имплантация только начинает использоваться как промышленный метод обработки металлов, она уже доказала свою полезность в качестве инструмента научных исследований. Ионные пучки можно использовать для моделирования физических и химических факторов, действующих на металлы, и для изучения в лабораторных условиях поведения металлов в различных средах. При исследовании механизма коррозии метод имплантации позволяет вносить в металлические поверхности строго контролируемые количества ионов различных элементов и изучать роль каждого из них в процессе коррозии.

Ионные пучки успешно применяются и для моделирования воздействий радиации и сильного нейтронного из-

лучения, имеющих место внутри ядерных реакторов-размножителей. В 70-х годах было обнаружено, что металлы, находящиеся внутри активной зоны реакторов-размножителей, как бы разбухают, увеличивая свой объем на несколько процентов. Это обстоятельство необходимо учитывать при разработке допусков на механические параметры деталей, используемых в реакторах. Оказалось, что причиной такого разбухания являются плотные каскады смещений в кристаллической структуре металлов, возникающие под действием нейтронов. Из-за высокой температуры в реакторе накапливающиеся вакансии ведут к образованию пор в объеме металла. Для поиска сплавов, которые могли бы противостоять этому нежелательному явлению, потребовалось средство для их испытания в лабораторных условиях. Для этой цели была использована ионная бомбардировка, которая позволила получить такие же деформации кристаллической решетки, но значительно быстрее, чем под действием нейтронов.

Аналогичным образом ионные пучки помогают подбирать вещества для внутренних стенок плазменных аппаратов, применяемых для термоядерного синтеза. Горячая водородная плазма вызывает эрозию большинства металлов: быстролетающие ионы, соударяясь с атомами поверхности, выбивают их полностью. Этот процесс именуется расплавлением. В результате стенки реактора истончаются, а плазма загрязняется. Ионные пучки позволили воспроизвести этот процесс в лаборатории и найти устойчивые сплавы.

Благодаря тому что ионная имплантация позволяет «пропитать» поверхностный слой и создать в нем



ИОННОЕ СМЕШИВАНИЕ применяется для получения сплавного слоя на поверхности детали. Этот способ не требует больших затрат на обработку. Вещество, которое предстоит наплавить на металл, осаждается в виде пленки (слева) обычными способами (чаще всего путем осаждения из паров). Бомбардировка ускоренными ионами, например, азота вызывает смешивание нанесенного вещества с металлом (в центре). Смешивание происходит в резуль-

тате столкновений ионов с атомами пленки и подложки и их перемещения. Возбуждение атомов в зоне имплантации, а также дефекты, возникающие в кристаллической структуре в результате бомбардировки, заставляют атомы мигрировать. Они перемещаются, заполняя вакансии (кружки) и уступая место смещенным атомам (точки) в кристаллической решетке. Интенсивная бомбардировка ведет к утолщению слоя перемешанных атомов (справа).

практически любую концентрацию примеси, она стала мощным средством исследования поведения веществ в сплавах. Например, точное измерение скорости диффузии примесных элементов в металле можно выполнить только при высокой температуре. Из-за того что ионная имплантация позволяет точно контролировать глубину проникновения примесных ионов, с ее помощью можно создать значительно более высокую концентрацию и более крутой градиент концентрации примесей, чем обычным сплавлением. В результате диффузию, которая проявляется в виде изменения профиля имплантации (распределения имплантированных атомов по глубине), удастся обнаружить и измерить при обычных для металлов рабочих температурах.

Метод измерения диффузии основан на том, что распределение имплантированных атомов по глубине можно определить с высокой точностью. Для этого сначала производится имплантация примеси; затем методом так называемого ионного рассеяния определяется профиль имплантации. Сущность этого метода состоит в том, что пучок ионов гелия, имеющих большие скорости, направляется на металл. Небольшая часть ионов сталкивается с ядрами металла и рассеивается ими; энергия рассеянных ионов зависит от массы ядер, с которыми они столкнулись. Так как скорость потери энергии ионов гелия при прохождении через металл известна, можно определить глубину, на которой произошли столкновения. Профиль имплантации строится на основе числа рассеянных ионов и величины их энергии.

После этого металл нагревают до определенной температуры в течение заданного времени. Вслед за охлаждением его снова подвергают ионной бомбардировке и находят новый профиль. Диффузия, которая произошла при нагревании металла, проявляется в расширении кривой распределения. Степень этого расширения, время и температура, при которых оно произошло, позволяют определить скорость диффузии значительно точнее, чем другие методы.

Исключительно высокая чувствительность метода позволяет измерять медленно протекающие диффузные процессы за относительно короткое время. Примером такого процесса является отпускная хрупкость; она наблюдается в стальных деталях при умеренных температурах из-за накопления нежелательных элементов — сурьмы, олова и фосфора по границам зерен, приводя к охрупчиванию металла. Ионная имплантация дает способ для наблюдения в лабораторных условиях, приближенных к усло-

виям работы, за миграцией и захватом примесей.

Майерс-младший и его коллеги из Национальной лаборатории в Сандии показали, что ионная имплантация помогает изучению такого известного в металловедении явления, как образование твердых растворов, позволяя вводить в металл точное количество растворяемых атомов при низкой температуре. Когда концентрация примесного вещества превысит его растворимость, атомы перестают встраиваться в кристаллическую решетку основного металла и образуют пересыщенный твердый раствор. Определяя профиль имплантации методом ионного рассеяния, удастся измерить растворимость имплантируемого вещества при относительно низкой температуре. Такая информация исключительно ценна для разработки новых сплавов, так как примесные элементы оказывают совершенно различное действие в зависимости от характера их расположения в кристаллической решетке матрицы.

НОВЫЕ виды технологии требуют новых материалов и предъявляют новые требования к старым. Благодаря этому рождаются новые применения для ионной имплантации. Проведенные работы показали, что с помощью этого метода можно создавать поверхности с новыми свойствами у таких диэлектриков, как стекло, керамика и полимеры. В перспективе ионная имплантация найдет широкое применение в таких специфических областях, как производство световодов, запоминающих устройств на цилиндрических магнитных доменах, ферроэлектриков, термостойкой керамики для двигателей и полимеров с проводящими поверхностями.

Например, имплантация ионов азота в стенки световодов, изготовленных из кремниевого стекла, вызывает радиационные дефекты и ведет к образованию дисперсных частиц нитрида кремния, за счет чего изменяется показатель преломления поверхностных слоев стекла и тем самым создаются условия для удержания луча света в световоде. Имплантация ионов водорода в гранат, применяемый для изготовления запоминающих устройств на цилиндрических магнитных доменах, приводит к образованию дефектов смещения, которые изменяют магнитные свойства граната. Имплантированные области создают границы, вдоль которых движутся магнитные домены; такой метод используется для создания запоминающих устройств с высокой плотностью хранения цифровой информации.

Ионная имплантация улучшает свойства ферроэлектрической керамики — фоточувствительного ве-

щества, которое может регистрировать изображение, если этот материал подвергнуть одновременному действию ближнего ультрафиолета и электрического поля. Радиационные повреждения и химические изменения, возникающие в результате бомбардировки ионами алюминия и аргона, настолько изменяют электрические свойства керамики, что ее фоточувствительность возрастает более чем в 10 000 раз. Одновременно область этой чувствительности сдвигается в видимую часть спектра. С помощью имплантированной керамики можно регистрировать изображения при солнечном или белом освещении с приемлемой для практики выдержкой. Другие керамики также изменяют свои свойства после ионной имплантации. Известно, что такие твердые вещества, как диборид титана и окись алюминия, очень хрупки. Исследователи из Национальной лаборатории в Ок-Ридже показали, что некоторые ионы упрочняют поверхности таких видов керамики.

Вероятно, самым последним добавлением к списку материалов, исследованных методом имплантации, являются полимеры. Большинство полимеров — диэлектрики, однако после имплантации их проводимость может возрасти почти на 14 порядков и приблизиться к уровню графита. Полагают, что возрастание проводимости происходит в результате перестройки молекулярной структуры полимера и резкого увеличения содержания в ней углерода, который появляется из-за разрыва связей, соединяющих углерод с водородом и другими летучими элементами. Имплантация позволяет сделать проводниками самые различные полимеры. Вполне возможно, что такой способ найдет применение и для соединения элементов в микроэлектронных схемах. Проводящие полимеры смогут заменить металлы при изготовлении экранов, защищающих чувствительные приборы от электромагнитных помех.

СЕЙЧАС трудно сказать, какие еще применения ионной имплантации достигнут промышленной зрелости. И хотя роль ионной имплантации в промышленности трудно предсказать, можно быть уверенным, что она будет значительной. Даже если она не найдет применения непосредственно в промышленности для изменения свойств поверхностей, она косвенно повлияет на расширение списка новых материалов и областей их применения, поскольку этот метод является мощным инструментом для изучения фундаментальных свойств различных материалов.

Химические основы биологического действия чеснока и лука

Почему лук вызывает слезы? Почему чеснок так едко пахнет?

Эти их свойства обусловлены несколькими своеобразными серусодержащими соединениями, с которыми связано также и лечебное действие чеснока и лука

ЭРИК БЛОК

ЧЕЛОВЕЧЕСТВО всегда делилось на два противоположных лагеря: на тех, кто любит чеснок и лук, и на тех, кто их терпеть не может. К первым можно отнести египетских фараонов: их хоронили вместе со сделанными из глины или дерева изображениями чеснока и лука, чтобы и в загробной жизни умерший не остался без приправ к пище. К этому же лагерю принадлежали иудеи: недаром во время сорокалетних скитаний по Синайской пустыне они с любовью вспоминали о рыбе, которую они могли свободно есть в Египте, о тыквах и дынях, о луке и чесноке. С ними солидарен и эссеист XIX в. Сидней Смит. В его «Рецепте салата» есть такое двустишие:

«В кушанье лука чуть-чуть положи
Он, незаметный, его оживит».

Ярыми противниками чеснока и лука были египетские жрецы, которые, как утверждал Плутарх, никогда не употребляли в пищу лук, потому что его нельзя есть ни в пост, ни в праздник, ибо он вызывает жажду и слезы у тех, кто его отведал. Древние греки тоже не признавали этих приправ: запах лука и чеснока считался вульгарным, а тем, кто их ел, даже запрещалось молиться в храме Кибелы. Врагом чеснока и лука был и Основа, один из персонажей «Сна в летнюю ночь», который говорил: «А главное, дорогие мои актеры, не ешьте ни лука, ни чесноку. Мы должны испускать сладостное благоухание».*

Химиков можно смело включить в число сторонников чеснока и лука. Для них эти растения представляют прежде всего чисто профессиональный интерес: химиков издавна интересовали вещества, обладающие сильным запахом, острым вкусом и ярко выраженным физиологическим

действием. За сто лет исследований было установлено, что из разрезанной луковицы или головки чеснока выделяются какие-то низкомолекулярные органические соединения, которые содержат связанные атомы серы в форме, редко встречающейся в природе. Эти вещества очень реакционноспособны: они спонтанно превращаются в другие органические серусодержащие соединения, которые в свою очередь подвергаются дальнейшим превращениям. Кроме того, их биологические эффекты весьма разнообразны. Лакриматорное, или слезоточивое, действие лука — всего лишь одно из многих его активных свойств. Некоторые экстракты чеснока и лука обладают бактерицидным и фунгицидным действием. Другие оказывают антитромбозное действие: они подавляют способность тромбоцитов крови образовывать тромбы (тромбы — это агрегаты, состоящие из тромбоцитов и белка фибрина), иными словами, препятствуют свертыванию крови.

Чеснок и лук относятся к семейству лилейных. Ботаники дали им латинские названия *Allium sativum* и *Allium cepa* ("allium", вероятно, происходит от кельтского слова "all", что означает «едкий»). И лук, и чеснок принадлежат к древнейшим культивируемым человеком растениям. По-видимому, их начали выращивать в Центральной Азии еще в доисторическую эпоху. Тысячелетиями они находят применение в народной медицине. В написанном примерно в 1550 г. до н.э. египетском папирусе «Кодекс Эберса», посвященном медицине, в котором приводится более 800 рецептов, в 22 упоминается чеснок как эффективное средство при лечении различных заболеваний сердца, головной боли, а также при укусах, глистах и опухолях.

Не только египтяне верили в лечебные свойства чеснока — на них указывали и Аристотель, Гиппократ, Аристофан. В своих трудах римский ученый Плиний Старший также отмечает лечебное действие чеснока и лука

при различных недугах. Диоскорид, главный врач римской армии в I в. н.э., прописывал чеснок для изгнания глистов из кишечника. По дошедшим до нас сведениям, во время первых Олимпийских игр в Древней Греции атлеты употребляли чеснок как стимулирующее средство. В Индии чеснок использовали как антисептик при промывании ран и язв. В Китае луковый чай издавна применяли при лихорадке, головной боли, холере и дизентерии.

Народная медицина нередко переплетается с легендой; пример тому — история об «уксусе четырех воров». Рассказывают, что в 1721 г. во время страшной эпидемии чумы в Марселе четверым осужденным преступникам было велено хоронить мертвых. Однако эти «могильщики поневоле» не заболели чумой. Секрет состоял в том, что они пили вино, настоенное на измельченном чесноке — напиток, который сразу же стал известен под названием «уксус четырех воров». Его и сейчас можно отведать во Франции.

НЕ ТОЛЬКО народная медицина, корни которой уходят в глубь веков, признает целебные свойства чеснока и лука. С одной стороны, накапливались данные о том, что лук и чеснок действуют подобно слабым антибиотикам. В 1858 г. Луи Пастер сообщил о том, что чеснок обладает бактерицидным действием. Известно, что позднее Альберт Швейцер успешно применял чеснок для лечения амёбной дизентерии в Африке. Во время первой и второй мировых войн чеснок использовали как антисептик для предупреждения гангрены. В лабораторных исследованиях было установлено, что даже разбавленный в 125 тыс. раз сок чеснока подавляет рост бактерий родов *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Vibrio* (в том числе *V. cholerae*) и *Bacillus* (в частности *B. typhosus*, *B. dysenteriae* и *B. enteritidis*). Более того, сок чеснока обладает широким спектром дейст-

* Шекспир У. Полное собрание сочинений в 8 т. М.: Искусство, 1958. «Сон в летнюю ночь», перевод Т. Щепкиной-Куперник, т. 3, с. 193.

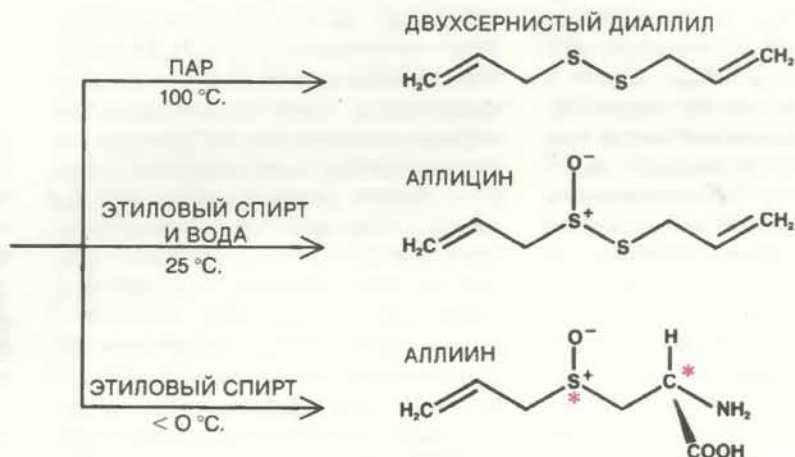
вия против зоопатогенных грибов и многих штаммов дрожжей, включая такие, которые вызывают вагинит.

С другой стороны, были указания на то, что лук и чеснок обладают антитромбозным действием. И снова мы находим примеры и в далекой истории, и в недавнем прошлом. Во Франции в старину лошадей, страдавших от тромбов в ногах, кормили чесноком и луком. В 1979 г. Дж. Саинани и его коллеги из Медицинского колледжа Университета в Пуне (Индия) опубликовали результаты эпидемиологического обследования трех групп населения, употреблявших в пищу

разное количество чеснока и лука. Все они были вегетарианцами из джайнесской общины в Индии. В первой группе потребление чеснока и лука было самым высоким (более 50 г чеснока и 600 г лука в неделю). Во второй группе лук и чеснок использовали в умеренных количествах (не более 10 г чеснока и 200 г лука в неделю). И наконец, к третьей относились люди, которые вообще никогда в жизни этих овощей не ели. Исследования показали, что у людей, совсем не употреблявших в пищу лук и чеснок, скорость свертывания крови была наибольшей и уровень фибриногена в

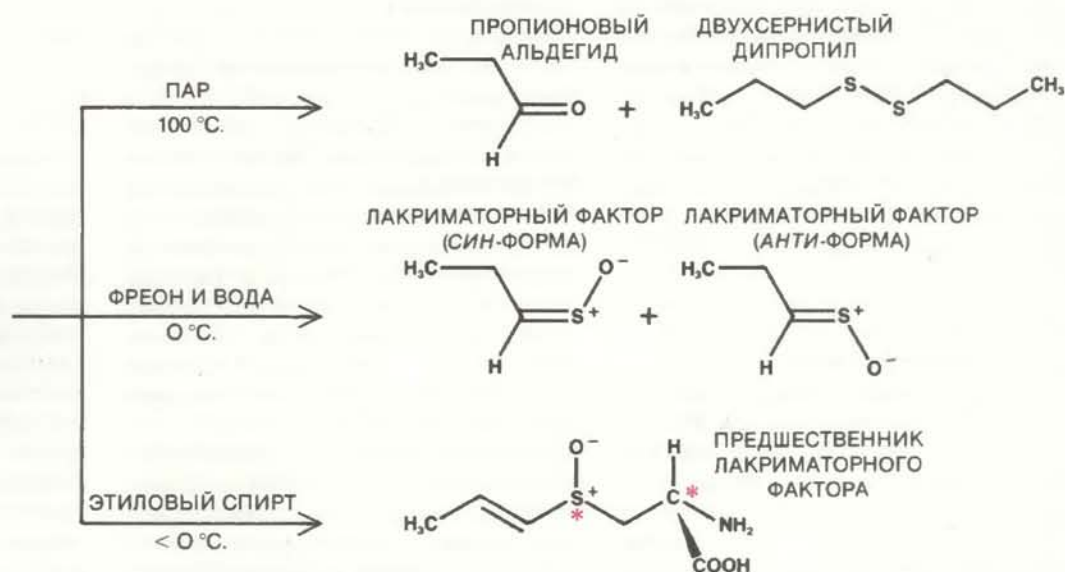
плазме крови самый высокий. (Один из этапов свертывания крови — превращение фибриногена в фибрин.) В ряде работ, проведенных в 1970-е годы, было показано, что масла, выделенные из лука и чеснока, препятствуют агрегации тромбоцитов. Все это говорило о том, что к бытующей в народной медицине репутации лука и чеснока можно относиться всерьез.

ЧЕМ обусловлено биологическое действие чеснока и лука? Ответ надо искать на молекулярном уровне, изучая содержащиеся в них вещества. Первые химические исследования бы-



СОСТАВ СЕРУСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ЧЕСНОКА зависит от условий экстракции. Наиболее жесткий метод — перегонка с водяным паром: луковицы чеснока кипятят в воде, и экстрагируемые соединения выделяют из конденсированного пара; при такой обработке получается двухсернистый диаллил (вверху). Более мягкие условия — экстракция этиловым спиртом при комнатной температуре; при этом образуется эфир двухсернистого диаллила, получивший название аллицина (в середине);

это соединение определяет запах чеснока. При еще более щадящем методе выделения используют чистый этиловый спирт при температуре ниже 0° С; в данном случае образуется аллиин, молекула которого имеет асимметрические атомы углерода и серы (отмечены звездочками). В принципе возможны 4 оптических изомера аллиина, однако в чесноке обнаружен только один. Под действием фермента аллиин превращается в аллицин. Здесь изображены лишь углеродные скелеты молекул.



СОСТАВ СЕРУСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ЛУКА также зависит от условий экстракции. При перегонке с водяным паром образуются пропионовый альдегид и двухсернистый дипропил. Растворитель фреон, смешанный с водой, при 0° С экстрагирует лакриматорный фактор (ЛФ) — вещество, вызывающее слезы (в середине). Он существует

в двух формах, обозначаемых «син» и «анти»; «син»-форма преобладает. Обработка чистым этиловым спиртом при температуре ниже 0° С позволяет получить предшественник лакриматорного фактора (внизу); он является изомером аллиина. В луковице предшественник под действием фермента превращается в ЛФ.

ли проведены в 1844 г. немецким химиком Теодором Вертхеймом. Он пришел к выводу, что полезные для человека свойства чеснока связаны в основном с «серусодержащей жидкой субстанцией, называемой чесночным маслом. О нем известно немного, есть лишь кое-какие данные о чистом продукте, который получают из лукавиц *Allium sativum* путем перегонки с водяным паром. Поскольку серусодержащие соединения до сих пор еще мало изучены, исследования продукта из чеснока могут оказаться весьма ценными для науки».

Вертхейм применил перегонку с водяным паром: чеснок помещался в сосуд с кипящей водой, и пар, поднимающийся из сосуда, содержал в очень небольшом количестве чесночное масло. При перегонке этого масла образовывались какие-то сильно пахнущие летучие вещества. Вертхейм предложил название «аллил» (от *Allium*) для углеводородной группы атомов и «серный аллил» для летучих компонентов масла. Термин «аллил» используется и сейчас, им обозначают структуру $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2$, или сокращенно C_3H_5 . Многие соединения, которые содержат аллильную группу, обладают едким запахом.

В 1892 г. другой немецкий ученый, Ф. Земмлер, также путем перегонки с водяным паром получил из 1 кг чеснока около 2 г неприятно пахнущего масла, в котором содержался двухсернистый диаллил $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{S}_2$, или $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{SSCH}_2\text{CH} = \text{CH}_2$ (см. верхний рисунок на с. 60), а также в существенно меньших количествах трех- и четырехсернистый диаллилы. Иное по составу масло получилось при перегонке с водяным паром лука. В нем был обнаружен пропионовый альдегид $\text{C}_2\text{H}_5\text{CHO}$, а также множество других серусодержащих соединений, в том числе двухсернистый дипропил $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{S}_2$.

СЛЕДУЮЩЕЕ принципиально важное открытие в области химии чеснока и лука сделали в 1944 г. Ч. Кавалито и его коллеги, работавшие в фирме Sterling—Winthrop Chemical Company (Ренселер, шт. Нью-Йорк). Они установили, что при менее жестких методах выделения чесночного масла, чем перегонка с водяным паром, получают другие вещества. С помощью этилового спирта при комнатной температуре из 4 кг чеснока Кавалито экстрагировал 6 г масла с общей формулой $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{S}_2\text{O}$. Оно обладало бактерицидным и фунгицидным действием. Против *B. typhosus* это масло оказалось даже более эффективным средством, чем пенициллин или сульфаниламид; против

других патогенов оно было менее действенным по сравнению с пенициллином.

По химическому составу масло, полученное Кавалито, являлось эфиром двухсернистого диаллила. Именно это вещество на полстолетия ранее выделил Земмлер путем перегонки чеснока с водяным паром. Его точная химическая формула $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{S}(\text{O})\text{SCH}_2\text{CH} = \text{CH}_2$. Называется оно довольно сложно — 2-пропениосульфидат. Отметим, что названия химических соединений хотя и громоздки, зато точно описывают структуру молекулы. Каждая часть слова обозначает участок углеродного скелета молекулы либо указывает на то, что между атомами углерода находятся иные атомы, например серы. В названии «2-пропениосульфидат» цифра 2 показывает, что двойная связь между атомами углерода находится между вторым и третьим углеродными атомами, считая от атома серы. Если в названии соединения атом или группа атомов заключены в скобки, то это означает, что они находятся не в основной цепочке молекулы.

Вернемся к опытам Кавалито. Он назвал обнаруженное им соединение аллицином. Оно представляло собой химически нестабильную бесцветную жидкость. Характерный запах чеснока обусловлен главным образом аллицином и в значительно меньшей степени сернистыми диаллилами. Аллицин стал предметом двух патентов в США, были начаты клинические испытания его как бактерицидного средства, но от использования аллицина на практике отказались из-за сильного едкого запаха.

Хотя было установлено, что запах чеснока определяется аллицином, оставалось непонятным, почему луковица чеснока практически не пахнет, пока ее не начнешь резать или мять. В 1948 г. А. Столл и Э. Сибек из компании Sandoz (Базель, Швейцария) выяснили, с чем это связано. Аллицин в чесноке образуется под действием фермента из предшественника, не имеющего запаха. Столл и Сибек определили, что предшественник аллицина — это (+)-S-аллил-L-цистеинсульфоксид, или $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_2\text{S}(\text{O})\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$. (Знаки «+» и «L» означают определенную пространственную ориентацию атомов серы и углерода, связанных с атомом азота.) Очевидно, когда мы режем или мнем головку чеснока, фермент аллиаза вступает в контакт с предшественником аллицина и превращает его в аллицин.

Столл и Сибек назвали предшественник аллицином; в головке чеснока среднего размера на его долю прихо-

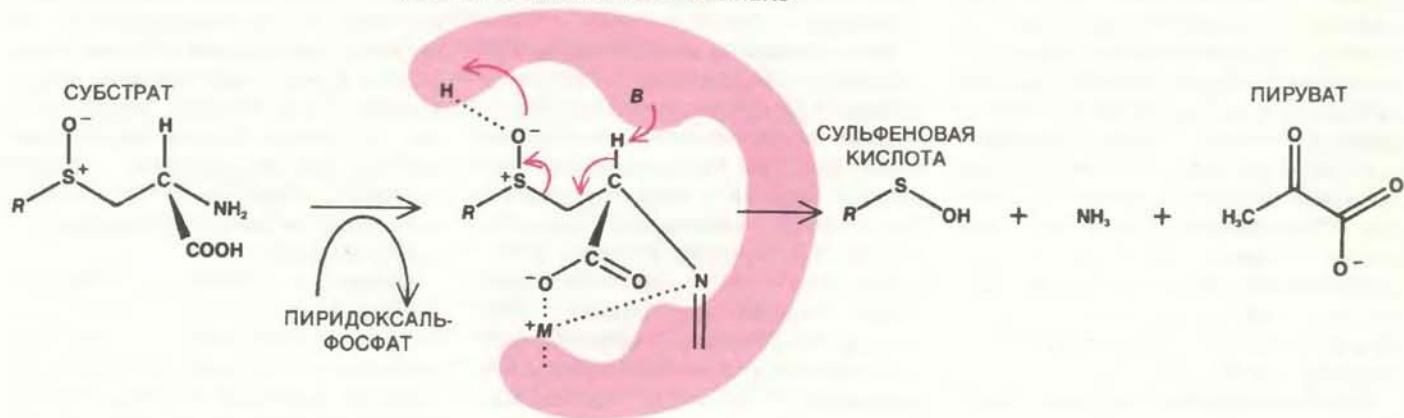
дится всего лишь 0,24% веса. Аллиин можно получить из аминокислоты цистеина путем присоединения аллильной группировки и атома кислорода к атому серы. Аллиин можно выделить и из чеснока, однако условия экстракции должны быть мягкими. При кристаллизации полученного препарата образуются игловидные кристаллы аллиина, не имеющие ни цвета, ни запаха.

Аллиин — необычное вещество. Прежде всего потому, что это первое природное соединение, у которого обнаружена оптическая изомерия. Оптическая изомерия возникает тогда, когда в молекуле есть асимметрический атом и вещество существует в различных формах, представляющих по своей структуре несовместимые зеркальные отражения друг друга, а природа «предпочитает» какую-то одну форму другой. Раствор такого вещества обладает оптической активностью, т.е. способен вращать плоскость поляризации света. В аллиине зеркальные конфигурации возможны как у атома серы, так и у атома углерода. Под действием аллиаза аллиин разлагается с образованием 2-пропениосульфеновой кислоты (см. верхний рисунок на с. 62). Фермент действует преимущественно на тот изомер аллиина, который обозначают знаком «+» (такая форма вращает плоскость поляризации света по часовой стрелке). Молекулы 2-пропениосульфеновой кислоты димеризуются (т.е. одна молекула 2-пропениосульфеновой кислоты взаимодействует с другой), и образуется аллицин.

Наряду с исследованиями химии чеснока успешно продвигалось и изучение лука. В 1961 г. финский биохимик Виртанен (который в 1945 г. получил Нобелевскую премию по химии) показал, что в луке содержится *транс*-(+)-S-(1-пропенил)-L-цистеинсульфоксид — структурный изомер аллиина (см. нижний рисунок на с. 60). По химическому составу оба соединения одинаковы, однако структура у них разная, а именно: различается ориентация атомов при двойной связи, которая, как указывает цифра 1 в названии, находится непосредственно у атома серы. *Транс*-(+)-S-(1-пропенил)-L-цистеинсульфоксид является предшественником лакриматорного фактора — вещества, вызывающего слезы (ЛФ). Фермент аллиаза лука превращает предшественник в ЛФ.

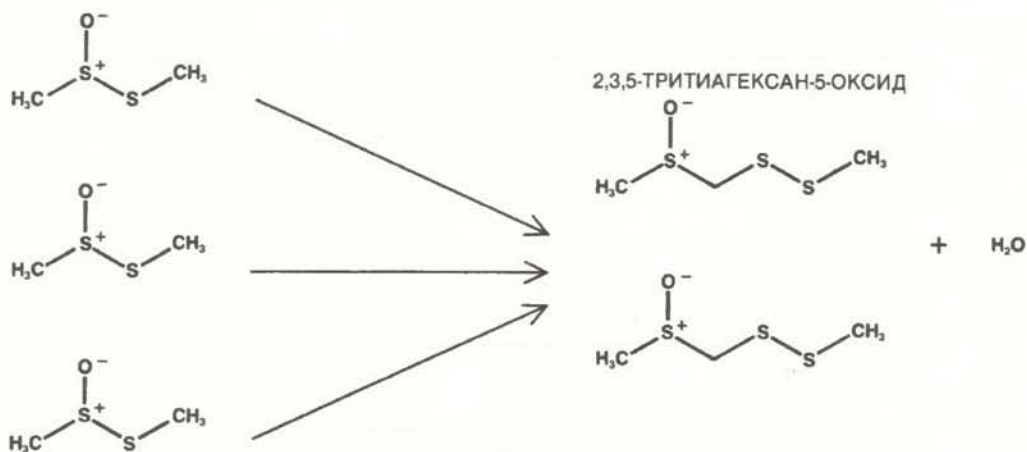
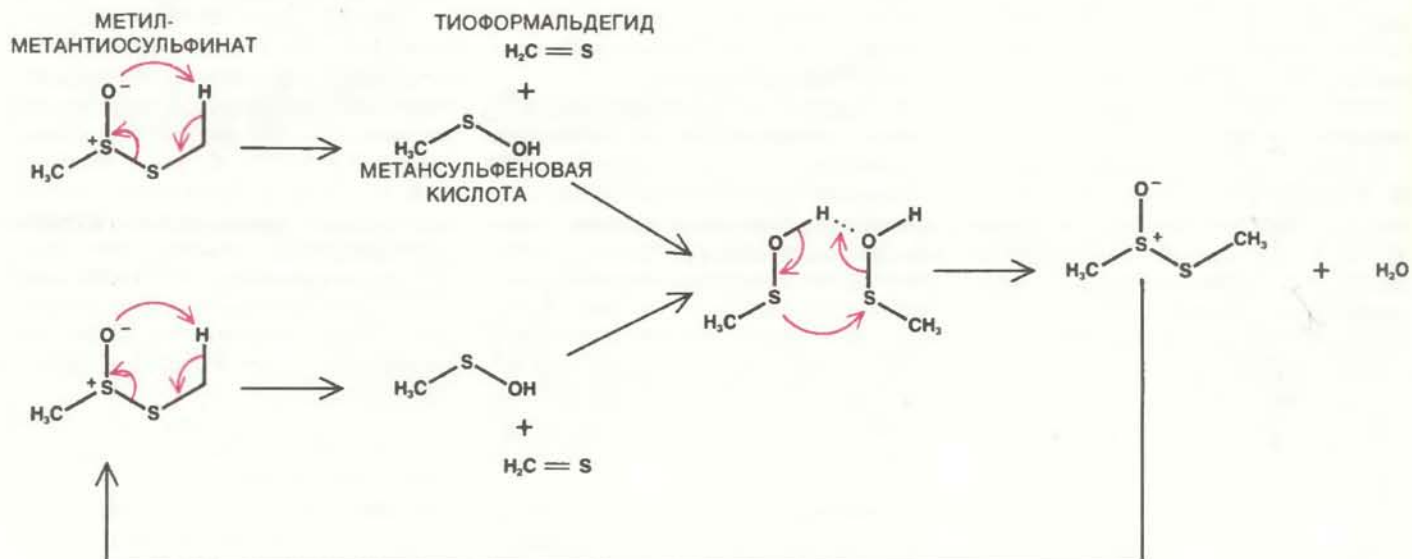
Химическая формула лакриматорного фактора $\text{C}_3\text{H}_6\text{SO}$. Этой формуле отвечают более 50 соединений с различной химической структурой. Виртанен постулировал, что истинная структура лакриматорного фактора соответствует формуле $\text{CH}_3\text{CH} = \text{CHS}(\text{O})\text{H}$, а не

ФЕРМЕНТ-СУБСТРАТНЫЙ КОМПЛЕКС



ФЕРМЕНТ АЛЛИНАЗА катализирует превращение нескольких серосодержащих соединений. В чесноке он действует преимущественно на аллиин, а в луке — на предшественник лакриматорного фактора. Здесь катализ изображен схематически для обобщенного субстрата. (Например, если R — это аллильная группировка C_3H_5 , то субстратом является аллиин.) Под действием кофактора, которым служит пиридоксальфосфат, субстрат образует комплекс с ферментом; в связывании участвуют электростатические

силы взаимодействия между субстратом и ионом металла (M^+). Основная группа (B) отнимает ион водорода от субстрата, что приводит к распаду субстрата и образованию сульфеновой кислоты RSO_2H , а также аммиака и пирувата. Сущность этой химической реакции состоит в превращении химических связей в молекулах, что можно рассматривать как перемещение пар электронов. (Цветными стрелками обозначены наиболее вероятные перемещения электронных пар.) Фермент показан условно (розовый).



ПУТИ РАСПАДА МЕТИЛМЕТАНИОСУЛЬФИНАТА, более просто устроенного гомолога аллицина, помогли разобраться в механизме распада самого аллицина. Один путь (вверху) состоит в том, что метилметантиосульфид разлагается на метансульфеновую кислоту и тиоформальде-

гид, а затем из двух молекул метансульфеновой кислоты снова образуется одна молекула метилметантиосульфидата. Другой путь — конденсация трех молекул метилметантиосульфидата с образованием 2, 3, 5-тритиагексан-5-оксида (внизу).

$\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}-\text{O}-\text{H}$; во втором случае атом кислорода расположен в основной цепи углеродного скелета молекулы. (Оба соединения называются «транс-1-пропенсульфеновая кислота».) Одновременно У. Уилкинс, в то время студент Корнеллского университета, предложил другую структурную формулу лакриматорного фактора — $\text{C}_2\text{H}_5\text{CH}=\text{SO}$; такое соединение называется S-окись пропантiaoальдегида. Через 10 лет, в 1971 г. М. Бродниц и Дж. Паскаль из International Flavors and Fragrances Company (Юнион-Бич, шт. Нью-Джерси) подтвердили предположение Уилкинса.

Итак, в чесноке фермент аллиаза превращает аллиин в сильно пахнущее вещество — аллицин. В луке такой же фермент превращает предшественник лакриматорного фактора в лакриматорный фактор. Однако аллиаза чеснока и лука действуют не только на эти молекулы, но и на некоторые другие; в таких случаях химики говорят, что фермент обладает широкой субстратной специфичностью. Субстратами аллиаз являются серусодержащие соединения, которые синтезируются в чесноке и луке различными путями, но исходным веществом всегда служит серусодержащая аминокислота цистеин. Под действием аллиаз образуются разные сульфеновые кислоты, общая формула которых RSOH , где R может быть аллилом $\text{CH}_2=\text{CHCH}_2$, 1-пропенилом $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}$, метилом CH_3 или пропилом C_3H_7 . В качестве побочных продуктов в этих реакциях получаются пируват $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{CO}_2^-$ и аммиак NH_3 .

Исследования показали, что для протекания аллиазных реакций необходимо участие еще одного соединения — кофактора, называемого пиридоксальфосфатом. Участие кофактора в реакции, вероятно, состоит в том, что он взаимодействует с субстратом, переводя его в активированную форму. Основная (т.е. захватывающая протон) группа фермента инициирует образование сульфеновой кислоты. Сульфеновые кислоты по природе своей крайне неустойчивы, и спонтанно превращаются в другие продукты.

ЯЗАНЯЛСЯ химией чеснока и лука в 1971 г., начав с более глубокого исследования свойств аллицина. Вместе с коллегами из Миссурийского университета в Сент-Луисе мы изучали химические превращения метилметантиосульфидата $\text{CH}_3\text{S}(\text{O})\text{SCH}_3$. Это соединение — простейший гомолог аллицина: в нем также есть группа $\text{S}(\text{O})\text{H}$, определяющая химические свойства аллицина, но углеродный

скелет молекулы имеет более простое строение. Дж. О'Коннор и я обнаружили два необычных химических процесса (см. нижний рисунок на с. 62). В первом из них происходит распад метилметантиосульфидата с образованием метансульфеновой кислоты CH_3-SOH и тиоформальдегида $\text{CH}_2=\text{S}$. Метансульфеновая кислота — очень реакционноспособное соединение; ее молекулы взаимодействуют друг с другом попарно (при этом освобождается по одной молекуле воды), так что вновь образуется метилметантиосульфидат. Второй процесс — это конденсация молекул метилметантиосульфидата; продуктом реакции является 2,3,5-тритагексан-5-оксид $\text{CH}_3\text{S}(\text{O})\text{CH}_2\text{SSCH}_3$.

Через двенадцать лет эта работа очень пригодилась в исследованиях механизма образования антитромбозного фактора чеснока. М. Джейн и Р. Крисли из Делавэрского университета вместе с Р. Акич-Кастро и М. Крус из Венесуэльского института научных исследований в Каракасе получили несколько различных экстрактов чеснока, которые очень эффективно препятствовали агрегации тромбоцитов крови. Наиболее активный экстракт содержал соединение с химической формулой $\text{C}_9\text{H}_{14}\text{S}_3\text{O}$. В тесном сотрудничестве с коллегами из Делавэрского университета и Венесуэльского института С. Ахмад и я, работая в Университете шт. Нью-Йорк в Олбани, установили структуру этого соединения: $\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{S}(\text{O})\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHSSCH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$ или 4,5,9-триадодека-1,6,11-триен-9-оксид. Мы назвали его айоене (айоен*) от испанского айо (произносится «ахо»), что означает «чеснок».

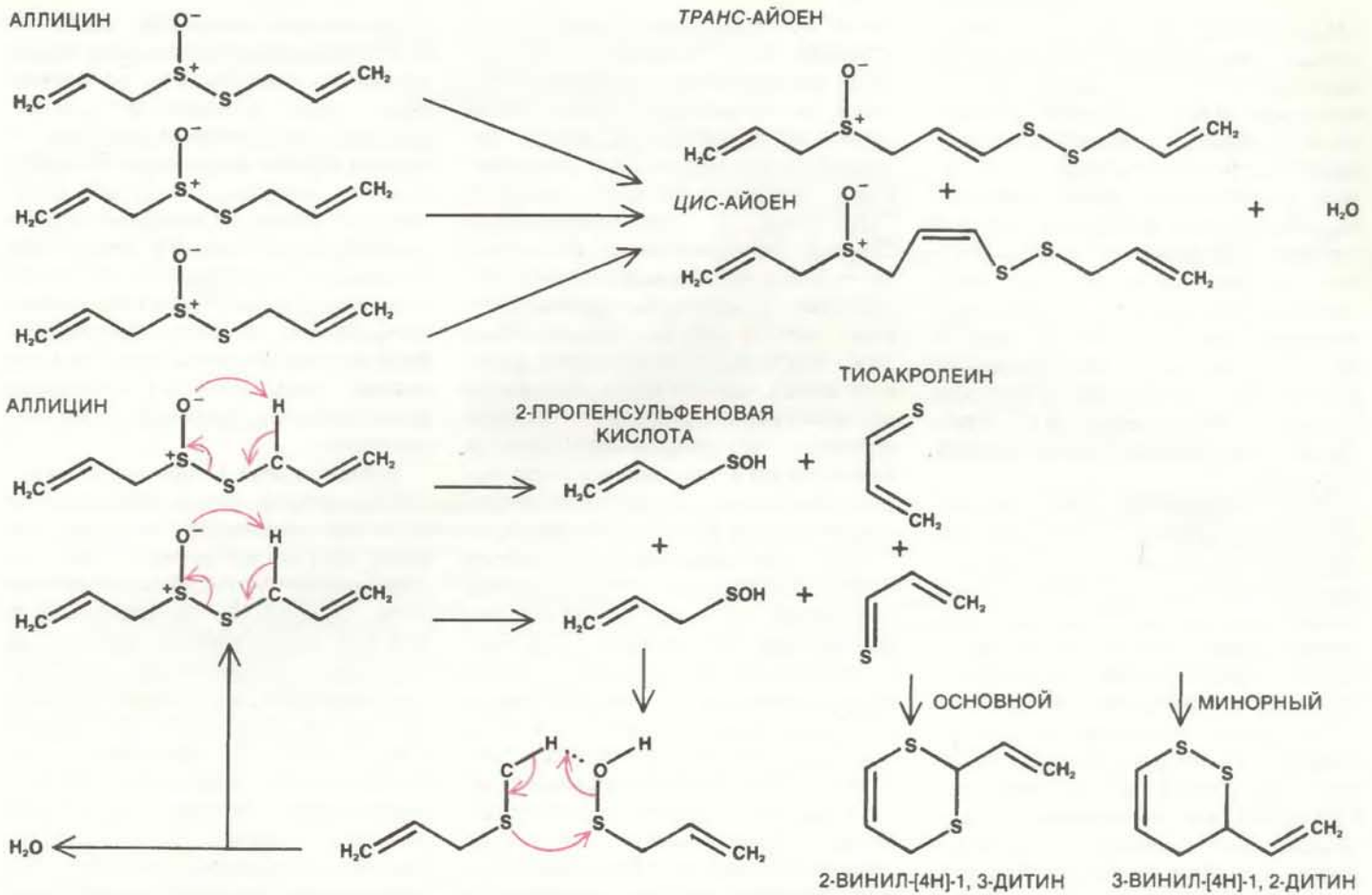
Исходя из прежних работ, в которых мы изучали конденсацию метилметантиосульфидата, я предположил, что айоен может образовываться путем конденсации молекул аллицина. Нам удалось подтвердить это предположение: при простом нагревании аллицина в смеси воды и органического растворителя, например ацетона, образовывался айоен (см. верхний рисунок на с. 64). Последующие эксперименты показали, что в качестве антитромбозного средства айоен не менее эффективен, чем аспирин. Исследования, проведенные сотрудниками Делавэрского университета и Венесуэльского института совместно с Дж. Каталфамо из Отдела здравоохранения шт. Нью-Йорк в Олбани, свидетельствовали о том, что

* В литературе на русском языке встречается также написание «ажоен». — Прим. перев.

механизм действия айоена заключается в блокировании рецепторов фибриногена на тромбоцитах. Возможно, имеет место специфическое взаимодействие определенных участков молекулы айоена, например ее углеводородного скелета, S=O- или S=S-групп, с соответствующими химически комплементарными им группировками на поверхности тромбоцитов, которые в результате теряют способность связывать фибриноген. В настоящее время мы ведем эксперименты, цель которых — выяснить возможность использования айоена в медицине.

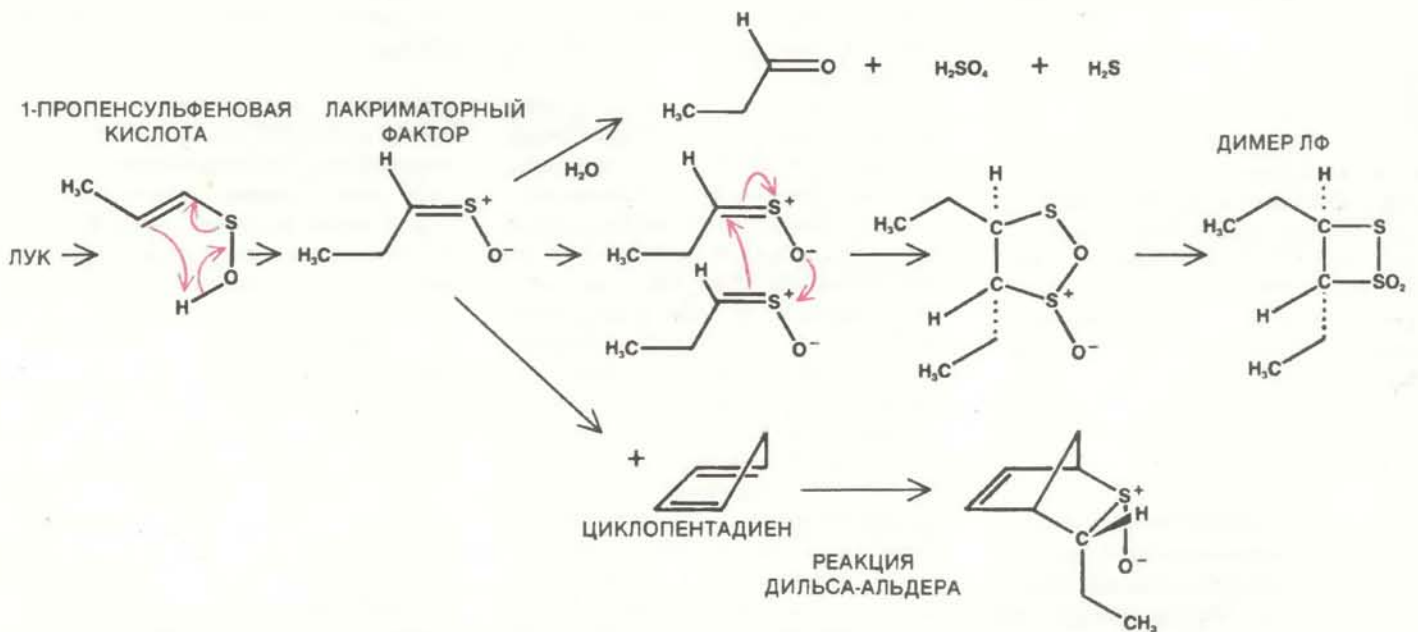
Другой аспект химии метилметантиосульфидата также оказался важным для понимания свойств аллицина. Я уже упоминал о том, что при распаде метилметантиосульфидата образуется тиоформальдегид $\text{CH}_2=\text{S}$. Аналогичный процесс, по видимому, сопровождает и разложение аллицина. При распаде аллицина образуется, в частности, тiaoакролеин $\text{CH}_2=\text{CHCH}=\text{S}$. Это очень реакционноспособное соединение, имеющее необыкновенный синий цвет, подобный цвету сапфира. Г. Бок из Франкфуртского университета показал, что тiaoакролеин димеризуется с образованием двух циклических соединений. Мы обнаружили их в чесноке, причем в том соотношении, которое предсказал Бок. Димеризация протекает по механизму, который носит название реакции Дильса — Альдера: из четырех атомов одной молекулы и двух атомов другой образуется шестичленное кольцо. (Реакция Дильса — Альдера относится к наиболее важным реакциям в органической химии.)

ВХИМИИ лука оставалась нерешенная проблема: было установлено, что лакриматорный фактор представляет собой S-окись пропантiaoальдегида и имеет формулу $\text{C}_2\text{H}_5\text{CH}=\text{SO}$. Однако у этой молекулы есть два изомера. С целью выяснить, какой из них содержится в луке, Л. Ревель, Р. Пенн и А. Баши провели в моей лаборатории специальные исследования. Для того чтобы выделить лакриматорный фактор, они измельчали замороженные луковички, добавляли растворитель (фреон), удаляли его при температуре -78°C , а остаток перегоняли в вакууме при -20°C . С помощью двух различных спектроскопических методов, которые позволяют исследовать структуру молекул — микроволновой спектроскопии и ядерного магнитного резонанса, — была установлена структура ЛФ. Он существует преимущественно в форме син-пропантiaoальдегид-S-оксида; анти-изомер был обнаружен лишь в следовых



РАСПАД АЛЛИЦИНА происходит несколькими путями. В одном из них (вверху) из трех молекул аллицина образуются две молекулы соединения, получившего название айоена. Этот механизм был предложен на основании изучения превращений метилметантиосульфидата. Показано, что айоен обладает антитромбозным действием: он препятствует агрегации тромбоцитов крови и таким образом предотвращает свертывание, причем не менее эффективно, чем аспирин. Айоен существует в двух формах, которые

обозначают «транс» и «цис». Последняя оказывает несколько более сильное физиологическое действие. Другой путь состоит в распаде аллицина с образованием 2-пропенсульфеновой кислоты и тиаакролеина. Оба соединения очень реакционноспособны. При конденсации двух молекул 2-пропенсульфеновой кислоты вновь образуется молекула аллицина; конденсация двух молекул тиаакролеина приводит к образованию двух циклических соединений, имеющих слабый антитромбозный эффект.



ПУТИ ПРЕВРАЩЕНИЯ ЛАКРИМАТОРНОГО ФАКТОРА (ЛФ) весьма сложны. В молекуле непосредственного предшественника ЛФ, 1-пропенсульфеновой кислоты, группа SOH находится рядом с двойной связью. Близость двойной связи способствует внутримолекулярному переносу водорода (обозначено цветными стрелками); в результате образуется лакриматорный фактор. Это вещество очень реакцион-

носпособно. Под действием воды оно гидролизуется (вверху) с образованием пропионового альдегида, серной кислоты и сероводорода. Из двух молекул ЛФ может образоваться необычное четырехчленное кольцо (в середине). Молекула ЛФ может также конденсироваться с циклопентадиеном и «замкнуться» в жесткую структуру из двух соединенных колец (внизу).

количествах. В *син*-форме ЛФ этильная группа C_2H_5 , расположенная на одном конце углеродного скелета, сближена с атомом кислорода, находящимся на другом конце цепи.

Мне и моим сотрудникам удалось внести ясность и в другую проблему. В чесноке под действием аллилазы образуются сульфеновые кислоты, а в луке — совершенно другие соединения, пропантiaoальдегид-S-оксиды, которые относятся к особому классу соединений, называемых сульфинами. Механизм прямого синтеза сульфинов и механизм образования сульфеновых кислот существенно отличаются друг от друга, поэтому казалось непонятным, каким образом один и тот же фермент катализирует столь разные процессы.

С помощью спектральных методов Пенн определил, что структура метансульфеновой кислоты (самой простой из сульфеновых кислот) скорее всего соответствует формуле CH_3S-OH , а не $CH_3S(O)H$. Затем Пенн и я показали, что, когда *транс*-1-пропенсульфеновую кислоту (лакриматорный фактор по Виртанену) получают химическим путем, она быстро превращается в *син*-пропантiaoальдегид-S-оксид. Если, исходя из спектральных данных, допустить, что *транс*-1-пропенсульфеновая кислота имеет структуру $CH_3CH=CHS-OH$, а не $CH_3CH=CHS(O)H$, то можно представить себе механизм перестройки молекулы как внутримолекулярный перенос водорода (см. нижний рисунок на с. 64). Мы пришли к выводу, что в луке сначала образуется сульфеновая кислота (1-пропенсульфеновая кислота), которая затем превращается в *син*-пропантiaoальдегид-S-оксид, т.е. в лакриматорный фактор.

Лакриматорный фактор также весьма реакционноспособен. В лабораторных условиях он легко гидролизуется, образуя наряду с другими продуктами серную кислоту. Он может димеризоваться, причем димер имеет необычную структуру, содержащую четырехчленное кольцо. А. Уолл и я обнаружили, что димер ЛФ может вступать в реакцию Дильса — Альдера с циклопентадиеном — очень реакционноспособным циклическим соединением, молекула которого содержит так называемую диеновую четырехатомную структуру. В этой реакции *син*-конфигурация лакриматорного фактора фиксируется, так как образуется жесткая структура из двух соединенных друг с другом колец.

ЗНАНИЕ химических свойств лакриматорного фактора пригодится в домашнем хозяйстве: неудобства, связанные с неприятным слезоточивым действием лука на организм че-

ловека, можно уменьшить. В частности, охлаждение луковицы снижает летучесть лакриматорного фактора. Если чистить лук под струей водопроводной воды, то ЛФ вымывается, поскольку он растворим в воде.

Зачем природа наделила чеснок и лук специальным химическим аппаратом, производящим аллицин и лакриматорный фактор? Поскольку аллицин обладает фунгицидным и бактерицидным действием, возможно, что он защищает растение чеснока от поражения его луковиц грибами. Лакриматорный фактор, вероятно, отпугивает некоторых животных, что дает луку определенные преимущества в борьбе за существование.

Остается, однако, нерешенным вопрос об антитромбозном действии некоторых соединений чеснока. Моим коллегам и мне не удалось обнаружить айобен или другие циклические соединения, обладающие антитромбозным действием, ни в высушенном чесночном порошке, ни в пилюлях, маслах, экстрактах и других патентованных препаратах из чеснока. Одно

из возможных объяснений состоит в том, что первый этап получения большинства из этих препаратов включает такую жесткую обработку, как перегонка с водяным паром. Пока наибольшим лечебным действием обладает свежий чеснок. Конечно, самолечение различными смесями из чеснока и лука не должно заменять квалифицированной медицинской помощи. И чеснок, и лук еще долго напоминают о себе после того, как мы их съели, потому что имеющиеся в них серусодержащие соединения попадают из кровяного русла в окружающую среду вместе с выдыхаемым воздухом и потом. Достоинства и недостатки чеснока прекрасно сформулировал сэръ Джон Харрингтон в своем «Докторе англичанина», написанном в 1609 г.: «Чеснок может спасти от смерти, поэтому им нельзя пренебрегать, хотя он плохо пахнет; не презирайте чеснок, подобно тем людям, которые видят в нем лишь плохое из-за того, что он обладает неприятным запахом, вызывает жажду и слезы».

Издательство МИР предлагает:

Е. Зейболд, В. Бергер
ДНО ОКЕАНА.
Введение в морскую
геологию

Перевод с английского

Книга двух известных исследователей геологии дна Мирового океана, президента Международного союза геологических наук проф. Е. Зейболда и д-ра В. Бергера, представляет собой краткий обзор всех последних достижений мировой науки в области морской геологии. В простой и доступной форме изложены взгляды на происхождение и историю формирования структур дна Мирового океана и его континентальных окраин, рассмотрены состав, источники и различные факторы переноса осадков, распространение морских организмов, вопросы палеоокеанологии и минеральных ресурсов морского дна.

Для геологов, преподавателей, аспирантов и студентов всех геологических специальностей.

1984 г., 22 л.
Цена 3 р. 60 к.

А. Митчел, И. Гарсон
ГЛОБАЛЬНАЯ
ТЕКТОНИЧЕСКАЯ
ПОЗИЦИЯ
МИНЕРАЛЬНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Перевод с английского

Обобщающая металлогеническая работа, в которой характеристика рудных месторождений дается в связи с их тектонической позицией в соответствии с основными положениями тектоники плит. Рассматриваются принципы металлогенического анализа на основе этих новых взглядов, а также отдельные группы месторождений в зависимости от их конкретного тектонического положения: месторождения пассивных континентальных окраин, зон субдукции, зон трансформных разломов и линеаментов и т.д.

Для преподавателей, студентов, научных работников и производственников всех геологических специальностей.

1984 г., 29 л.
Цена 4 р. 65 к.



Наука вокруг нас

Формула для расчета скорости и эффективности полета парящей птицы

ДЖИРЛ УОЛКЕР

МНОГИЕ птицы умеют парить (т.е. летать, не взмахивая крыльями), описывая круги в восходящих потоках воздуха. Внимательно наблюдая за такими птицами, можно многое узнать об аэродинамике полета, а также о том, как летают птицы различных видов. П. Маккриди из компании AeroVironment Incorporated (Монровия, шт. Калифорния) разработал метод, с помощью которого любитель может вычислить коэффициент подъемной силы, характеризующий эффективность полета птицы. Кроме этого, можно вычислить скорость и радиус кружения.

Первые же наблюдения за парящими птицами вдохновили Маккриди на создание летательного аппарата Gossamer Condor, который получил главный приз в соревнованиях Kremer Competition в 1977 г., так как стал первым из аппаратов, движимых мускульной силой, выполнившим восьмерку. (В настоящее время Gossamer Condor выставлен в Музее авиации и космонавтики.) То, что такой полет возможен, следовало из проведенных Маккриди расчетов процесса парения птиц, в особенности из оценки затрачиваемой мощности.

Наблюдения и анализ парения птиц Маккриди начал в 1974 г. с того, что следил за плавным кружением грифов-индеек *Cathartes aura*. Он из-

мерял время прохождения птицей полного круга, а также угол ее крена (т.е. угол между плоскостью крыльев и горизонтальной плоскостью). Держа в вытянутой руке транспорт, Маккриди замерял угол крена дважды: когда птица летела на него и от него. Записывалась средняя величина по этим двум измерениям и время прохождения полного круга.

Маккриди наблюдал также, как парят американские стервятники *Coragyps atratus* и лучшие из «мастеров» — фрегаты *Fregata magnificens*. В 1980 г., находясь в Ла-Пасе в Мексике, он вновь занялся наблюдениями за фрегатами. В 1982 г. он делал видеозаписи полетов, пользуясь телекамерой с вариообъективом и при воспроизведении записи измерял угол крена по изображению на телеэкране. Часы, подключенные к воспроизводящему устройству, регистрировали время.

Результаты, полученные в 1980 и 1982 гг., оказались, на удивление, несхожими. В 1980 г. средний угол крена был 23° , а среднее время прохождения полного круга — 9,1 с. По наблюдениям 1982 г., средний угол составил 39° , а среднее время — 9,4 с.

Во втором случае полеты происходили на значительно большей высоте, что снижало точность измерения угла. После внесения Маккриди соответствующей поправки средний угол крена, по данным 1982 г., уменьшил-

ся до 36° . Однако так и осталось непонятным, почему при парении на большей высоте птицы накрываются сильнее. Я вернусь к этому вопросу после того, как ознакомлю вас с расчетами эффективности полета, проведенными Маккриди.

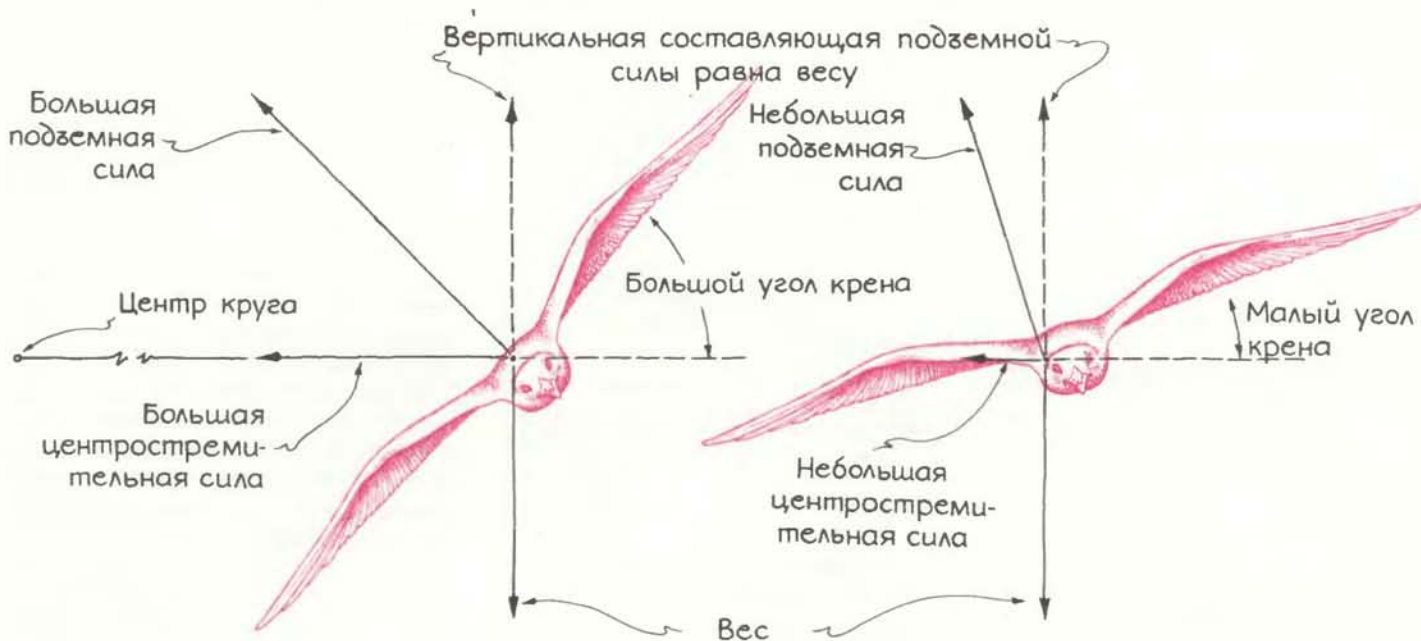
Планирующая птица медленно опускается относительно воздушного потока, в котором она находится. Если этот поток поднимается быстрее, чем опускается птица, то она выигрывает в высоте относительно земной поверхности. Кружащая птица обычно маневрирует так, чтобы оставаться в восходящем потоке. Подъемная сила действует перпендикулярно линии, соединяющей кончики крыльев. Она перпендикулярна также направлению полета. Если птица держится ровно, то подъемная сила направлена точно по вертикали и противодействует силе тяжести. Когда птица накрывается, подъемная сила отклоняется от вертикали на угол крена и приобретает горизонтальную составляющую. Весу птицы противодействует теперь лишь вертикальная компонента подъемной силы. Если она мала, то по отношению к восходящему потоку воздуха птица опускается, если велика — птица поднимается.

Горизонтальная составляющая подъемной силы создает центробежное ускорение, обуславливающее круговое движение. Его величина зависит от величины подъемной силы и угла крена.

Маккриди вывел формулу, с помощью которой можно вычислить скорость птицы по известным значениям угла крена и периода кружения. Эта формула базируется на трех соотношениях, которые выводятся из следующих соображений: 1) при парении птицы вертикальная составляющая подъемной силы равна ее весу; 2) го-



Гриф-индейка, парящий в восходящем потоке воздуха



Составляющие подъемной силы

горизонтальная составляющая подъемной силы порождает круговое движение, а потому равна произведению массы птицы на ее центростремительное ускорение, которое вычисляют, возводя скорость в квадрат и деля результат на радиус окружности; 3) скорость движения по окружности равна длине этой окружности, деленной на время ее прохождения.

Имея эти три соотношения, Маккриди нашел, что скорость птицы пропорциональна времени прохождения окружности, умноженному на тангенс угла крена. Зная скорость, радиус можно вычислить из соотношения между скоростью и длиной окружности.

Общая формула приведена на верхнем рисунке на с. 68. На нижнем рисунке эти соотношения представлены в графическом виде. График можно использовать в полевых условиях. Сначала измерьте у кружащей птицы угол крена и время прохождения полного круга. Отложите время на оси абсцисс. Теперь двигайтесь вверх до пересечения с наклонной прямой линией, помеченной той величиной угла крена, которую вы измерили. (Если величина угла лежит между обозначенными на графике значениями, то следует остановиться между двумя соответствующими прямыми.) От точки пересечения двигайтесь прямо к оси ординат, где вы и прочтете величину скорости птицы. Если, например, птица описывает круг за 9 с при угле крена 20° , то ее скорость — около 5,1 м/с.

Пользуясь графиком, можно определить также радиус кружения. Продвинувшись вверх от точки, представляющей время прохождения круга, до пересечения с линией углов крена,

определите радиус по ближайшей кривой радиусов. В приведенном примере радиус равен примерно 7,3 м.

На основе полевых наблюдений 1980 г. Маккриди рассчитал, что птицы планировали со скоростью 5,9 м/с по окружности среднего радиуса 8,5 м. Птицы, за которыми он наблюдал в 1982 г., планировали со скоростью 10,4 м/с по кругу радиусом 15,3 м.

Другой характеристикой парения птиц является коэффициент подъемной силы, который определяется по нагрузке на крылья, создаваемой подъемной силой. Нагрузка равна подъемной силе, деленной на полную площадь верхней поверхности крыльев. Коэффициент подъемной силы равен отношению нагрузки к скоростному напору, возникающему при движении птицы вперед. А скоростной напор равен произведению половины значения плотности воздуха на квадрат скорости птицы.

Истинная величина коэффициента подъемной силы зависит от угла атаки, т.е. угла, под которым на крылья птицы набегают поток воздуха. Максимального значения коэффициент достигает при критическом угле атаки, таком, при котором происходит срыв потока (в этом случае воздух перестает плавно обтекать крыло и начинает отрываться от него). Маккриди пытался определить, сколь велики могут быть эти коэффициенты у парящих птиц и достигают ли они больших значений, чем у построенных человеком летательных аппаратов.

Определение коэффициента подъемной силы в указанной форме малоприспособно для любителей, наблюдающих парение птиц, поскольку подъемная сила остается неизвестной. Поз-

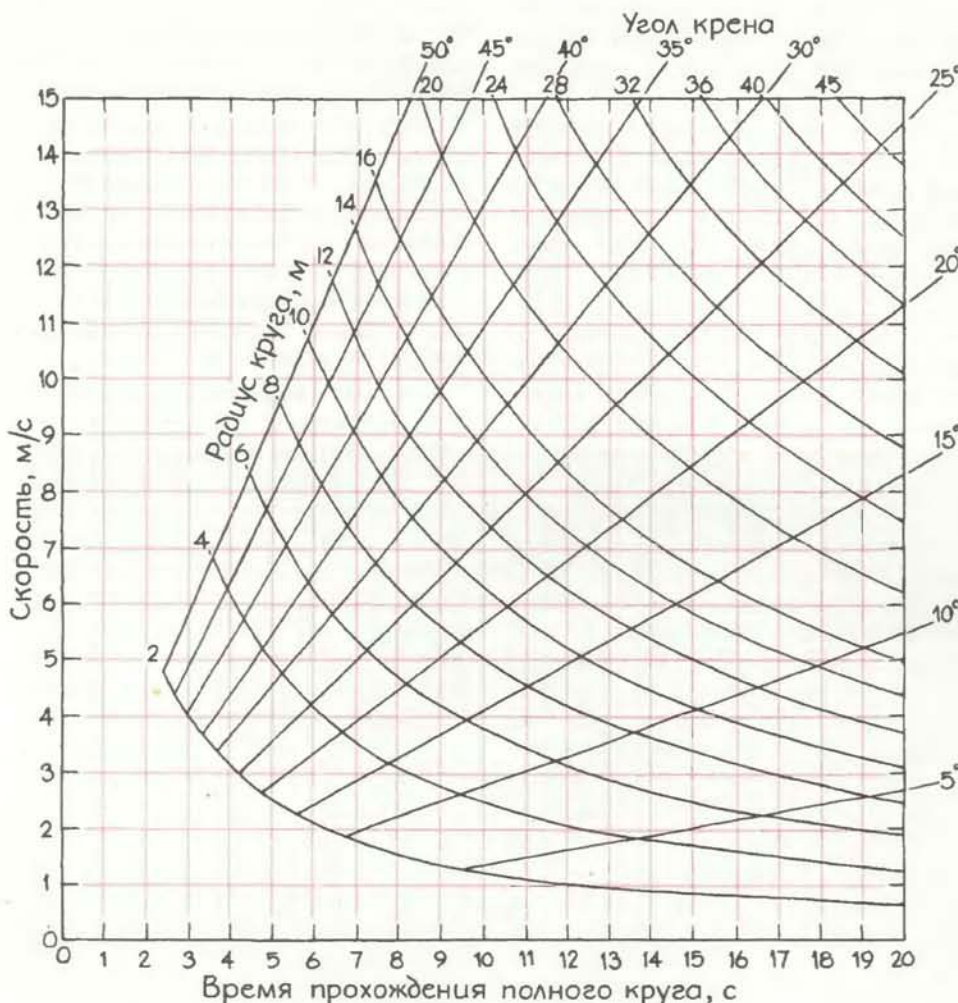
тому Маккриди выразил этот коэффициент через более доступные величины. Подъемную силу он заменяет на вес птицы. (Отношение веса к площади верхней поверхности крыльев называют нагрузкой на крыло.) Вместо истинной скорости птицы берется такая скорость, которую птица имела бы, планируя по прямой при том же коэффициенте подъемной силы. Эта скорость прямолинейного движения равна истинной скорости, умноженной на корень квадратный из косинуса угла крена. Отношение скорости прямолинейного движения к истинной скорости можно представить графически (рисунок на с. 69). Оно близко к единице при малом угле крена, но может быть заметно меньше при больших углах.

Для завершения расчета коэффициента подъемной силы нужно еще знать отношение веса к площади верхней поверхности крыльев для рассматриваемого вида птиц. (Можно предположить, что это отношение одинаково для всех птиц одного вида.) Для фрегатов, которых наблюдал Маккриди, это отношение равно примерно 35,1 ньютонов на квадратный метр. (Ньютон — метрическая единица силы. Тело с массой в один килограмм при действии силы в один ньютон приобретает ускорение один метр в секунду за секунду.) Плотность воздуха, которую также нужно знать для расчетов, зависит от атмосферного давления и температуры. Приняв, что птицы, парение которых он наблюдал, находились примерно на уровне моря, а воздух имел температуру 15°C , Маккриди получил для плотности воздуха величину $1,225 \text{ кг/м}^3$.

Зная эти величины, Маккриди рас-

| | |
|---|--|
| t — Время прохождения полного круга | Вертикальные силы равны $L \cos \theta = mg$ |
| L — Подъемная сила | Горизонтальная составляющая подъемной силы равна центробежной силе $L \sin \theta = \frac{mv^2}{r}$ |
| g — Ускорение силы тяжести | Связь между скоростью и радиусом $v = \frac{2\pi r}{t}$ |
| w и mg — Вес птицы | Окончательные соотношения для скорости и радиуса $v = \frac{tg \tan \theta}{2\pi}, r = \frac{vt}{2\pi}$ |
| v — Скорость | Скорость прямолинейного движения $v_a = v \sqrt{\cos \theta}$ |
| v_a — Скорость прямолинейного движения | Кoeffициент подъемной силы $C_L = \frac{L/S}{\rho v^2/2} = \frac{w/S}{\rho v_a^2/2}$ |
| θ — Угол крена | |
| r — Радиус круга | |
| S — Площадь верхней поверхности крыльев | |
| L/S — Нагрузка подъемной силы на крыло | |
| w/S — Нагрузка веса на крыло | |
| ρ — Плотность воздуха | |

Формулы П. Маккриди



Полевая номограмма для определения скорости и радиуса кружения парящей птицы

считал значение коэффициента подъемной силы: по данным 1980 г. оно равнялось 1,79, а по данным 1982 г. — 0,65. Разница в результатах вызвана различием в скоростях прямолинейного движения (которые зависят от истинных скоростей и углов крена).

При вычислении коэффициента вновь встал вопрос о различии в углах крена в двух сериях наблюдений, проведенных в Мексике. После первых наблюдений в 1976 г. Маккриди предположил, что для всех парящих птиц характерен одинаковый коэффициент подъемной силы. Расчеты, которые он тогда провел для грифов-индеек, американских стервятников и фрегатов, подтвердили это предположение. Наблюдения 1980 и 1982 гг. преподнесли сюрприз: оказалось, что парение птиц одного вида не всегда происходит с одинаковым коэффициентом подъемной силы. При наблюдениях в 1980 г. ветер был ровным и слабым, а при наблюдениях в 1982 г. — порывистым и сильным. Из этого Маккриди заключил, что птицы «приспосабливают» свой коэффициент подъемной силы крыла к метеорологическим условиям.

Точно так же планер при парении в турбулентном термике (восходящем потоке теплого воздуха) летит быстрее, чем в спокойном термике. При более высокой скорости менее вероятен срыв потока в случае резкого возрастания угла атаки, которое может быть вызвано турбулентностью; кроме того, улучшается управляемость аппарата. Наконец, при большей скорости планерист может более круто войти в термик.

Птицы выполняют такие маневры более эффективно, поскольку они имеют больший «опыт» парения и снабжены большим числом рецепторов, а их крылья имеют больше степеней свободы. Видеозапись, сделанная Маккриди в 1982 г., показывает, что в турбулентном потоке птицы постоянно меняют угол крена и форму крыльев, в частности степень их скручивания.

Нагрузка на крыло у дельтапланов имеет тот же порядок величины, что и у некоторых птиц, например у американского стервятника. Поэтому пилот дельтаплана может использовать термики, почти столь же слабые, как и те, в которых летают птицы. Однако птицы имеют еще одно преимущество, касающееся управляемости. К. Пенниквик из Бристольского университета, специалист по биологии пернатых, однажды заметил: «На мой взгляд, если даже удастся скопировать систему управления птиц, то кабину придется начинить рычагами до такой степени, что для управления

ими понадобится осьминог». Более того, поскольку у птиц крылья короче (а стало быть, радиус поворота меньше), то для уравнивания подъемных сил, действующих на каждое крыло, им меньше приходится скручивать крылья. У дельтаплана, имеющего больший размах крыльев, осуществлять такую регулировку труднее.

У большого планера нагрузка на крыло гораздо больше, чем у дельтаплана или у птицы, и летает он гораздо быстрее. Кроме того, его парение более эффективно, и он медленнее опускается в потоке воздуха. Тем не менее слабые восходящие потоки планер в отличие от птиц использовать не может.

Поскольку у грифа-индейки нагрузка на крыло существенно меньше, чем у американского стервятника, он может парить в небольших слабых термиках, например рано утром (когда восходящие потоки слабы). Фрегат, имеющий длинные, изящные крылья, парит над океаном лучше, чем все остальные птицы. Он использует даже легкий ветерок, создаваемый слабой конвекцией, которая возникает, когда вода теплее воздуха.

В спокойных условиях коэффициент подъемной силы у фрегатов равен 1,8. Если учесть аэродинамические условия парения птиц, эта величина кажется удивительно большой. Благодаря этому фрегат может планировать с такой малой скоростью, при которой у других птиц или планеров обычно происходит срыв потока. Маккриди полагает, что дальнейшие наблюдения могут уменьшить эту оценку. В противном случае придется сделать вывод, что фрегаты «сконструированы» лучше, чем модели аэропланов тех же размеров, летающие с теми же скоростями, так что специалистам по аэродинамике будет к чему стремиться.

В ПРОШЛОМ номере журнала я описывал любопытное остаточное изображение, которое возникает, если наблюдать какой-либо объект при вспышке яркого света в темной комнате. Слепленные этим светом, вы не можете рассмотреть объект детально. Если, однако, не менять направление взгляда, то вскоре перед вами появится подробное остаточное изображение, напоминающее фотоснимок. Остаточное изображение может быть настолько ясным, что на нем различим, например, текст в журнале.

Упомянутая статья частично основывалась на результатах исследования Э. Адельсона из Исследовательского центра Дэвида Сарноффа компании RCA. Он предложил и другой вариант демонстрации остаточного

изображения. Наблюдатель, адаптировавшись к темноте, при вспышке света смотрит на, казалось бы, белую карточку. В остаточном изображении заметно слово, написанное на карточке, хотя во время вспышки этого слова не было видно.

При подготовке демонстрации Адельсон, используя желтый косметический карандаш, пишет на белой карточке жирными прописными буквами слово RODS (по-английски оно означает «палочки», т.е. один из двух типов фоторецепторов сетчатки — *Перев.*). Затем он вырезает в красном фильтре щель шириной в полсантиметра, закрывает эту щель голубым фильтром и ставит получившийся фильтр перед лампой-вспышкой. Во время вспышки лампа дает пучок красного света, и только через щель идет голубой свет. После вспышки и после того, как ваши глаза привыкли к темноте, вы увидите чистую карточку, подсвеченную красным светом. Лишь через несколько десятых долей секунды появится слово RODS.

Адельсон объясняет восприятие слова свойствами желтой краски по отношению к поглощению света. В красном свете карточка кажется чистой, поскольку надпись не поглощает красный свет. В голубом свете на карточке видны темно-серые буквы, так как надпись поглощает голубой свет. Колбочки сетчатки воспринимают яркий красный свет, подавляющий серый цвет букв, обусловленный более тусклым голубым освещением. Палочки, которые нечувствительны к красному свету, регистрируют наличие слова, однако они уже насыщены благодаря голубому освещению, так что слово не воспринимается. После того как возбуждение палочек затихнет, они смогут «продуцировать» слово в остаточном изображении.

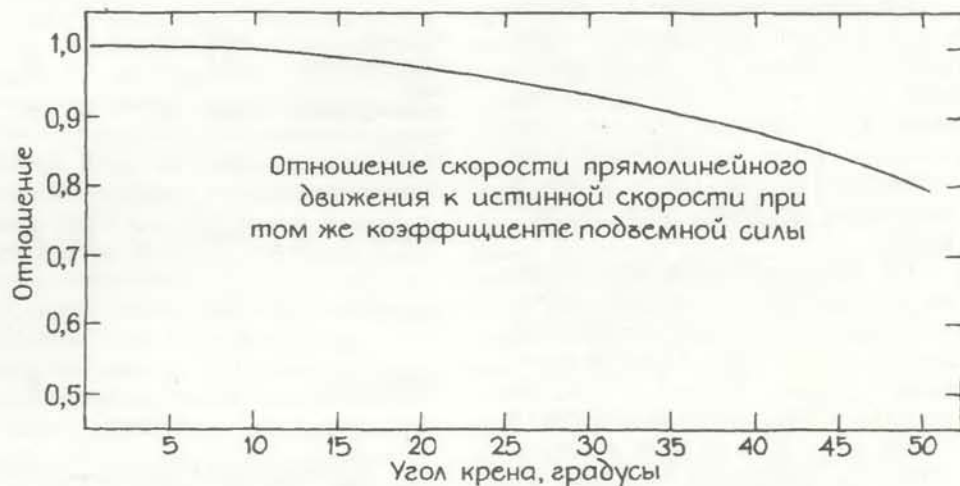
Количество голубого света, возможно, придется отрегулировать. Если его поступит слишком много, вы

увидите слово во время вспышки, и вас не удивит его появление в остаточном изображении, если же его будет мало, то вы не увидите слово и в остаточном изображении.

Можно расположить карточку и так, чтобы буквы слова появлялись по очереди. Поместите лампу-вспышку примерно в пятнадцати сантиметрах от буквы S под таким углом, чтобы освещалось все слово. Тогда R освещается вспышкой меньше прочих букв и палочки, воспринимающие ее образ, меньше всего насыщаются. Поэтому вы увидите R раньше, чем все остальные буквы. Следующей будет воспринята буква O (после того, как в соответствующих палочках затихнет возбуждение). Последней появится S, поскольку воспринявшие ее изображение палочки были наиболее освещены и им требуется наибольшее время для того, чтобы возбуждение затихло.

ГОВАРД Броуди из Пенсильванского университета и Дж. Стрейли из Кентуккийского университета указали на ошибку в моей заметке о мяче для игры в рэкитбол, опубликованной в сентябрьском номере журнала "Scientific American" за 1984 г. Я писал, что при упругом отскоке мяча от пола вертикальная составляющая скорости меняет знак, сохраняя величину, и поэтому каждый раз мяч будет подниматься на одинаковую высоту.

Как ни очевиден был для меня этот вывод, я забыл о нем, наблюдая на кухне отскоки упругого мяча от пола. Когда я закручивал мяч, казалось, что он скачет так, что высокие и низкие отскоки чередуются. Однако это была иллюзия: высота каждого отскока оставалась на самом деле одной и той же. Вследствие вращения мяч отскакивал под разными углами к полу: если горизонтальная составляющая скорости после отскока была мала, то



Способ определения прямолинейной скорости птицы

мяч шел вверх круто, если же велика — то полого. Разницу в углах я ошибочно воспринимал как разницу в высоте подскоков.

Броуди указал также, что в теннисе вращение играет более сложную роль, чем в рэкетболе. Он пишет: «Высокий отскок при ударе с верхним вращением и низкий — при ударе с нижним вращением получаются не вследствие взаимодействия мяча с поверхностью корта, но вследствие того, что вертикальная скорость мяча возрастает в первом случае и уменьшается во втором. Это происходит благодаря эффекту Магнуса.» (Так называют явление перепада воздушного давления между противоположными сторонами мяча, обусловленное взаимодействием вращающейся поверхности с движущимся воздухом. В зависимости от направления вращения разность давлений толкает мяч либо вверх, либо вниз.) У мяча для игры в рэкетбол этот эффект меньше, поскольку он более гладкий.

Дж. Кеннеди из Майами написал мне о нескольких других загадках, связанных с игрой в рэкетбол. Один из своих ударов он наносит, находясь у средней линии в правой половине корта. Мяч попадает последовательно в переднюю стенку, в заднюю часть левой стенки, в середину левой половины задней стенки, после чего падает на пол перед правой половиной задней стенки, напротив ее середины. Опытный противник может предугадать, где окажется мяч, и отбить его.

Проведя несколько таких ударов, Кеннеди слегка видоизменяет их, делая движение кистью в сторону удара. Хотя мяч вроде бы и ударяется о стенки в тех же точках, что и раньше, однако падает на пол гораздо ближе к задней стенке. Противник, скорее всего, окажется слишком далеко от нее и не сможет принять мяч. Кеннеди полагает, что движением кисти он закручивает мяч.

При другом интересном и редком ударе мяч с большой скоростью летит прямо в передний угол, после чего падает на пол, где его невозможно принять. Это, конечно, происходит в результате трения одновременно о две стенки, но я не знаю, рассматривал ли кто-нибудь детально такие столкновения.

При «мертвом» ударе мяч посылает горизонтально с высокой скоростью к передней стенке, в нескольких сантиметрах от пола. Тогда он отскакивает близко к полу, и его трудно принять. Бывает, что мяч попадает в стенку в 5 — 6 см от пола и при отскоке поднимается на 10—15 см, так что принять его легче. Почему поднимается мяч? Возможно, по тем же причинам, на которые указал Броуди.

Обзор читательских откликов на статьи, посвященные игре «Бой в памяти», экологической войне на планете Аква-Тор и охоте с компьютером на бобра-работягу

А. К. ДЬЮДНИ

КОГДА в прошлом году появилась статья, посвященная игре «Бой в памяти»*, я никак не ожидал, что поднятые в ней вопросы привлекут к себе столь широкое внимание. Приведенные в этой статье описания программ, перемещающихся по памяти компьютера и пытающихся уничтожить друг друга, вызвали широкий резонанс. По свидетельству многих читателей, письма которых я рассмотрю ниже, действительность изображает примерами, когда в компьютерах при самых разнообразных обстоятельствах поселяются «червяки», «вирусы» и другие программные «вредители». В результате в мире компьютера могут возникать настолько ужасные ситуации, что я даже не решаюсь о них писать.

Выпущенная недавно во Франции книжка шпионско-детективного жанра Т. Бретона и Д. Бенеша "Softwar: La Guerre Douce" («Война программ») дает нам фантастический пример подобного рода. Сюжет книги построен на паутине заговора, которую плетут американские поставщики супер-компьютера, собираясь

продать его другой стране. Американские власти после некоторого притворного колебания соглашаются на эту сделку. Компьютер был тайно запрограммирован специальными «программными бомбами». Закупленная для расчетов прогноза погоды машина, а точнее ее программное обеспечение, скрывает в себе некий скрытый механизм — как только Национальная служба погоды США сообщит, что в г. Сан-Томасе на Виргинских островах наблюдается определенная температура, машина должна немедленно приняться за искажение и уничтожение всех доступных ей программ в сети ЭВМ страны-импортера. Предположив реальность подобных сценариев, хочется отметить: «Если и говорить о войнах, то пусть они лучше будут программными». С другой стороны, при мысли о том, что борьба программ в компьютерах, которыми располагают военные ведомства, может привести к трагической случайности, тоже становится как-то не по себе.

Прежде чем перейти к описанию разнообразных случаев, связанных с

| КОМАНДА | ОБОЗНАЧЕНИЕ | КОД | ОПЕРАНДЫ | | ПОЯСНЕНИЯ |
|-----------------------------|-------------|-----|----------|---|---|
| Переместить | MOV | 1 | A | B | Переместить содержимое ячейки A в ячейку B |
| Сложить | ADD | 2 | A | B | Сложить содержимое ячеек A и B |
| Вычесть | SUB | 3 | A | B | Вычесть содержимое ячейки A из содержимого ячейки B |
| Перейти | JMP | 4 | A | | Передать управление на ячейку A |
| Перейти, если ноль | JMZ | 5 | A | B | Передать управление на ячейку A, если в ячейке B находится ноль |
| Перейти, если больше | JMG | 6 | A | B | Передать управление на ячейку A, если в ячейке B находится величина бо́льшая нуля |
| Уменьшить и перейти, если 0 | DJZ | 7 | A | B | Вычесть 1 из содержимого ячейки B и передать управление по адресу A, если содержимое B становится нулем |
| Сравнить | CMP | 8 | A | B | Сравнить величины в ячейках A и B, если они не равны, пропустить следующую команду |
| Разветвить | SPL | 9 | A | | Разветвить выполнение команд: выполнить следующую команду и команду в ячейке A |
| Определить | DAT | 0 | | B | Невыполняемая команда; B — значение элемента данных |

Система команд языка программирования для игры «Бой в памяти»

* «В мире науки», 1984, № 7. — Прим. ред.

действиями всевозможных враждебных программ, напомним вкратце правила игры «Бой в памяти». Двое играющих пишут каждый свою программу на языке низкого уровня Редкод. Эти программы помещаются в обширную замкнутую область памяти, или просто Память. В действительности Память представляет собой массив из нескольких тысяч ячеек с последовательными адресами, причем за адресом последней ячейки вновь следует адрес первой. Каждая команда боевой программы занимает одну ячейку Памяти. Программа монитор под названием Марс (Mars — сокращение от слов A Memory Array Redcode Simulator) управляет боевыми программами, выполняя по одной очередной команде из каждой программы по простой системе разделения времени. Программы атакуют друг друга и одновременно пытаются избежать ущерба или восстановить себя, если ущерб все же был нанесен. Простейший вид атаки может представлять собой команда MOV. Например, команда

MOV # 0 1000

приведет к тому, что в ячейку, отстоящую на 1000 адресов от данной команды, будет помещено число, равное нулю. Информация, содержащаяся ранее в ячейке, будет уничтожена. В частности, если нуль попадет в начальную ячейку, содержащую команду из программы противника, то эта команда исчезнет, программа не сможет больше выполняться и это приведет к поражению противника. Поскольку ни один компьютер, будь то персональный или большой универсальный, не имеет таких встроенных средств, как язык Редкод и массив памяти для сражающихся программ, эти средства должны моделироваться.

Вдохновленный статьей Л. Пенроуза о самовоспроизводящихся механизмах, появившейся в июньском номере журнала "Scientific American" за 1959 г., Ф. Стал из Честерфилда, шт. Миссури, создал миниатюрную линейную вселенную, населенную незамысловатыми существами, которые жили, передвигались по своему миру, подчиняясь (если так можно выразиться) воле судеб. Стал пишет:

«Как и в игре «Бой в памяти», я выделил замкнутый линейный сегмент памяти, где с помощью несколько модифицированного машинного языка моделировались существа. Тогда в моем распоряжении была машина IBM 650 с памятью на магнитном барабане. Существо было запрограммировано, чтобы ползать в пределах своего мира, питаться ненулевыми словами и, наевшись досыта, произ-

```

1  IF PEEK (104) = 134 GOTO 10
2  POKE 104, 134: POKE 134 * 256,0
3  PRINT CHR$(4) "RUN APPLE WORM"
10 HOME : POKE - 16302,0: POKE - 16304,0: POKE 1023,160
20 FOR I = 0 TO 94: READ D: POKE 1024 + I, D: NEXT I
30 POKE - 16368,0
40 IF PEEK (- 16384)<128 GOTO 40
50 CALL 1024
100 DATA 160,225,200,185,255,3,153,127,4,192,95,208,245,
160,18,190,76,4,24,189,128,4,105,128,157,128,4,189,129,
4,105,0,157,129,4,192,13,208,18,238,23,4,173,23,4
200 DATA 141,151,4,206,31,4,173,31,4,141,159,4,136,208,211,
173,167,4,72,173,176,4,141,167,4,104,141,176,4,76,128,
4,7,20,25,28,33,46,55,61,65,68,72,75,4,16,40,43,49,52

```

Программа «червяк», обитающая в компьютерах

водить на свет свою копию. Аналогично игре «Бой в памяти» у меня была программа монитор, которая хранит сведения о живых существах и распределяла между ними машинное время. Эту программу я называл шутливо «Левой рукой бога».

В письме Стал рассматривает способность программы к воспроизводству и описывает интересный механизм мутаций. В процессе создания своей копии программа может внести в нее несколько случайных изменений. Однако Стал пишет: «Я исключил это свойство после одного из прогнозов системы, когда стерильный мутант сожрал единственное способное к воспроизводству существо. Было очевидно, что для достижения скольких-нибудь интересных результатов потребовался бы чрезвычайно большой объем памяти и очень много машинного времени».

Можно рассказать также историю, связанную с игрой «Животное», в которой программа, последовательно задавая играющему с ней человеку двадцать наводящих вопросов, пытается определить, какое животное он задумал. Д. Кларк из лаборатории вычислительной техники Массачусетского технологического института сообщил нам, что сотрудники одной фирмы увлеченно играли в «Животное». Хотя эта программа совсем не напоминает боевую программу и даже не имеет ничего общего с простыми существами Стала, она приобрела способность к воспроизводству в памяти компьютера благодаря усилиям программиста, направленным на то, чтобы повысить эффективность игры. Когда программа ошибается, называя не то животное, которое имел в виду человек, она просит его посоветовать, какой вопрос ей в будущем следует взять на вооружение, чтобы играть успешнее. Это свойство

программы подсказало программисту одно техническое решение, благодаря которому у всех играющих все время была бы одна и та же версия «Животного».

«Работая с одной из очень ранних систем, в которой отсутствовали развитая структура каталогов коллективного пользования и средства защиты данных, программист изобрел весьма оригинальный способ сделать игру доступной сразу для нескольких пользователей. Допустим, у одного из пользователей библиотека содержит игру. Всякий раз, когда этот пользователь поиграл с программой, она создает свою копию в библиотеке другого пользователя. Если в этой библиотеке ранее уже имелась копия игры, старая версия стиралась и на ее место записывалась новая. Благодаря этому поведение программы становилось для играющего неожиданным. Если же библиотека ранее не содержала версии «Животного», то игра предлагалась еще одному пользователю».

Кларк вспоминает, что игра «Животное» была весьма популярна и в каждой программной библиотеке компании обязательно содержался экземпляр этой игры. «Более того, при переходе сотрудников фирмы из одного отдела в другой. . . они брали с собой и игру, и со временем она распространилась на все машины компании». Ситуация в общем-то не была опасной, но многочисленные копии этой сравнительно безобидной игры стали существенно засорять дисковую память. И только когда была изобретена еще более «жизнеспособная» версия игры, создавшаяся проблема была решена. Во время игры с новой версией «Животного» программа создавала не одну, а две свои копии в двух других библиотеках. Через некоторое время эта программа должна была заменить все старые

Как известно, на каждом диске компьютера Apple имеется копия дисковой операционной системы, загружаемой в машину при включении питания. Вирус должен был представлять собой некое изменение в этой операционной системе. При каждой операции записи на диск он должен был проверять, содержится ли там его копия. Если нет, то «вирус» вносил бы аналогичное изменение в операционную систему, записанную на диске. Таким образом, он мог поселиться на всех дискетах, которые вставлялись бы в дисковод данной машины после первоначальной загрузки исходной системы, содержащей «вирус». Мы подумали, что если записать такую операционную систему на один из дискетов, используемых в самом крупном магазине, торгующем персональными компьютерами, то в Брешиа возникнет эпидемия, которая распространится на весь город.

Но что это за эпидемия при таком безобидном вирусе? Нет, наш вирус должен быть злокачественным! Поэтому мы решили, что после 16 циклов воспроизводства, подсчитываемых на самом диске, программа должна стереть и заново проинициализировать дискет сразу же после загрузки операционной системы. Но теперь мы уже сами ужаснулись своей злой идее и решили не только отказаться от ее реализации, но и никому не говорить о ней ни слова.

Ну что ж, это было очень любезно со стороны Черутти и Морокутти. В персональных компьютерах дисковая операционная система (DOS) — это царь и бог, вершащий судьбы программ, данных и всего остального. Согласно описанному выше замыслу, дисковая операционная система стирает диск, с которого она была загружена в машину, и потому уже не может быть загружена снова с этого диска. Заболевшая операционная система могла бы даже время от времени выдавать на экран удручающее сообщение:

ВАШ ДИСК БАРАХЛИТ?

Самое время приобрести
ДОКТОРА DOS
Диски с ДОКТОРОМ можно
купить
в ближайшем магазине,
торгующем компьютерами

Вирусное заражение, описанное выше, уже имело место в действительности, правда в небольших масштабах. Р. Скренга-младший, учащийся из Питсбурга, написал программу, обладающую следующими свойствами. Вместо того чтобы стирать записи на диске или выводить на экран объявления, эта инфекция приводила

к возникновению тонких, трудно уловимых ошибок в операционной системе.

«Все это кажется теперь детской игрой, — пишет Скренга, — но боже мой! Я никак потом не мог избавиться от этой электронной чумы. Она заразила все мои диски и диски всех моих приятелей. Она даже умудрилась проникнуть на графические диски учителя математики». Скренга сочинил программу, которая должна была уничтожить вирус, однако она оказалась не столь эффективной, как сам вирус.

На основании сказанного возникает неплохая задачка, и я поистине проявил бы недостаток воображения и даже своего рода безответственность, если бы не сформулировал ее своим читателям. На одной или двух страничках опишите программу ДОКТОР DOS, которая хранилась бы на диске и каким-то образом защищала бы компьютеры от подобных электронных эпидемий. На многих дискетах, предназначенных для персональных компьютеров, содержатся копии DOS. После включения машины она получает свою операционную систему, считывая ее с дискета. Загруженная в память машины DOS будет оставаться в силе, когда машина будет работать и с другими дискетами, также содержащими копии DOS. Если загруженная в память операционная система заражена, то она может внести изменения и в другие копии DOS или даже полностью заменить их собою. Как можно воспрепятствовать подобному заражению?

В ПЕРВОНАЧАЛЬНОЙ версии «Бой в памяти» главной целью было защитить программу А от случайных попаданий «бомб», разбрасываемых боевой программой противника В. Если бы такая защита была более или менее гарантирована, то на следующем этапе эволюции игры можно было бы приступить к созданию программ, способных отыскивать друг друга и проводить уже «прицельные» атаки, если можно так выразиться.

Пытаясь обеспечить гарантию защиты от случайных попаданий, я предложил в прошлой статье ввести еще одну команду

PCT A

где А — относительный адрес (прямой или косвенный) команды, которая должна быть защищена. Однократная попытка изменить содержимое ячейки с этим адресом будет заблокирована системой Марс, осуществляющей управление игрой. Однако следующая попытка сделать то же самое уже будет успешной. Мне кажется, что при помощи простого цикла каж-

дая боевая программа может защитить свои команды от случайных бомб в течение достаточно длительного промежутка времени, чтобы успеть провести какое-то активное действие по отношению к программе-противнику. Такой защищающий программу цикл изображен на рисунке на с. 72. Он состоит из шести команд, четыре из которых выполняются при каждом прохождении через цикл. Таким образом, программа, состоящая из n команд (включая команды, составляющие цикл), потребует выполнения $4 \times n$ команд, чтобы полностью обезопасить себя от однократного попадания. Однако такая защита едва ли будет эффективной против программы Карлик, которая производит два выстрела подряд по каждой ячейке памяти.

Эту команду можно применять и с другой целью, не предвиденной в первой статье, посвященной игре «Бой в памяти». С. Петерс из Тимару, Новая Зеландия, и М. Дэрэм из Уинстон-Салема, шт. Северная Дакота, независимо друг от друга придумали, как можно воспользоваться командой PCT для проведения атакующих действий. Программа под названием Карлик-ловушка разбрасывает по памяти нули, как обычно, но затем защищает каждый нуль, так что в соответствующую ячейку нельзя записать ничего другого. Это означает, что ничего не подозревающая программа противника может попасться в одну из ловушек в ходе перемещения на новое место. Команда, которая должна быть записана в ячейку, содержащую защищенный нуль, не окажет на эту ячейку никакого влияния. Позднее, когда процесс выполнения программы достигнет этой ячейки, программа погибнет, потому что нуль — это невыполняемая команда. Возможно, команду PCT стоит включить в систему команд какой-нибудь из будущих версий игры «Бой в памяти», но пока я склонен воздержаться от этого в интересах простоты, которая является, пожалуй, пробным камнем любой игры.

Читатели поделились и многими другими идеями, среди которых можно отметить двумерный массив Памяти, предложенный Р. Нортоном из Мэдисона, шт. Висконсин, и правило ограничения дальности «стрельбы», предложенное У. Митчелом, преподавателем математического факультета Пенсильванского университета. Идея Нортона, пожалуй, не нуждается в пояснениях, а вот по поводу предложения Митчела следует сказать несколько слов. Программе разрешается производить изменения в любой ячейке памяти, расстояние до которой не превышает определенного установленного количества адресов.

Благодаря этому правилу программа Карлик автоматически не сможет причинить никакого ущерба противнику, не находящемуся в его окрестности. Из этого правила следует и многое другое, включая акцент на перемещение. Каким еще образом программа сможет подойти на расстояние выстрела к противнику? У этого правила много достоинств, и я полагаю, что некоторые читатели из числа многих, обладающих своей собственной системой «Бой в памяти», изучат это предложение более глубоко и подробно.

Нортон предлагает также, чтобы каждой стороне предоставлялось более одной команды, выполняемой при каждом обращении к программе. Та же идея пришла в голову и многим другим читателям. На самом деле я решил принять это предложение. Теперь игра «Бой в памяти» приобретает более открытый характер.

Предложенное изменение можно реализовать, добавив следующую команду с условным названием «разветвить» к системе команд игры, приведенной на рисунке на с. 70:

SPL A

Когда управление достигает ячейки, в которой содержится эта команда, дальнейший процесс выполнения программы разветвляется на две части, а именно идет на команду, следующую за SPL, и команду, отстоящую на A адресов. Поскольку это нововведение сразу позволяет игроку иметь несколько программ, выполняющихся одновременно, необходимо уточнить правила, согласно которым система управления Марс распределяла бы время между программами. Существует две возможности.

Чтобы проиллюстрировать их, предположим, что один игрок имеет три программы A₁, A₂ и A₃, в то время как у другого — две программы, B₁ и B₂. Один из возможных вариантов заключается в том, чтобы сначала выполнить все три программы первого игрока, а затем две программы второго. Тогда порядок выполнения программ будет следующим: A₁, A₂, A₃, а затем B₁ и B₂. Далее эта процедура будет циклически повторяться. Другой вариант заключается в том, чтобы чередовать выполнение программ, принадлежащих различным игрокам. В этом случае последовательность выполнения будет такой: A₁, B₁, A₂, B₂, A₃, B₁ и т.д. Эти две схемы принципиально различны, если судить по производимому ими эффекту. Первая схема поощряет стратегию неограниченного распространения и потому, по-видимому, снижает роль интеллекта в игре. Вторая схема, наоборот, означает, что, чем

большим количеством программ располагает игрок, тем реже каждая из них будет выполняться. Здесь, кажется, работает закон «уменьшающейся прибыли», поэтому я принимаю вторую схему. Цель же игры заключается в том, чтобы так или иначе вывести из строя все программы противника.

Новая команда создает богатые возможности. Чтобы проиллюстрировать простейшую из них, рассмотрим боевую программу Чертенострелок:

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

Посмотрим, что произойдет, когда управление попадет в начало программы. Команда SPL 2 означает, что программе будет предоставлено право выполнить сразу две команды: JMP -1 и MOV 0 1. Первая из этих команд начинает выполнение программы сначала, а вторая приводит Чертенка в движение. Он будет двигаться все время в одном и том же направлении — «вниз», поскольку операндом команды MOV всегда будет следующий адрес, на что указывает (положительное) число 1. Таким образом, в каждом программном цикле возникают новые Чертята. Бесконечным потоком они устремляются в соседние области памяти, полные решимости уничтожить по пути любую программу неприятеля. На первый взгляд кажется, что против этой армады Чертят невозможна никакая защита, однако защита существует. Рассмотрим еще более простую программу Чертенок-ловушка, которая выполняется по команде SPL, содержащейся в основном теле программы, защищающей свой «верхний» фланг:

```
MOV # 0 - 1
JMP - 1
```

В каждом цикле выполнения Чертенок-ловушка записывает нуль в ячейку, непосредственно прилегающую к ней «сверху» в расчете поразить приближающегося чертенка противника. Здесь правило очередности выполнения играет уже решающую роль. Если Чертенок-стрелок принадлежит A, а Чертенок-ловушка принадлежит B, то для A потребуется *n* циклов для выполнения *n* Чертят, в то время как лишь один Чертенок может достичь ячейки, прилегающей к программе Чертенок-ловушка. При прочих равных условиях для B требуется лишь один цикл выполнения для Чертенка-ловушки, чтобы остановить приблизившегося Чертенка-противника.

Можно представить себе расширен-

ный вариант игры «Бой в памяти», где обе стороны порождают и разворачивают целые армии программ, каждая из которых имеет свою специализацию — обнаружение, атака, защита и даже ремонт. Предстоит изучить еще много тонких приемов игры, подобных тому, что предложил Дж. Мак-Лин из Вашингтона, у которого возникла идея создать специализированную программу-ловушку, разбрасывающую команды перехода JMP по различным адресам памяти в надежде на то, что одна из таких команд попадет в расположение программы противника. Каждая такая команда JMP уведет управление из программы противника в программу-ловушку, тем самым программа противника как бы перейдет на сторону программы-ловушки.

В связи с тем что программ теперь становится много, возникает дополнительная проблема: как исключить случаи нападения на программы, принадлежащие одной и той же стороне, т.е. не нападать на «своих»? Здесь представляется необходимой система распознавания типа «свой — чужой».

Среди многих читателей, построивших свои системы игры «Бой в памяти», особо следует отметить троих: Ч. Годфри из Уилтона, шт. Коннектикут; Г. Мак-Рэя из Монмут-Джанкшина, шт. Нью-Джерси, и М. Роузинга из Литлтона, шт. Колорадо, которые постарались четко определить свои системы и документировать их программное обеспечение. Мне кажется, что читателям особенно интересно было бы познакомиться с документами, составленными Роузингом. Но по этому поводу и по многим другим соображениям, касающимся вопросов поддержания контактов среди энтузиастов игры, у меня возникла заманчивая идея. Если кто-нибудь из читателей, обладающих уже действующей системой «Бой в памяти», согласится стать директором ассоциации любителей этой игры, то можно будет наладить отправку документации на различные системы, предложений, касающихся новых правил, интересных программ и записей отдельных партий всем членам ассоциации. Один из добровольцев будет избран директором, остальные же будут помогать, выпуская регулярный листок новостей, участвуя в работе комиссий по утверждению правил и т.п. в зависимости от того, кому какая работа покажется интересной.

ПРОДОЛЖАЮТ поступать отклики читателей, пробовавших играть с обитателями океана на планете Акватоп (см. статью в рубрике «Занимательный компьютер» в журнале «В мире науки» № 2 за 1985 г. — *Ред.*).

Мы сможем обсудить лишь некоторые из многих интересных писем. Вообще говоря, при подборе правильных параметров наблюдаются естественные флуктуации численности акул и рыб. Некоторые читатели, которым хотелось сделать планету Аква-Тор более похожей на Землю, ввели в свои программы кое-какие дополнительные факторы. Ну что же, в игре напрашиваются усложнения, и, наверное, они нужны. Однако измененным системам присущ тот недостаток (при прочих равных условиях), что проводить какие-либо параллели со стандартной системой иногда уже становится опасно.

Среди читателей, которые за основу брали исходную версию системы, были Дж. Андерсон из Лодердейла, шт. Миннесота; С. Берггрен из Сателлит-Бича, шт. Флорида; М. Бойд из Амхерста, шт. Нью-Гемпшир; Дж. Коннет из Миннеаполиса, шт. Миннесота; Э. Куда из Парк-Ридж, шт. Иллинойс; Д. Хопкинс из Чэмпейна, шт. Иллинойс; Дж. Лемон из Эль-Сегундо, шт. Калифорния и К. Райт из Грейлинга, шт. Мичиган.

Среди вопросов, поднятых этими и другими читателями, был, в частности, вопрос об измерении продолжительности выживания. Разумеется, для «вечных» популяций никаких проблем не возникает, но было бы полезно иметь шкалу измерения для не-вечных сценариев. Измерение хронометрами, как отмечает Стивенс, может привести к заблуждениям, если для продолжительности жизни и периода способности к размножению выбрать сравнительно большие величины. При попытках измерения циклами также возникают проблемы: прежде всего как определить цикл? Стивенс сделал интересное наблюдение: если акулы и рыба выживают в течение достаточно большого количества повторений основного, построенного на случайных числах цикла, то одна из начальных конфигураций повторится, и тем самым вечная жизнь после этого становится гарантированной.

Несколько читателей, включая Д. Эммануэла из Оук-Брука, шт. Иллинойс, Р. Файзела из Форт-Вашингтона, шт. Мэриленд, и Дж. Лью из Исследовательского центра Т. Уотсона фирмы ИВМ в Йорктаун-Хайтсе, шт. Нью-Йорк, описали в своих письмах современные теории, помогающие анализировать экологию планеты Аква-Тор. Пока у меня еще нет окончательного вывода по вопросу о том, помогут ли нам стохастические матрицы в выводе частных вероятностей выживания при произвольных комбинациях параметров. Однако интересно отметить, что дополнительно были исследова-

ны уравнения Лотки-Вольтерра (сформулированные в 1931 г.), чтобы рассмотреть роль диффузии как фактора, влияющего как на хищника, так и на его жертву. Диффузия превращает гладко меняющиеся решения Лотки — Вольтерра в кривые более сложной формы. Исторические сведения, приведенные в письме Лью, свидетельствуют, что Альфред Дж. Лотка был американским математиком, который десятью годами раньше, чем Вольтерра, сформулировал эти уравнения.

Бойд воспользовался фазовой диаграммой, чтобы проанализировать динамику популяций акул/рыбы. В каждый момент времени t откладываются текущие значения величин x — численности рыб и y — численности акул, как координаты точки на плоскости. По мере увеличения времени популяции описывают цикл, и точки на диаграмме рисуют замкнутую кривую причудливой формы вокруг фиксированного центра или фокуса. Бойд применил этот метод, чтобы изучить влияние размеров океана на выживаемость популяций. Он сообщает, что «в мирах более прямоугольной формы кривые на диаграмме утрачивают ярко выраженный фокус, траектории становятся более неровными и в конце концов приобретают совершенно случайный характер». Квадратная форма океана, очевидно, является предпочтительной.

Среди новшеств, введенных читателями, были такие, как жизнеспособность акул, мутации, двойные популяции рыб и планктон. В предыдущей статье, посвященной этой игре, я забыл упомянуть, что рыбы планеты Аква-Тор питаются вездесущим и изобилующим океаническим планктоном. Лемон ввел это свойство явным образом, поместив планктон в каждую точку океана, не занятую рыбой или акулой. Планктон размножается в свободных областях и играет ту же роль по отношению к рыбе, что рыба играет по отношению к акулам. Здесь также существуют вечные популяции.

Согласно предложению Э. Куда, акулы приобретают или теряют баллы, оценивающие их жизнеспособность, в зависимости от того, насколько хорошо они питаются. Таким образом, жизнеспособные акулы могут выжить без еды значительно дольше, чем примитивные акулы стандартной версии программы АКВАТОР. Э. Куда прислал графики (как и многие другие читатели, составившие программы по экологии планеты Аква-Тор), весьма сходные с данными, публикуемыми рыболовной компанией залива Гудзон.

Коннет в своей модели использует два вида рыб. Один вид представляет

собой стандартную для планеты Аква-Тор разновидность. Другой вид размножается в любой свободной области к югу или востоку. Благодаря большей подвижности второй вид часто выживает дольше первого. Р. Иваско из Сакраменто, Калифорния, предлагает наделить акул и рыб такими характеристиками, как размер, скорость и подвижность. Эти характеристики должны управляться генетическими факторами. Берггрен разработал свою систему под названием Evolve (Эволюция) два года назад. Она напоминает АКВАТОР, но отличается тем, что виды эволюционируют под воздействием факторов окружающей среды. Таким образом, как рассуждал Берггрен, популяции достигнут равновесия, способствующего длительному выживанию.

Никто не смог решить тороидную задачу преследования. Сейчас я отброшу половину решения, чтобы не лишать читателей удовольствия, которое они получают при поиске другой половины. Вспомним, что при каждом ходе сначала двигается рыба, затем двигаются две акулы. Оставаться на месте не разрешается. Представим себе четыре луча, исходящих от одиночной рыбы. Каждый луч идет по диагонали и изгибается вокруг тора, рано или поздно встречаясь с самим собой. Если обе акулы находятся на паре противоположных лучей, то не важно, в каком направлении будет двигаться рыба — одна акула преследует ее на постоянном расстоянии, а другая все время приближается. Таким образом, рыба обречена. Я предоставляю читателям подумать над тем, как акулы охотятся за лучами, если можно так выразиться.

НОВАЯ попытка построить автомат типа «бобер-работяга с пятью состояниями» была предпринята Дж. Уингом из Бронкса, шт. Нью-Йорк. В ходе испытаний, проведенных 21 декабря 1984 г., машина Тьюринга, созданная Уингом, начала с чистой ленты и напечатала 1915 единиц прежде, чем остановилась. Этот результат был независимо подтвержден А. Брейди из Университета штата Невада и Р. Робинсоном из Калифорнийского университета в Беркли. Эта, по словам Брейди, «поразительная» машина Уинга, кажется, оправдывает скептицизм, с которым оба математика отнеслись к известию о том, что автомат У. Шульца (см. статью в рубрике «Занимательный компьютер в журнале «В мире науки» № 10 за 1984 г. — *Ред.*) представляет собой бобра-работягу с пятью состояниями. Этот автомат выдал лишь 501 единицу.

Книги

О размерах тел в природе;
жизнь под водой;
раскопки древних стоянок;
атомные исследования в США;
каталог персональных ЭВМ

ФИЛИП MORRISON

Томас А. Мак-Магон, Джон Тайлер Боннер. О РАЗМЕРАХ ТЕЛ В ПРИРОДЕ ON SIZE AND LIFE, by Thomas A. McMahon and John Tyler Bonner. Scientific American Books, Inc. (\$29,95)

Кнут Шмидт-Нильсен. ПОЧЕМУ ВАЖЕН РАЗМЕР ОРГАНИЗМА? SCALING: WHY IS ANIMAL SIZE SO IMPORTANT? by Knut Schmidt-Nielsen. Cambridge University Press (\$ 29,95; paperback, \$ 9,95)

КЛЕТКИ движутся с организмом, который они составляют, не как птицы в стае, а, скорее, как команда и пассажиры парохода. Вообразим себе клетку печени, стоящую на палубе корабля и размышляющую о том, что такие создания, как она, недолго могут выдержать в этом мире в одиночку — они слишком специализированы для самостоятельного существования». В такой манере Мак-Магон и Боннер ставят важную проблему, которой посвящены обе книги. Будучи существами «общественными», клетки организма должны подчиняться единым законам; имеется что-то, что определяет, какова должна быть скорость обмена веществ в каждой клетке печени и даже сколько ей осталось жить. Существует и другой важный принцип. Хотя размер клеток примерно одинаков у всех животных, от дафнии до кита, обмен энергии у теплокровных (да, вероятно, и вообще у всех живых организмов) зависит от размеров тела. Зависимость удельной энергопродукции от массы животного описывается уравнением М. Клейбера и графически выражается известной кривой «от мыши до слона». Для млекопитающих и птиц экспериментальные точки практически всегда ложатся на гладкую кривую: мощность, отнесенная к 1 г веса, обратно пропорциональна корню 4-й степени из массы тела. Закон Клейбера распространяется и на быстроногую крошечную мышшь, и на медлительную грузную корову.

Рождение живого существа замеча-

тельно иллюстрирует этот принцип. Находясь в утробе матери, детеныш (точнее, зародыш) представляет собой часть ее тела, особый орган, который, хотя и растет быстро, тем не менее подчиняется «уставу» всего организма, в том числе в отношении скорости метаболизма. Появление детеныша на свет означает изменение его «статуса» — теперь он самостоятельное существо. Интенсивность метаболизма при этом возрастает за 36 ч вдвое и достигает уровня, который на кривой «от мыши до слона» отвечает уже не массе тела матери вместе с плодом, а массе детеныша. Как же это происходит? Конечно, организм детеныша нельзя рассматривать как уменьшенную копию материнского организма. Если сердце, к примеру, действительно имеет пропорционально меньший размер, то мозг и почки относительно велики. Уменьшение удельной активности органов с увеличением веса тела не объясняется уменьшением их относительных размеров.

При изучении метаболизма неизбежно приходится сталкиваться с множеством методических трудностей. По этой причине работы 1920-х годов на культурах тканей полны ошибок. В ранних исследованиях не обеспечивались адекватные условия и в тканях не достигался максимальный уровень дыхания. В настоящее время, по-видимому, можно с уверенностью говорить о том, что в организме млекопитающего все его разнообразные ткани подчиняются ограничениям, связанным с размерами тела. Интенсивность обмена веществ и энергии в организме как в целом разумно представить в виде суммы интенсивностей метаболизма в его основных тканях, определенных *in vitro*. Культура любой ткани мыши дышит интенсивнее по сравнению с тканью крысы, а ткани последней в свою очередь потребляют больше кислорода на единицу веса, чем ткани собаки. Спустимся по ступенькам организации на молекулярный уровень. Концентрация гемо-

глобина у млекопитающих не зависит от размеров тела, а концентрация цитохромоксидазы, ключевого дыхательного фермента, так же как и удельная интенсивность метаболизма, обратно пропорциональна весу тела. Установлено, что количество митохондрий (митохондрии — это небольшие клеточные органеллы, в которых находятся ферменты, осуществляющие окисление) в клетках печени в расчете на единицу веса зависит от размеров тела. Это установлено для крыс, кроликов, овец и крупного рогатого скота. То же самое справедливо и в отношении митохондрий мышечных клеток (экспериментальные данные имеются более чем для десяти видов). Общее количество митохондрий в организме млекопитающего тем больше, чем выше интенсивность метаболизма, причем наблюдается систематическое отставание от простой пропорциональности. Печеночная клетка, которую мы в самом начале вообразили размышляющей на палубе корабля, неодинакова у мыши и у человека: в мышечных клетках митохондрий больше.

На организменном уровне подоплека закона, описываемого кривой «от мыши до слона», наилучшим образом раскрыта одним из авторов книги «О размерах тел в природе» — Т. Мак-Магоном. Этот вопрос рассматривается и в книге Шмидт-Нильсена. Объяснение, как это ни странно, следует из одного требования, а именно: механическая нагрузка, обусловленная весом тела, должна быть ограничена пределами прочности на изгиб. Таким образом можно предсказать диаметр и длину костей у копытных животных (а кстати, и пропорции деревьев). Поскольку мышечная система должна соответствовать скелетной, можно делать предсказания и относительно метаболизма в мышцах. Есть основания считать, что те же рассуждения приложимы и к организмам с иной, чем у млекопитающих, структурой, так что проблема существенно расширяется.

Мак-Магон — инженер-физик; возможно, поэтому книга, написанная им совместно с Боннером, полна любопытнейших, обогащающих тему отступлений, касающихся велосипедов, гвоздей и летательных аппаратов. Относительная простота неодушевленных предметов помогает разобратся в более тонкой, изощренной инженерной мысли Природы. Аналогом кривой «от мыши до слона» является график зависимости мощности двигателя внутреннего сгорания от его массы. На нем мышшь соответствует двигатель «Вебра Спида» для моделей самолетов, который весит немногим более ста граммов; на дру-

гом конце кривой располагается сто-тонный дизель. Согласно с теорией хотя и неполное, но достаточно хорошее. Наиболее поучительная закономерность обнаруживается при рассмотрении двигателей, разнообразие которых по типам топлива, механизмам зажигания и числу цилиндров столь велико, что противоречит идее о каком бы то ни было единстве. Закономерность состоит в том, что с увеличением массы двигателя число его оборотов уменьшается, а ход поршня увеличивается, так что скорость поршня остается неизменной.

Графики в логарифмическом масштабе, которыми пестрят страницы обеих книг, не есть точные опытные прямые. Этот способ позволяет обобщить данные, а кроме того, дает пищу для важных выводов. Профессор Шмидт-Нильсен напоминает читателю, что даже отклонения от закономерностей далеко не всегда представляют случайный «шум». «Они могут указывать на какую-то специфическую особенность, имеющую определенное значение.» Это касается и «излишне» большого числа двигателей на самолете, и завышенных метаболических затрат у морских млекопитающих (последние должны поддерживать постоянную температуру тела даже в условиях сильного охлаждения в ледяной воде).

Важный вопрос — локомоция. Живые существа летают, плавают, ходят, бегают, прыгают, лазают вверх и вниз, ловко скользят по воде, используя ее поверхностное натяжение. При внимательном рассмотрении выясняется, что все эти способы передвижения подчиняются определенным закономерностям. Один из интересных и на редкость показательных в своей простоте примеров — образования, напоминающие водоросли на лапах изящного зверька геккона, который лихо лазает по вертикальным поверхностям. Такому сравнительно крупному животному (геккон в десятки раз больше мухи, которой нетрудно держаться на стене) нужно приспособление для прилипания достаточно большой площади. И действительно, подушечки пальцев у геккона испещрены множеством складок (простым глазом их не видно, и на помощь приходит сканирующий электронный микроскоп).

Интересно также проанализировать потребление кислорода у разных животных при передвижении вверх и вниз. Мышь дышит равномерно независимо от того, бежит ли она вверх или вниз по склону крутизной 15°. Шимпанзе, карабкаясь вверх, потребляет вдвое больше кислорода, чем когда спускается. Белка лазает по деревьям с легкостью, которой человек



Поверхность подушечки пальца геккона (увеличение $\times 2350$)

может только позавидовать. Все это — естественное следствие закономерности «от мыши до слона».

Книге Мак-Магона и Боннера свойствен яркий, образный язык; она богато иллюстрирована цветными фотографиями. Отличаясь широтой взглядов, авторы трактуют проблему размеров и с физической и с биологической точек зрения. Это наиболее свежая и интересная книга из блестящей серии книг вводного характера, издаваемых Scientific American, Inc. И для неопытных, и для адептов такого рода проблематики она станет истинным подарком — хотя бы потому, что последнее время в этой области почти ничего не издавалось. (Упомянем прекрасную монографию Р. Петерса, о которой мы писали в сентябрьском выпуске журнала "Scientific American" за 1984 г.*; в ней проблема рассматривается в ином аспекте — с точки зрения экологии.)

Книга Шмидт-Нильсена охватывает более узкий круг вопросов; в ней меньше фотографий, зато больше графиков. Четкость и выразительность аргументации, тонкость наблюдений, глубокий биологический смысл — все это естественно для автора целого ряда ценных трудов по количественной биологии.

Мак-Магон и Боннер обсуждают число Рейнольдса в деталях, объясняя его физический смысл; Шмидт-Нильсен рассматривает эту величину главным образом как критерий возникновения турбулентности. В то же время авторы первой книги уделяют мало внимания биохимическим и цитологическим аспектам, тогда как Шмидт-Нильсен детально рассматривает, скажем, митохондрии и не забывает о ферментах и их субстратах. Впрочем,

сравнение этих двух книг — занятие малополезное. Обе они нужны как тем читателям, которые интересуются физикой, так и тем, кому ближе биология. И та и другая займут почетные места в вашей библиотеке.

Джеймс Миллер, Ян Коблик. ЖИЗНЬ И РАБОТА ПОД ВОДОЙ

LIVING AND WORKING IN THE SEA, by James W. Miller and Ian G. Koblick. Illustrated by William Boggess. Van Nostrand Reinhold Company (\$ 32,95)

В НАСТОЯЩЕЕ время в мире насчитывается около 800 акванавтов, мужчин и женщин, к которым авторы книги относят лишь тех, кто пробыл на морском дне, подвергаясь огромному давлению воды, не менее 24 ч подряд. (К этой категории не причисляется гораздо более многочисленная армия подводников, живущих на глубине многие месяцы в специальных аппаратах, где давление и состав воздуха привычны для человека.) Авторы с некоторой долей грусти повествуют о расцвете и закате этого рискованного способа проведения подводных исследований — слишком дорогостоящего для ученых и любителей и в то же время недостаточно эффективного для ведения строительства и обслуживания крупных подводных сооружений.

Первые шаги в освоении этого метода были сделаны в 1957 г. на суше — в барокамере, принадлежавшей военно-морскому флоту США. В 1964 г. к исследованиям подключились Эдвин Линк и Жак-Ив Кусто; к этому времени в мире насчитывалось уже два десятка ныряльщиков (в их числе мадам Симона Кусто), пробывших на морском дне, на глубине свыше 100 м, не менее месяца. Так впервые осуществилась древняя как мир мечта человека о жизни под водой. В

* См.: «В мире науки», 1984, № 11, с. 138. — Прим. ред.

70-е годы континентальный шельф от Арктики до Японского моря начал «застраиваться» подводными жилищами самого разного размера и формы (главным образом это были сферы и цилиндры), рассчитанными на одного или нескольких жильцов; пара таких домов была построена на дне озер. Некоторые из этих жилищ имели специальную конструкцию, для других основой служили пластиковые палатки, железнодорожные цистерны и даже бетономешалки. Родилась мода: появились энтузиасты-любители, телепередачи, экзотические названия проектов, соревнования на глубине и команды, которые получили название «девичьи экипажи». Всего же в тот период существовало 65 подводных жилищ, в их сооружении участвовали энтузиасты из 17 стран. Однако в последующее десятилетие эта бурная деятельность практически сошла на нет, и в настоящее время осталась одна-единственная подводная лаборатория — Hydrolab, находящаяся на глубине 15 м у одного из Виргинских островов. Большинство акванавтов со всего мира пришлось работать именно здесь.

Опасности, которым подвергается человек в условиях высокого давления, теперь хорошо известны. Избыток кислорода вызывает отравление, и при высоком давлении доля кислорода должна быть уменьшена. Азот при тех же условиях действует на центральную нервную систему человека, нарушает его способность рассуждать и даже приводит к ступору. Вместо азота кислород можно смешивать с гелием. Отрицательное воздействие последнего на человека, которое выражается, например, в изменении тембра голоса (он становится похожим на скрипучий голос утенка Дональда), весьма незначительно.

При правильно подобранной дыхательной смеси главную опасность для акванавта представляет не само высокое давление, а его резкое изменение. Во время быстрой декомпрессии газ, находящийся в организме человека в растворенном состоянии, выделяется в виде крошечных пузырьков. Это может привести к необратимым изменениям нервных волокон и закупорке кровеносных сосудов. Вот почему необходимо, чтобы декомпрессия проходила достаточно медленно. Однако при соблюдении этого условия подъем с глубины 30 м занимает полную рабочую смену, так что у водолаза не остается времени для выполнения основной работы. Затруднение разрешилось в 1942 г., когда было обнаружено, что после долгого пребывания в условиях высокого давления человек приспособляется к нему:

наступает состояние насыщения, так что газ перестает растворяться в организме. Акванавт может под водой и спать, и работать, и ему не надо подниматься ежедневно на поверхность. Вообще говоря, нет причины, по которой находящийся в надежном укрытии и обеспеченный всем необходимым акванавт не может находиться под водой целый год, выбираясь на поверхность лишь на время отпуска.

Подводные жилища стали первым практическим применением этой идеи. Акванавты там спали, готовили себе пищу и отдыхали. (Иногда они могли отправиться на ловлю омаров, чтобы разнообразить свой рацион.) С обеспечивающего судна, находящегося на поверхности, акванавтам подавали пищу, воду, электроэнергию, дыхательную смесь (которой они должны были дышать, выходя из «дома»), передавали информацию, а в случае необходимости и оказывали помощь. Во время шторма эта связь оказывалась под угрозой, но в то же время быстро провести декомпрессию по-прежнему было опасно.

Увеличение масштабов подводных работ в прошлые десятилетия, связанное с добычей нефти и газа на морском дне, стимулировало и развитие «подводной жизни». Однако в наше время «акклиматизация» после работы происходит на поверхности в специальных барокамерах на судне или плавучей платформе. Водолазы живут и спят в условиях высокого давления, но только на палубе — в декомпрессионной камере. На дно они опускаются в своего рода водолазном колоколе, в котором поддерживается то же давление, что и в барокамере (и которое ожидает их на дне). С наступлением ночи или в случае, когда начинается портиться погода, все возвращаются на корабль в свои «каюты». Это дорогостоящая, но зато безопасная методика.

Похоже, впрочем, что и она скоро отойдет в прошлое. Водолазам на смену приходят роботы, с каждым годом все более ловкие, послушные воле человека, вооруженные телевизионными камерами (по крайней мере для работ на глубине более ста метров их преимущества очевидны). Широкое распространение получили и небольшие аппараты для глубоководного погружения (рассчитанные на одного-двух человек), внутри которых поддерживаются нормальное давление и состав воздуха. Недалек тот день, когда метод, использующий декомпрессию на поверхности, станет такой же редкостью, как и обитание в подводных домах. Вероятно, человек будет продолжать работать на небольших глубинах, так что время

декомпрессии не будет превышать двух суток.

В книге прекрасно отражены инженерные и архитектурные особенности подводных жилищ. Некоторые проблемы весьма своеобразны. Так, скрипучий голос, который появляется у человека, вдыхающего гелий, затрудняет общение по телефону. Этому можно помочь, применив электронный преобразователь частоты. Далее, использование гелия с его большой теплопроводностью ведет к чрезмерному охлаждению организма, не говоря уже о том, что этот газ обладает способностью легко проникать в телевизионные трубки и другие закрытые электронные устройства. Из-за воды, просачивающейся сквозь входной люк, влажность повышена и воздух не вполне здоровый. Очень желательна система кондиционирования. Слабым местом аппаратов, внутри которых поддерживается нормальное атмосферное давление, являются окна и двери, столь любимые акванавтами. В конструкциях аппаратов иногда применяются одновременно стекло и пластик. Так, чудесная сфера из прозрачного акрила диаметром 3 м стала зимней подводной базой, расположенной в заливе Резольют на глубине 15 м под метровой толщей льда. Интересно было наблюдать канадских водолазов, освещенных прожекторами, разгуливающих в своих надувных костюмах по ледяному потолку! На страницах книги можно найти немало таких личных впечатлений. В гости к водолазам «приходили» морские львы. Несколько подводных жилищ испытали толчки, вызванные землетрясениями.

Читатель найдет в книге много любопытных наблюдений. Оказывается, спать на водяной постели вполне удобно, а запах клея, который нужен для починки резинового комбинезона, намного вреднее в условиях высокого наружного давления. Неплохо взять с собой попугая, лягушку или кролика. Если вы однажды угостили чем-нибудь рыбу, она может стать вашим частым гостем: акванавты были однажды свидетелями того, как гигантский группер проглотил банку сардин.

Авторы — ветераны акванавтики из Флориды не сомневаются, что эпоха подводных жилищ еще вернется. Археолог и биолог, студент и просто романтик, возможно, предпочтут пожить на морском дне, вместо того чтобы ежедневно спускаться под воду. Уже началось осуществление проекта подводного жилища для студентов Университета Южной Калифорнии. Оно будет расположено у острова Каталина в 350 м от берега на глубине около 15 метров среди пышных

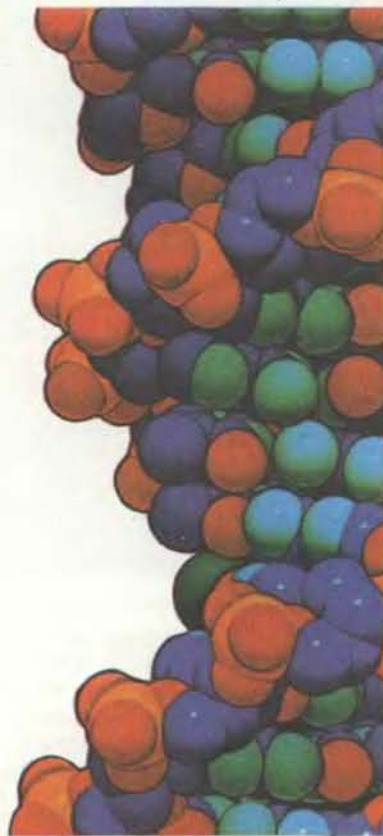
Вниманию читателей!

В этом году 12-й номер журнала

В МИРЕ НАУКИ

будет целиком посвящен проблемам молекулярной биологии.

В него войдут статьи ведущих ученых мира о молекулярных основах жизни:
структуре и функциях биологических молекул,
природе взаимодействий внутри живого организма,
эволюции на молекулярном уровне.



Р. Вайнберг

Молекулы жизни

Г. Фельзенфельд

ДНК

Дж. Дачнелл

РНК

Р. Дулиттл

Белки

М. Бретшер

Молекулы клеточной мембраны

К. Вебер, М. Осборн

Молекулы клеточного матрикса

У. Геринг

Молекулярные основы развития

С. Тонегава

Молекулярные основы иммунитета

С. Снайдер

**Молекулярные основы
взаимодействия между клетками**

М. Берридж

**Молекулярные основы
внутриклеточных взаимодействий**

А. Уилсон

Молекулярная эволюция

Подписка на журнал «В мире науки»

принимается во всех отделениях «Союзпечать».

Цена одного номера 2 р. Индекс журнала 91310

по «Каталогу газет и журналов зарубежных стран»,

раздел «Переводные научные и научно-технические журналы».

Предварительные заказы на 12-й номер журнала «В мире науки»

можно направлять по адресу:

121019 г. Москва, Проспект Калинина, д. 26, п/я 42

Московский Дом Книги.

Журнал высылается наложенным платежом

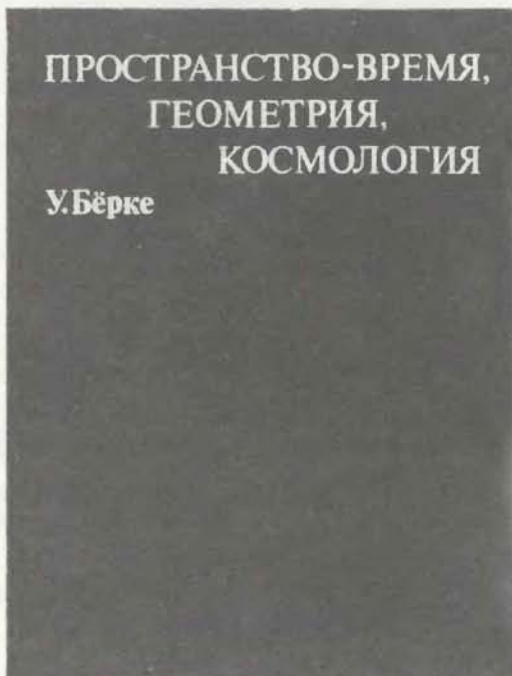


Издательство **МИР** предлагает:

Бёрке У.

ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ, ГЕОМЕТРИЯ, КОСМОЛОГИЯ

Перевод с английского



В книге, написанной известным американским астрофизиком, излагаются геометрические аспекты физики пространства-времени и их приложения к космологии. Пожалуй, трудно найти более подходящую книгу, которая могла бы служить связующим звеном между научно-популярной литературой и монографиями, посвященными специальной теории относительности, гравитации и космологии. Наряду с широко известной диаграммой пространства-времени автор использует изобретенную им волновую диаграмму, облегчающую понимание многих сложных идей и представлений физики искривленного пространства-времени. Обсуждаемые вопросы иллюстрируются многочисленными рисунками и примерами,

взятыми из соответствующих областей теоретической физики. Почти каждый раздел книги снабжен задачами различной степени трудности, позволяющими глубже проникнуть в суть рассматриваемой проблемы. Книга состоит из четырех глав: Специальная теория относительности; Геометрия; Тяготение; Космология.

По образному выражению автора, эта книга вооружает читателя языком и инструментами, позволяющими предсказывать и объяснять результаты астрономических наблюдений.

Для широкого круга читателей, знакомых с математикой и физикой в объеме, читаемом студентам начальных курсов технических и естественных факультетов вузов.

1985, 370 с.

Цена 2 р.





*Сюжеты из повседневной жизни:
фигурки пекарей и пивоваров из египетской гробницы*

зарослей гигантских бурых водорослей. Все необходимое будет подаваться акванавтам по нескольким «пуловинам» с берега. Думается, что, представив себе таинственный лес бурых водорослей, читатель оценит замечание авторов о том, что пришло время для строительства подводных отелей, готовых принять туристов-ныряльщиков. Возможно, жилище у острова Каталина явится первым опытом подобного рода.

Джон Гоулет. ВОСХОЖДЕНИЕ К ЦИВИЛИЗАЦИИ: АРХЕОЛОГИЯ ДРЕВНЕЙШЕГО ЧЕЛОВЕКА

ASCENT TO CIVILIZATION: THE ARCHAEOLOGY OF EARLY MAN, by John Gowlett. Alfred A. Knopf, Inc. (paperbound, \$14.95)

В ГЛУБОКОЙ лошине в восточной части шт. Колорадо археологи обнаружили следы загонной охоты человека на бизонов: 9000 лет назад в этом месте нашли свою гибель в общей сложности две сотни животных. Похожая картина открылась при раскопках на острове Джерси — множество огромных черепов и костей, местами аккуратно сложенных в кучи. И

здесь, и на далеких Великих Равнинах способ охоты был одинаков. Только на острове Джерси дичью были мамонт и носорог, вымершие в Европе десятки тысяч лет назад. Большие стада этих крупных животных вряд ли могли обитать на небольшом острове; очевидно, охота велась в ту далекую пору, когда остров Джерси соединялся с материком. По стратиграфическим данным это было около четверти миллиона лет назад: история человека в Старом Свете насчитывает куда больше тысячелетий, чем в Новом.

Еще одно место недавних раскопок находится в Кенийской рифтовой долине. Здесь, в низине размером примерно в один квадратный километр, следы обитания гоминид были обнаружены вплоть до слоя с возрастом 1,5 млн. лет. Среди всех предметов материальной культуры, извлеченных из древнейших слоев, в наибольшее волнение ученых привели комки обожженной глины. И температура обжига, определенная с помощью магнитных измерений, и бросающееся в глаза расположение камней подтверждают версию о том, что здесь был очаг. Это, вероятно, наиболее раннее свидетельство овладения чело-

веком силой огня. Несколько страниц текста сопровождается цветной разворот, который показывает реконструкцию ландшафта в районе раскопок, относящуюся к пяти последовательным моментам его плейстоценовой истории. На аэрофотоснимках видно, что представляют собой окрестности района раскопок сейчас. Здесь же несколько фотографий, сделанных крупным планом: на одной из них кенийский коллега автора, Бвана Бернард Канунга, склонившись над костью, наполовину скрытой в земле, старательно работает кисточкой.

Все это, и в особенности видовые иллюстрации, уже заслуживало бы похвалы как рассказ об одной из стоянок древнего человека. Но на самом деле книга представляет собой нечто гораздо большее: это археологический обзор всей истории гоминид — от первого следа, отпечатка ступни на вулканическом пепле, через длительную эволюцию *Homo erectus* к появлению *Homo sapiens* и его расселению по всему земному шару по мере совершенствования трудовых навыков, развития искусства и успехов в одомашнивании животных. В заключительной части книги автор бегло рассказывает о металлах и письменности.

сти, колесе и лодке, завершая главу фотографией подвесного моста. Как мы видим, подзаголовок вполне соответствует содержанию книги, само же заглавие — скорее издательская уловка.

Две страницы посвящены истории покорения огня. Если в пещерах часто сохраняются остатки очагов, то обнаружить следы костра на открытых стоянках более раннего времени — это большая удача. Во всяком случае, «сооружение очага нельзя приписать ни лавовому потоку, ни удару молнии». Мы знаем, что некоторые животные пользуются естественно возникающими пожарами: сокол и гепард, например, преследуют вспугнутую огнем дичь. Тайну огня раскрыл человеку все-таки не Прометей, а длительный опыт. Все известные нам народы умели пользоваться огнем, хотя не все знали, как добывать его. Древние предки человека, изготовлявшие орудия труда из камня, прекрасно умели обращаться с деревом и легко могли додуматься использовать его для костра. Сама задача добывания огня требует не большейсообразительности, чем отбивание пластинок от камня. Не исключена возможность того, что наши обезьяноподобные предки-собиратели, жившие два миллиона лет назад, «широко использовали огонь. . . использовали, как люди».

Д-р Гоулет придерживается традиционных взглядов на эволюцию гоминид. Процесс перехода от ранних форм к более поздним был, по его мнению, длительным и постепенным. Широко распространенная культура ручных рубил, возможно, еще станет доказательством важной роли Азии в появлении нашего древнейшего предка, но пока прародиной человека продолжает считаться Африка. Постоянство пропорций ручных рубил, найденных на ранних стоянках с возрастом около миллиона лет, говорит о существовании некоего «мысленного» шаблона. Конечно, «копирование» могло осуществляться и при разглядывании предмета, однако не исключено, что определенную роль играло и речевое общение. Именно способность к мысленному «моделированию» — характерная черта человека. Изготовление орудий, разведение огня, придумывание предложений — все это предполагает способность поступать согласно некоему внутреннему плану. «Кооперация, несомненно, является основой наших взаимоотношений, но она не может объяснить всю степень их сложности. Самое простое объяснение состоит в том, что естественный отбор благоприятствовал развитию способности предугадывать события и поступки.»

Похоже, мы еще только начинаем понимать свое прошлое!

Книга заканчивается оптимистично: «Вряд ли кто-нибудь станет утверждать, что в процессе своей истории человек деградировал. Наши предки сумели не только выжить, но и накопить культурный опыт. И если прошлое что-нибудь значит, то эта цепочка развития вселяет в нас надежду на то, что мы не станем последним ее звеном».

Д-р Гоулет — молодой археолог из Оксфорда, в последнее время занимающийся раскопками на Кенийском рифте. Ему не только хорошо знакомы новейшие методы и достижения археологии, но и присуще тонкое понимание природы научного доказательства. Все это делает книгу Гоулета одной из лучших среди общих работ на эту тему. Недорогая, красочно оформленная, она читается легко и с удовольствием.

АМЕРИКАНСКИЙ АТОМ: ИСТОРИЯ ЯДЕРНОЙ ПОЛИТИКИ В ДОКУМЕНТАХ — ОТ ПЕРВЫХ УСПЕХОВ В ДЕЛЕНИИ ЯДРА ДО НАСТОЯЩЕГО ВРЕМЕНИ (1939—1984) Под редакцией Роберта Уильямса и Филипа Кантелона
THE AMERICAN ATOM: A DOCUMENTARY HISTORY OF NUCLEAR POLICIES FROM THE DISCOVERY OF FISSION TO THE PRESENT, 1939—1984, Robert C. Williams and Philip L. Cantelon, editors. University of Pennsylvania Press (\$ 30; paperbound, \$8.95)

ДВА историка — редакторы этой небольшой по объему, но весьма насыщенной книги, — опираясь на хорошо подобранные источники, вводят читателя в курс чрезвычайно важных проблем. Ими собраны беспристрастные свидетельства своего времени — начиная от законодательных актов и договоров и кончая директивами президентов и заявлениями ученых, журналистов и религиозных деятелей. В книге нет иллюстраций, зато приводятся хронологические таблицы испытаний новых видов оружия и происшедших аварий.

В качестве предыстории составители включили в книгу отрывок из произведения Герберта Уэллса, написанного им в 1914 г. Писатель предсказывал, что в 1950-е годы по автострадам будут мчаться «сверкающие машины из серебристой стали», приводимые в движение дешевой атомной энергией. Затем, однако, эта радостная картина сменяется в его воображении страшными видениями атомной катастрофы накануне 1960 г. «Крошечный кусок вещества [Уэллс называет его «каролинумом»] за счет скрытой в нем энергии способен раз-

рушить целый город. Сила разрушения. . . единственная сила, оставшаяся в мире.» Разумеется, это — фантастическое произведение. Новое звучание придает ему опубликованное в книге письмо Лео Сциларда. Пятьдесят лет назад этот известный физик, один из первых предсказавший и обосновавший (после открытия нейтрона, но еще до первых успехов в делении ядра) возможность цепной ядерной реакции деления урана, послал одному из своих друзей вместе с упомянутым письмом и эти несколько страниц, написанные Уэллсом. Приблизительно в это же время Сцилард опубликовал послание, в котором высказывал мысль о том, что в результате овладения ядерной энергией человечество вскоре откажется от энергии нефти и угля.

Последние документы, с которыми познакомится читатель, появились или стали доступными лишь в конце 1982 г. Это недавно рассекреченный отчет Г. Бете о первых шагах в разработке термоядерного оружия; пастьерское послание католических епископов Соединенных Штатов Америки о войне и мире в атомный век; речь президента Рейгана о ракетах МХ («нужные ракеты в нужное время»). Всего в книге приводится или цитируется свыше 70 документов. Тут и Манхаттенский проект, и решение о начале работ по созданию водородной бомбы, и дело Оппенгеймера, и материалы, касающиеся теоретических и практических аспектов гонки вооружения, и реактор на быстрых нейтронах, построенный Э. Ферми.

Что следовало бы добавить при последующих изданиях этого чрезвычайно полезного и авторитетного труда? Прежде всего было бы уместно привести таблицу, отражающую запасы стратегического оружия, накопленного к середине 1980-х годов, а также список атомных электростанций. Кроме этих дополнений, которые придали бы работе большую конкретность, хотелось бы видеть на страницах книги весьма краткое, но энергичное заявление, направленное в адрес министра обороны Г. Стимсона спустя месяц после ядерных испытаний на островах Тринити. Оно было подписано Р. Оппенгеймером «от имени Комиссии» (включавшей Комптона, Ферми и Лоуренса) и гласило: «Мы считаем, что безопасность нации — в отличие от ее способности нанести удар по силам противника — не может ни всецело, ни даже в основе своей базироваться на научных и технических достижениях. Нация сможет чувствовать себя в безопасности лишь в том случае, если будет полностью устранена опасность будущих войн. Мы единодушно рекомендуем прави-

тельству... предпринять все возможные шаги, в том числе и на международной арене... для достижения этой цели».

ВСЕМИРНЫЙ КАТАЛОГ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Под редакцией *Стюарта Брэнда*
WHOLE EARTH SOFTWARE CATALOG,
Stewart Brand, editor-in-chief. Quantum Press/Doubleday (paperbound, \$17,50)

ЧИТАТЕЛЬ, возможно, еще не забыл появившиеся в последние двадцать лет каталоги и справочники по надувным сооружениям, шведским цепным пилам и медицинскому оборудованию, составленные под руководством Стюарта Брэнда. И хотя теперь этот талантливый редактор обратился к совершенно новой для него области — «орудиям умственного труда» — персональным компьютерам и их программному обеспечению, в книге чувствуется прежний подход автора, полный энергии и оптимизма, и критический, пытливый взгляд на мир. Каталог состоит из 11 разделов, которые объединяют около 350 программ различного назначения — от игровых до бухгалтерских; авторы также представляют читателю разнообразные модели компьютеров и литературу о них. Книга выходит своевременно; она просто и толково написана и великолепно оформлена. Хотя по сравнению с предыдущими каталогами, выпущенными под редакцией Брэнда, этот справочник не всеобъемлющ, он, несомненно, представляет собой лучший путеводитель по царству легированного кремния. Знакомство с книгой будет очень полезно потенциальному покупателю ЭВМ. Однако достоинства справочника этим не исчерпываются. Доставляют удовольствие остроумные рассуждения Брэнда. «Мне кажется, — пишет он, — что слова "высококачественное печатающее устройство" чаще всего ничего не означают. Большая часть принтеров — это громоздкие, дорогие и чертовски шумные машины, не способные нарисовать график». Прочитавший эту книгу наверняка расширит свой кругозор. Не каждому известно, что «компания CitiCorp в Нью-Йорке передает информацию внутри города по лазерным лучам, по коаксиальным кабелям и световодам, проложенным в туннелях метрополитена, а также... по трубам пневмопочты, установленным в туннелях метро еще в 1918 г.». Эти трубопроводы, по которым со скоростью 120 км/ч мчатся теперь цилиндры, наполненные гибкими магнитными дисками, остаются самой эффективной системой для передачи информации.

ВУЛКАНЫ И ОБЛАКА ВЕНЕРЫ

THE SURFACE OF VENUS. Gordon H. Pettengill, Donald B. Campbell and Harold Masursky in *Scientific American*, Vol. 243, No. 2, pages 54-65; August, 1980.

VENUS. Edited by D. Hunten, L. Colin, T. Donahue and V. Moroz. University of Arizona Press, 1983.

PLANETS AND THEIR ATMOSPHERES: ORIGIN AND EVOLUTION. J. Lewis and R. Prinn. Academic Press, 1984.

Барсуков В. Л., Базилевский А. Т., Кузьмин Р. О. и др. ГЕОЛОГИЯ ВЕНЕРЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ АМС «ВЕНЕРА-15» И «ВЕНЕРА-16» (Предварительные данные). — *Геохимия*, 1984, № 12, с. 1811.

Барсуков В. Л., Волков В. П. АТМОСФЕРА И ПОРОДЫ ПОВЕРХНОСТИ ВЕНЕРЫ: ФАКТЫ И ПРОГНОЗЫ. — *Природа*, 1981, № 2, с. 75.

Волков В. П. ХИМИЯ АТМОСФЕРЫ И ПОВЕРХНОСТИ ВЕНЕРЫ. — М.: Наука, 1983.

Сурков Ю. А., Москалева Л. П., Щеглов О. П., Харюкова В. П., Манвелян О. С. ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПОРОД НА ВЕНЕРЕ. — *Космические исследования*, 1983, т. XXI, вып. 2, с. 308—319.

ТРАНСЛОКАЦИИ ХРОМОСОМ И РАК У ЧЕЛОВЕКА

TRANSLOCATION OF IMMUNOGLOBULIN V_H GENES IN BURKITT LYMPHOMA. Jan Erikson, Janet Finan, Peter C. Nowell and Carlo M. Croce in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 79, No. 18, pages 5611-5615; September, 1982.

HUMAN C-MYC ONC GENE IS LOCATED ON THE REGION OF CHROMOSOME 8 THAT IS TRANSLOCATED IN BURKITT LYMPHOMA CELLS. Riccardo Dalla-Favera, Marco Bregni, Jan Erikson, David Patterson, Robert C. Gallo and Carlo M. Croce in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 79, No. 24, pages 7824-7827; December, 1982.

TRANSLOCATION OF THE C-MYC GENE INTO THE IMMUNOGLOBULIN HEAVY CHAIN LOCUS IN HUMAN BURKITT LYMPHOMA AND MURINE PLASMACYTOMA CELLS. R. Taub, I. Kirsch, C. Morton, G. Lenoir, D. Swan, S. Tronick, S. Aaronson and P. Leder in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 79, No. 24, pages 7837-7841; December, 1982.

SPECIFIC CHROMOSOMAL TRANSLOCATIONS AND THE GENESIS OF B-CELL-DERIVED TUMORS IN MICE AND MEN. George Klein in *Cell*, Vol. 32, No. 2, pages 311-315; February, 1983.

СКРЫТЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ

SUPERGRAVITY THEORY IN 11 DIMENSIONS. E. Cremmer, B. Julia and J. Scherk in *Physics Letters*, Vol. 96B, No. 4, pages 409-412; June 19, 1978.

DYNAMICS OF DIMENSIONAL REDUCTION. Peter G. O. Freund and Mark A. Rubin in *Physics Letters*, Vol. 97B, No. 2, pages 233-235; December 1, 1980.

SEARCH FOR A REALISTIC KALUZA-KLEIN THEORY. Edward Witten in *Nuclear Physics B*, Vol. 186, No. 3, pages 412-428; August 10, 1981.

Фридман Д., Ван Ньювенхойзен П. СУПЕРГРАВИТАЦИЯ И УНИФИКАЦИЯ ЗАКОНОВ ФИЗИКИ. Перев. с англ. — *Успехи физических наук*, 1979, т. 128, вып. 1, с. 137.

Владимиров Ю. С. СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА В ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ. — М.: Энергоиздат, 1982.

Владимиров Ю. С., Мицкевич Н. В., Хорски Я. ПРОСТРАНСТВО, ВРЕМЯ, ГРАВИТАЦИЯ. — М.: Наука, 1984.

ПОЧЕМУ ПРЫГАЮТ КИТЫ

ACOUSTIC COMMUNICATION AND BEHAVIOR OF THE SOUTHERN RIGHT WHALE (EUBALAENA AUSTRALIS). Christopher W. Clark in *Communication and Behavior of Whales*, edited by Roger Payne. Westview Press, Inc., 1983.

ENERGETICS OF LEAPING IN DOLPHINS AND OTHER AQUATIC ANIMALS. R. W. Blake in *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, Vol. 63, No. 1, pages 61-70; 1983.

STRUCTURE AND STABILITY OF HUMPBACK WHALE GROUPS OF NEWFOUNDLAND. Hal Whitehead in *Canadian Journal of Zoology*, Vol. 61, No. 6, pages 1391-1397; June, 1983.

НЕОЛИТИЧЕСКОЕ УКРЕПЛЕНИЕ И МОГИЛЬНИК

CAUSEWAYED ENCLOSURES. I. F. Smith in *Economy and Settlement in Neolithic and Early Bronze Age Britain and Europe*, edited by D. D. A. Simpson. Leicester University Press, 1971.

INTERRUPTED DITCH ENCLOSURES IN BRITAIN: THE USE OF AERIAL

Издательство МИР предлагает:

Дж. Тейлор

ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ ОШИБОК

Перевод с английского

Книга является учебным пособием по математической обработке результатов измерений. Она написана профессором Колорадского университета (США), имеющим большой опыт преподавания физики и активно разрабатывающим методику обучения в области расчетов ошибок эксперимента. Книгу условно можно разделить на 2 части. В первой части (5 глав) автор подробно разъясняет неизбежность ошибок измерений, останавливается на том, как нужно фиксировать результаты измерений и их ошибки и рассматривает расчет ошибок в случае косвенных измерений. Здесь же на основе нормального распределения автор знакомит читателя с элементами статистической обработки случайных ошибок. Во второй части (7 глав) рассматриваются проблема «промахов», определение среднего по данным независимых работ, метод наименьших квадратов для прямой линии и простейших кривых, проблема корреляции, биномиальное распределение, распределение Пуассона и критерий χ^2 . В приложении приведены таблицы нормального распределения, распределения коэффициентов корреляции и χ^2 -распределения. В конце книги имеются небольшая библиография и предметный указатель.

Для студентов и преподавателей вузов, сотрудников измерительных лабораторий, а также учащихся средних и специальных учебных заведений.

1985, 270 с. Цена 1 р. 30 к.



PHOTOGRAPHY FOR COMPARATIVE STUDIES. R. Palmer in *Proceedings of the Prehistoric Society*, Vol. 42, pages 161-186; 1976.

CAUSEWAYED CAMPS AND EARLY NEOLITHIC ECONOMIES IN CENTRAL SOUTHERN ENGLAND. Graeme Barker and Derrick Webley in *Proceedings of the Prehistoric Society*, Vol. 44, pages 161-186; 1978.

ИОННАЯ ИМПЛАНТАЦИЯ

ION IMPLANTATION IN SEMICONDUCTORS. James W. Mayer, Lennart Eriksson and John A. Davies. Academic Press, 1970.

ION IMPLANTATION. Frederick F. Morehead, Jr., and Billy L. Crowder in *Scientific American*, Vol. 228, No. 4, pages 64-71; April, 1973.

TAILORED SURFACE MODIFICATION BY ION IMPLANTATION AND LASER TREATMENT. S. T. Picraux and L. E. Pope in *Science*, Vol. 226, No. 4675, pages 615-622; November 9, 1984.

ВОПРОСЫ РАДИАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ. Под редакцией Л. С. Смирнова. — Новосибирск: Наука, 1980.

Ионная имплантация в полупроводниках. Под редакцией В. С. Вавилова. — М.: Наука, 1980.

Риссел Х., Руге И. Ионная имплантация. Перев. с англ. — М.: Наука, 1983.

ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ЧЕСНОКА И ЛУКА

THE BOOK OF GARLIC. Lloyd J. Harris. Holt, Rinehart and Winston, 1975.

THE LACRYMATORY FACTOR OF THE ONION: AN NMR STUDY. Eric Block, Larry K. Revelle and Ali A. Bazzi in *Tetrahedron Letters*, Vol. 21, No. 14, pages 1277-1280; 1980.

(E, Z)-AJOENE: A POTENT ANTITHROMBOTIC AGENT FROM GARLIC. Eric Block, Saleem Ahmad, Mahendra K. Jain, Roger Creceley, Rafael Apitz-Castro and Maria R. Cruz in *Journal of the American Chemical Society*, in press.

Одо из Мена. О СВОЙСТВАХ ТРАВ. — М.: Медицина, 1976.

НАУКА ВОКРУГ НАС

SOARING BIRD AERODYNAMICS — CLUES FOR HANG GLIDING. Paul B. MacCready, Jr., in *Ground Skimmer*, No. 45, pages 17-19; October, 1976.

SOARING AERODYNAMICS OF FRIGATE BIRDS. Paul B. MacCready, Jr., in *Soaring*, Vol. 48, No. 7, pages 20-22; July, 1984.

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

SOFTWARE: LA GUERRE DOUCE. Thierry Breton and Denis Beneich. Editions Robert Laffont, 1983.

CORE WAR GUIDELINES. D. G. Jones and A. K. Dewdney. Available from SCIENTIFIC AMERICAN, 415 Madison Avenue, New York, N.Y. 10017; March, 1984.

WAR GAMES. Philip Elmer-DeWitt in *Time*, Vol. 124, No. 16, page 109; October 15, 1984.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 19.4.85.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/4.
Гарнитуры таймс, гелсио.

Офсетная печать.
Объем 5,25 бум. л.
Усл.-печ. л. 10,50.
Уч.-изд. л. 13,16.
Усл. кр.-отт. 38,36.
Изд. № 36/4200. Заказ 173.
Тираж 19500 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»
Набрано в редакции по подготовке оригинал-макетов издательства «Мир» на фотонаборном комплексе «Компьюграфик»

Типография В/О «Внешторгиздат»
Государственного комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
127576, Москва, Илимская, 7



Издательство **МИР** предлагает:

Х. Пападимитриу, К. Стайглиц

КОМБИНАТОРНАЯ
ОПТИМИЗАЦИЯ.
АЛГОРИТМЫ И
СЛОЖНОСТЬ

Перевод с английского



В монографии американских специалистов собраны результаты по сложности точных алгоритмов в области линейного программирования и смежных вопросов. Рассматриваются задачи о максимальном потоке, о потоке минимальной стоимости, парасочетаниях в графах и др. Предпринята попытка собрать воедино как практически применяемые точные алгоритмы для решения задач линейного программирования, так и теоретические вопросы сложности соответствующих алгоритмов.

Из отзыва чл.-корр. АН СССР проф. С. В. Яблонского: «Среди задач оптимизации важное место занимает задача линейного программирования. Для этой за-

дачи существуют точные алгоритмы, позволяющие за конечное число шагов найти точное решение задачи. Алгоритмы именно такого типа и рассматриваются в данной книге. Книга содержит большое число алгоритмов для общей задачи линейного программирования и некоторых ее частных случаев... В ней рассматриваются также теоретические вопросы, связанные с возможностью построения быстрых алгоритмов».

Для научных работников и инженеров, занятых проблемой оптимизации, а также для студентов и аспирантов, специализирующихся по прикладной математике.

1985, 33 л. Цена 2 р. 60 к.



В следующем номере:



**РОСТ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ
В РАЗВИВАЮЩИХСЯ СТРАНАХ**

«ГОРЯЧИЕ ТОЧКИ» В МАНТИЙНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ЗЕМЛИ

МЕХАНИЗМ ВЫСВОБОЖДЕНИЯ АЦЕТИЛХОЛИНА

**ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ —
НОВЕЙШИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ**

**ИЗОЛЯЦИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ
У ДЕРЕВЬЕВ**

**МАГЕЛЛАНОВЫ ОБЛАКА — БЛИЖАЙШИЕ СОСЕДИ
НАШЕЙ ГАЛАКТИКИ**

**АНЕСТЕЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ХИРУРГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ**

ИЗ ИСТОРИИ ТЕХНИКИ:

ИЗОБРЕТЕНИЕ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

**О ПРОГРАММАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ
СО СЛУЧАЙНЫМИ СОБЫТИЯМИ**

**ЛАБОРАТОРНЫЕ ОПЫТЫ
С ЖИДКОСТНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ**