WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ГОМИНОИДОВ И ГОМИНИД

Май **5** 1984

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Издательство **МИР** *предлагает:*

ИНДУЦИРУЕМЫЕ ЛАЗЕРОМ ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Под редакцией Дж. Стейнфелда
Перевод с английского

Одна из первых книг по лазерной химии — новому разделу химии высоких энергий, который появился недавно на почве стремительного развития лазерной техники и поиска областей ее применения.

Содержание: Колебательное возбуждение в многоатомных молекулах. Многофотонное инфракрасное возбуждение и реакции органических соединений. Спекающиеся порошки, получаемые в реакциях, проводимых с помощью лазера. Химические реакции, инициируемые лазером: обзор литературы за 1965—1979 гг.

Для специалистов по лазерной химии и физике, а также для исследователей в области химической физики, электроники, материаловедения.

1984, 22 л. Цена 3 р. 60 к.

ИЗДАТЕЛЬСТВО МИР

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

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 1984

В номере:

СТАТЬИ

4 Неспокойные глубины *Чарлз Д. Холлистер, Артур Р. М. Науэлл, Питер А. Джумарс*
В холодных глубинных океанских течениях, направленных к экватору, часто разыгрываются сильные «бури». Поднятые ими в огромных количествах осадки перераспределяются на дне
(Scientific American, March 1984, Vol. 250, No. 3)

18 Население Китая *Натан Кейфиц*
Согласно последней переписи, в Китае проживает немногим более 1 млрд. человек. Предпринимая активные меры по сокращению рождаемости, правительство стремится к тому, чтобы численность населения не превысила 1,2 млрд. человек
(Scientific American, February 1984, Vol. 250, No. 2)

28 Как гены контролируют врожденное поведение *Ричард Х. Шеллер, Ричард Аксель*
Применение техники рекомбинантных ДНК позволило выявить семейство генов, кодирующих ряд родственных нейропептидов. У морской улитки их координированное образование определяет комплекс фиксированных действий при откладке яиц
(Scientific American, March 1984, Vol. 250, No. 3)

38 Происхождение гоминоидов и гоминид *Дэвид Пилбим*
Находки последних пяти лет позволяют с большей точностью проследить за расхождением ветвей человекообразных и низших узконосых обезьян, а также за последующей дивергенцией человека и человекообразных обезьян
(Scientific American, March 1984, Vol. 250, No. 3)

50 Экситонное вещество *Андре Мизирович, Джеймс П. Вольф*
В полупроводнике электрон проводимости может объединиться с положительно заряженной «дыркой» и образовать экситон. Экситоны в свою очередь могут сливаться в молекулы и конденсироваться в жидкую фазу, в результате чего достигается новое состояние вещества
(Scientific American, March 1984, Vol. 250, No. 3)

62 Звуки мышц *Джералд Остер*
Сокращающаяся мышца генерирует звуки, которые мы не слышим только потому, что ухо человека нечувствительно к низким частотам. Эти звуковые колебания сейчас изучают с целью использования их для научных и медицинских исследований
(Scientific American, March 1984, Vol. 250, No. 3)

70 Приспособительные механизмы домовой мыши *Ф. Г. Бронсон*
Репродуктивные механизмы этого мелкого млекопитающего отличаются удивительной гибкостью, благодаря чему вид способен процветать в самых разнообразных местообитаниях, в особенности в тех, где он сосуществует с человеком
(Scientific American, March 1984, Vol. 250, No. 3)

80 Флоренс Найтингейл *Бернард Коэн*
Во время Крымской войны Флоренс Найтингейл спасла жизнь тысячам солдат. Она была одним из основателей современной системы медицинского обслуживания, а также пионером в практическом использовании социальной статистики
(Scientific American, March 1984, Vol. 250, No. 3)

РУБРИКИ

3 Об авторах
48 50 и 100 лет назад
17, 61, 79, 89, 95 Наука и общество
90 Наука вокруг нас
97 Занимательный компьютер
105 Книги
111 Библиография

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

SCIENTIFIC AMERICAN

BOARD OF EDITORS
Gerard Piel
PUBLISHER
Dennis Flanagan
EDITOR
Brian P. Hayes
ASSOCIATE EDITOR
Philip Morrison
BOOK EDITOR
John M. Benditt
Peter G. Brown
Michael Feirtag
Robert Kunzig
Jonathan B. Piel
John Purcell
James T. Rogers
Armand Schwab, Jr.
Joseph Wisnovsky

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR
Richard Sasso
PRODUCTION MANAGER
George S. Conn
GENERAL MANAGER

© 1984 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
Л. И. Леонова
М. М. Попова
ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. А. Стулов
ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
И. В. Лунёва
ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
Л. П. Чуркина
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», 1984

На обложке

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ГОМИНОИДОВ И ГОМИНИД

На обложке изображены реставрированные черепа представителей четырех видов живых существ, которые играют важную роль в современных взглядах на эволюцию человека (см. статью Д. Пилбима «Происхождение гоминоидов и гоминид» на с. 38). Вверху слева — африканская миоценовая человекообразная обезьяна *Proconsul africanus*. Вверху справа более крупная и более поздняя из миоценовых человекообразных обезьян — *Sivapithecus*, ископаемые остатки которой лучше всего сохранились в древних отложениях к югу от Гималаев. Представители этого рода были, вероятно, предками современных крупных азиатских антропоидов — орангутанов. Внизу слева — *A. afarensis*, найденный в Эфиопии вид австралопитеков. Внизу справа — *H. habilis*, впервые обнаруженный в Кении. Как *A. afarensis*, так и *H. habilis* по времени предшествуют более известному *Homo erectus*. Этот вид впервые возникает в Африке около 1,6 млн. лет назад и является непосредственным предком *Homo sapiens*.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Enid Kotschnig

СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
5	Charles D. Hollister
6-7	Walken Graphics
8	Charles D. Hollister (*вверху*), Walken Graphics (*внизу*)
9-15	Walken Graphics
18-19	Andrew Tomko
20-26	Albert E. Miller
27	Nathan Keyfitz, Harvard University
29	Bunji Tagawa
30	Richard H. Scheller and Richard Axel
31	Richard H. Scheller and Richard Axel (*вверху*), Bunji Tagawa (*в середине и внизу*)
33-34	Bunji Tagawa
36	Richard H. Scheller and Richard Axel
39	Enid Kotschnig
40-42	Tom Prentiss
43-45	Ilil Arbel
51	André Mysyrowicz, David P. Trauernicht and James P. Wolfe
52-53	Gabor Kiss
54	David P. Trauernicht, University of Illinois at Urbana-Champaign
55	Paul L. Gourley and James P. Wolfe, University of Illinois at Urbana-Champaign (*слева*); Gabor Kiss (*справа*)
56-59	Gabor Kiss
63-68	Patricia J. Wynne
71-74	Alan D. Iselin
75	F. H. Bronson, University of Texas at Austin (*вверху*); Alan D. Iselin (*внизу слева*)
76-77	Alan D. Iselin
81	Thomas M. Pantages, с любезного разрешения Houghton Library, Harvard University
82	Falk Library of the Health Sciences, University of Pittsburgh
83-87	Thomas M. Pantages, с любезного разрешения Widener Library, Harvard University
90-94	Michael Goodman
98	Thomas M. Pantages, Norman Margolus, Tommaso Toffoli and Gérard Y. Vichniac
99-100	Ilil Arbel
101	Stephen Wolfram
102	Ilil Arbel
103	Thomas M. Pantages; Norman Margolus, Tommaso Toffoli and Gérard Y. Vichniac

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Об авторах

Charles D. Hollister, Arthur R. M. Nowell, Peter A. Jumars (ЧАРЛЗ Д. ХОЛЛИСТЕР, АРТУР Р. М. НАУЭЛЛ, ПИТЕР А. ДЖУМАРС «Неспокойные глубины») — океанографы, чьи интересы пересекаются в области исследований глубин океана. Холлистер — заведующий аспирантурой Вудс-Холского океанографического института. Степень бакалавра получил в Орегонском университете; продолжил работу в Геологической лаборатории Ламонт-Догерти Колумбийского университета, где в 1967 г. получил степень доктора философии. В его диссертации впервые были затронуты вопросы геологических эффектов течений на больших глубинах океана — в областях, которые всегда считались спокойными. Холлистер не только океанограф, но и альпинист, покорял Арктику и Антарктиду, был президентом Американского клуба альпинистов. Науэлл — доцент океанографического колледжа Вашингтонского университета и приглашаемый исследователь в Вудс-Холском океанографическом институте. Проходил преддипломную практику в Тринити-колледже Кембриджского университета; степени магистра и доктора философии получил в Университете Британской Колумбии. Джумарс — профессор океанографии Вашингтонского университета. Родился в Германии, преддипломную практику проходил в Делавэрском университете, а степень доктора философии получил в Скриппсовском океанографическом институте. Его интересы как океанографа лежат в области биологии.

Nathan Keyfitz (НАТАН КЕЙФИЦ «Население Китая») — заслуженный профессор социологии в отставке Гарвардского университета и заслуженный профессор демографии в отставке Университета шт. Огайо. В настоящее время руководит демографической программой международного Института системного анализа в Лаксенбурге (Австрия). Получил степень бакалавра математики в Университете Мак-Гилла и степень доктора философии в области социологии в Чикагском университете. После работы в должности статистика-исследователя на государственной службе в Канаде перешел к академической деятельности. Преподавал в Гарвардском университете, Университете шт. Огайо, в Чикагском университете и в Калифорнийском университете в Беркли, а в последнее время — в департаменте профилактики и биостатистики в Торонто. В 1982 г. совершил продолжительную поездку по Китаю, которая дала материал для публикуемой статьи.

Richard H. Scheller, Richard Axel (РИЧАРД Х. ШЕЛЛЕР, РИЧАРД АКСЕЛЬ «Как гены контролируют врожденное поведение») — биологи, специалисты по методам переноса генов. Р. Шеллер окончил Висконсинский университет в Мадисоне; степень доктора философии получил в 1980 г. в Калифорнийском технологическом институте. В 1980—1981 гг. работал в лабораториях Р. Акселя и Э. Кэндела в Колледже терапии и хирургии Колумбийского университета. Ныне он доцент в Станфордском университете. Р. Аксель стал бакалавром в Колледже терапии и хирургии, затем продолжил образование в Медицинской школе Джонса Гопкинса, где получил степень доктора медицины. В настоящее время он профессор патологии и биохимии в Колледже терапии и хирургии.

David Pilbeam (ДЭВИД ПИЛБИМ «Происхождение гоминоидов и гоминид») — профессор антропологии Гарвардского университета. Дипломную работу делал в Кембриджском университете и по его окончании работал там же в должности лаборанта на кафедре антропологии. Степень доктора философии была присуждена ему в 1967 г. в Йельском университете, а в следующем году Пилбим перешел на преподавательскую работу в этот университет. Он пишет: «Изучением эволюции человека я стал заниматься потому, что эта область требует от исследователя одновременно и исторических и философских знаний. Меня интересует взаимосвязь между "фактом" и "теорией".

André Mysyrowicz, James P. Wolfe (АНДРЕ МИЗИРОВИЧ, ДЖЕЙМС П. ВОЛЬФ «Экситонное вещество»). А. Мизирович — физик из Французского национального центра научных исследований (CNRS), защитил докторскую диссертацию в Страсбургском университете в 1968 г.; его научная деятельность связана с изучением оптических явлений в полупроводниках. Дж. Вольф — профессор физики из Иллинойсского университета в Эрбана-Шампейн, получил научные степени бакалавра (1965 г.) и доктора философии (1971 г.) в Калифорнийском университете в Беркли. С 1971 г. по 1981 г. был сотрудником этого университета, в 1981 г. перешел в Иллинойсский университет. Здесь он работает главным образом в области явлений переноса фононов и экситонов в кристаллах.

Gerald Oster (ДЖЕРАЛД ОСТЕР «Звуки мышц») — профессор биофизики в Медицинской школе Маунт-Синай Нью-Йоркского университета. В 1940 г. в Университете Брауна получил степень бакалавра, а в 1943 г. в Корнеллском университете — степень доктора философии в области физической химии. Работал в Массачусетском технологическом институте и в Принстонском университете. В 1945 г. поступил в Рокфеллеровский центр медицинских исследований. В 1949—1950 гг. на средства Рокфеллеровского фонда вел исследования в Лондоне — в Беркбек-Колледже и в Королевской ассоциации. Сотрудничал также в Страсбургском и Парижском университетах. В 1952 г. стал профессором химии полимеров в Бруклинском (ныне Нью-Йоркский) политехническом институте. В 1969 г. перешел в Медицинскую школу Маунт-Синай. Остер занимается также вопросами растениеводства; эти его исследования направлены на решение сельскохозяйственных проблем в развивающихся странах Карибского региона.

F. H. Bronson (Ф. Г. БРОНСОН «Приспособительные механизмы домовой мыши») — профессор зоологии в Техасском университете (г. Остин). Учился в Университете шт. Канзас, где получил степени в 1957 г. бакалавра и в 1958 г. магистра, а затем в Университете шт. Пенсильвания, где в 1961 г. стал доктором философии. С 1961 г. по 1968 г. работал научным сотрудником в Джексоновской лаборатории в Бар-Харборе, шт. Мэриленд. Там Бронсон и начал изучать домовых мышей. В Техасский университет перешел в 1968 г. Бронсон — физиолог, изучает воздействие факторов внешней среды на размножение у млекопитающих.

I. Bernard Cohen (БЕРНАРД КОЭН «Флоренс Найтингейл») — профессор кафедры истории науки Гарвардского университета, лауреат премии В. Томаса. За исключением трех лет, которые Коэн проработал в Институте Карнеги в Вашингтоне, вся его научная деятельность протекала в Гарвардском университете, студентом которого он стал в 1933 г. В 1937 г. Коэн получил степень бакалавра, а через 10 лет — степень доктора философии (впервые присужденную в области истории науки). Звания профессора был удостоен в 1959 г. Коэн, кроме того, редактор ежеквартального журнала "Isis", издаваемого Обществом истории науки, президентом которого он является. На протяжении ряда лет Коэн основательно занимается изучением истории научных теорий, разработанных И. Ньютоном и Б. Франклином; первая из его 17 статей, опубликованных в журнале "Scientific American", была напечатана в декабрьском номере за 1948 г. и называлась "In Defense of Benjamin Franklin" («В защиту Бенджамина Франклина»).

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Неспокойные глубины

В холодных глубинных океанских течениях, направленных к экватору, часто разыгрываются сильные «бури». Поднятые ими в огромных количествах осадки перераспределяются на дне

ЧАРЛЗ Д. ХОЛЛИСТЕР, АРТУР Р. М. НАУЭЛЛ, ПИТЕР А. ДЖУМАРС

БЫЛА темная ненастная ночь». Такое, уже ставшее пародийным, начало романа викторианской эпохи точно отражает ситуацию, которая имела место в середине сентября 1979 г. на глубине 4800 м у основания материкового подножия, в 800 км от побережья Новой Англии. То, что в океане глубже 1000 м всегда царит темнота, ясно и так. Что же касается «ненастья», то приборы, которые мы опустили несколькими неделями раньше описываемых событий на гораздо большие глубины у основания поднятия Скотия, зарегистрировали настоящую подводную бурю, которая длилась около недели. Мощное придонное течение, направленное на юго-запад, имело скорость более полуметра в секунду и сильно размывало океанское дно. Заякоренные приборы испытывали такие же напряжения, как если бы попали в штормовой ветер 18—20 м/с.

Столь мощные возмущения пятью километрами ниже поверхности океана явились откровением для тех, кто свято верил, что на абиссальных глубинах так же спокойно, как и темно. Последние исследования показали, что на западных окраинах крупных океанских котловин, вдоль подошвы материкового подножия, периодически возникающие подводные бури переносят колоссальные количества тонкого осадочного материала. Бури размывают осадки в одних местах и осаждают большое количество ила и глины в других и в результате сильно модифицируют дно. Много данных о существовании таких течений было получено в рамках «Программы по изучению высокоэнергетических возмущений придонного пограничного слоя» (High-Energy Benthic Boundary-Layer Experiment — HEBBLE). Программа финансировалась Управлением военно-морских исследований.

Выявленная в ходе исследований общая картина заключается в том, что динамика глубинных слоев океана имеет много общего с глобальной циркуляцией атмосферы. Атмосферные циклоны средних широт, для которых характерны сильные ветры и обильные осадки, имеют двойников в океане — мощные глубинные вихри, с которыми связаны возмущения продолжительностью от нескольких дней до двух недель и которые переносят «заряды» ила и глины, как атмосферные вихри — «снежные заряды». Такие подводные бури возникают, однако, не повсеместно даже на западных окраинах океанских котловин. Так, всего в 100 км к западу от полигона HEBBLE, где на глубине 2500 м лежат остатки атомной подводной лодки «Трешер», подводные фотографии показывают, что размыва осадков вокруг корпуса лодки не происходит, немного ила осело и на ее поверхности. Похоже, что бури следуют определенными проторенными путями, однако их периодичность для каждого конкретного места пока еще малоизвестна. По предварительным оценкам для наиболее изученных районов бури, вызывающие эрозию дна, случаются раз в два месяца.

Периодическая эрозия морского дна и эпизодическое отложение мощных слоев тонкозернистого материала приводят к сложной стратиграфической последовательности. Она непохожа на разрезы, образующиеся при однородном выпадении осадков, т.е. в условиях, которые обычно наблюдают геологи. Скорее она близка к последовательностям в мелководных морях, где сильные штормовые ветры способствуют накоплению отложений, называемых темпеститами. Однородные горизонты осадочного материала в них перекрыты слоями отсортированных по размерам частиц (градационными слоями).

Полученные нами новые данные могут заставить геологов-нефтяников пересмотреть традиционные представления о районах, перспективных на нефть. Исследование сильных абиссальных течений и бурь имеет также важное значение для целей подводной навигации и противолодочной защиты, для размещения на дне различных сооружений, для выбора мест захоронения отходов.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ о спокойных океанских глубинах настолько укоренилось, что первоначально многие исследователи отказывались признавать существование сильных глубинных течений и бурь. Наличие абиссальных течений было впервые предсказано теорией. Поскольку холодные воды имеют большую плотность, чем теплые, то их опускание вблизи полюсов, как показывают модели океанической циркуляции, должно приводить к возникновению сильных устойчивых течений, направленных к экватору.

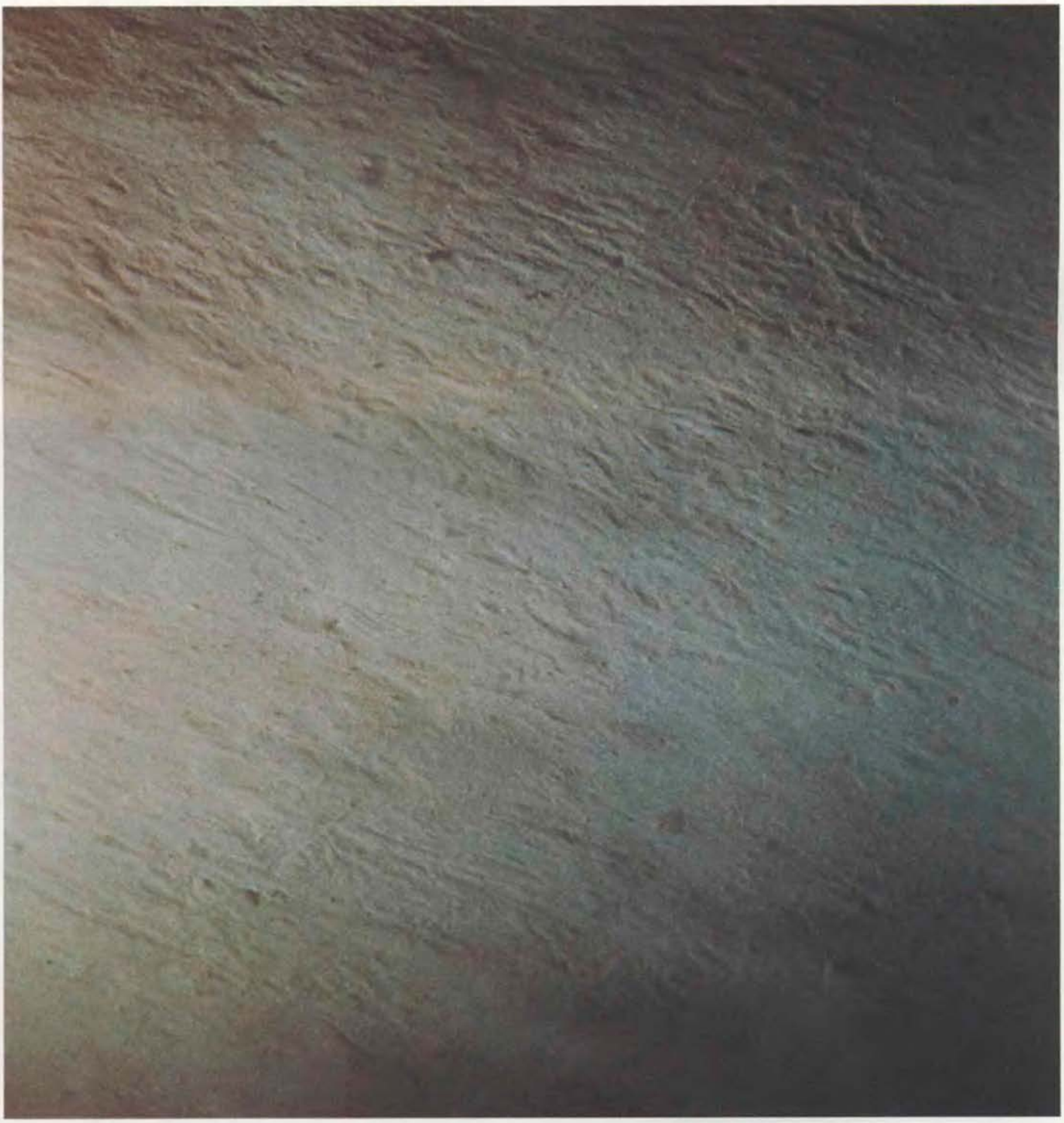
Наблюдения не только подтвердили выводы теории, но и обнаружили в западных районах океанов вихри, которые по уровню энергии примерно в 300 раз интенсивнее среднего течения. Четко выраженные знаки ряби, указывающие на активный характер переноса осадков, были замечены и на фотографиях тех участков дна, над которыми проходят глубинные течения. Решающими доказательствами, подтвердившими высокую динамическую активность на больших глубинах, явились результаты прямых измерений скоростей течений и концентрации осадка, взвешенного в потоке, которые были выполнены в Северной Атлантике во время эксперимента HEBBLE.

Прежде чем более детально описать результаты эксперимента HEBBLE, кратко рассмотрим природу источников и стоков глубоководных осадков, а также силы, которые формируют глобальную систему океанической циркуляции. Дно океана подстилается в основном двумя типами осадков. Первый тип представляет обломочный материал, образующийся при выветривании горных пород на материках и островах. Вместе с растительными остатками он переносится реками к окраинам материков и далее поступает на континентальный шельф, где подхватывается морскими течениями. Как только обломочный материал достигает края шельфа, он под действием силы тяжести «съезжает» к основанию материкового подножия. В субтропиках значительное количество терригенного материала выносится в океан сильными ветрами, дующими из пустынь. Каждый год около 15 млрд. тонн вещества с материков переносится к устьям рек. Бо́льшая его часть остается там же или оседает на шель-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

фе, и только несколько миллиардов тонн вещества попадает в глубокие слои океана.

Второй тип осадков образуют раковины и скелеты микроскопических организмов, которые живут и умирают в освещенном солнцем верхнем 100-метровом слое океана. Вклад этого биогенного компонента в общий баланс осадков составляет около 3 млрд. тонн в год. Скорости его аккумуляции определяются биологической продуктивностью, которая в свою очередь частично зависит от структуры поверхностных течений. Та область, где поверхностные течения сходятся, называется зоной конвергенции, а та, где они расходятся, — зоной дивергенции. В основных океанических зонах дивергенции глубинные воды, богатые питательными веществами, поднимаются к поверхности; там в слое, куда проникает солнечная радиация, происходит фотосинтез и фиксация органического углерода. Области высокой продуктивности и больших скоростей осадкообразования обычно располагаются в окрестностях главных океанских фронтов (таких, как приантарктическая зона) и на границах главных течений (например, Гольфстрима у Новой Англии или Куросио у берегов Японии). Воды, богатые питательными вещест-

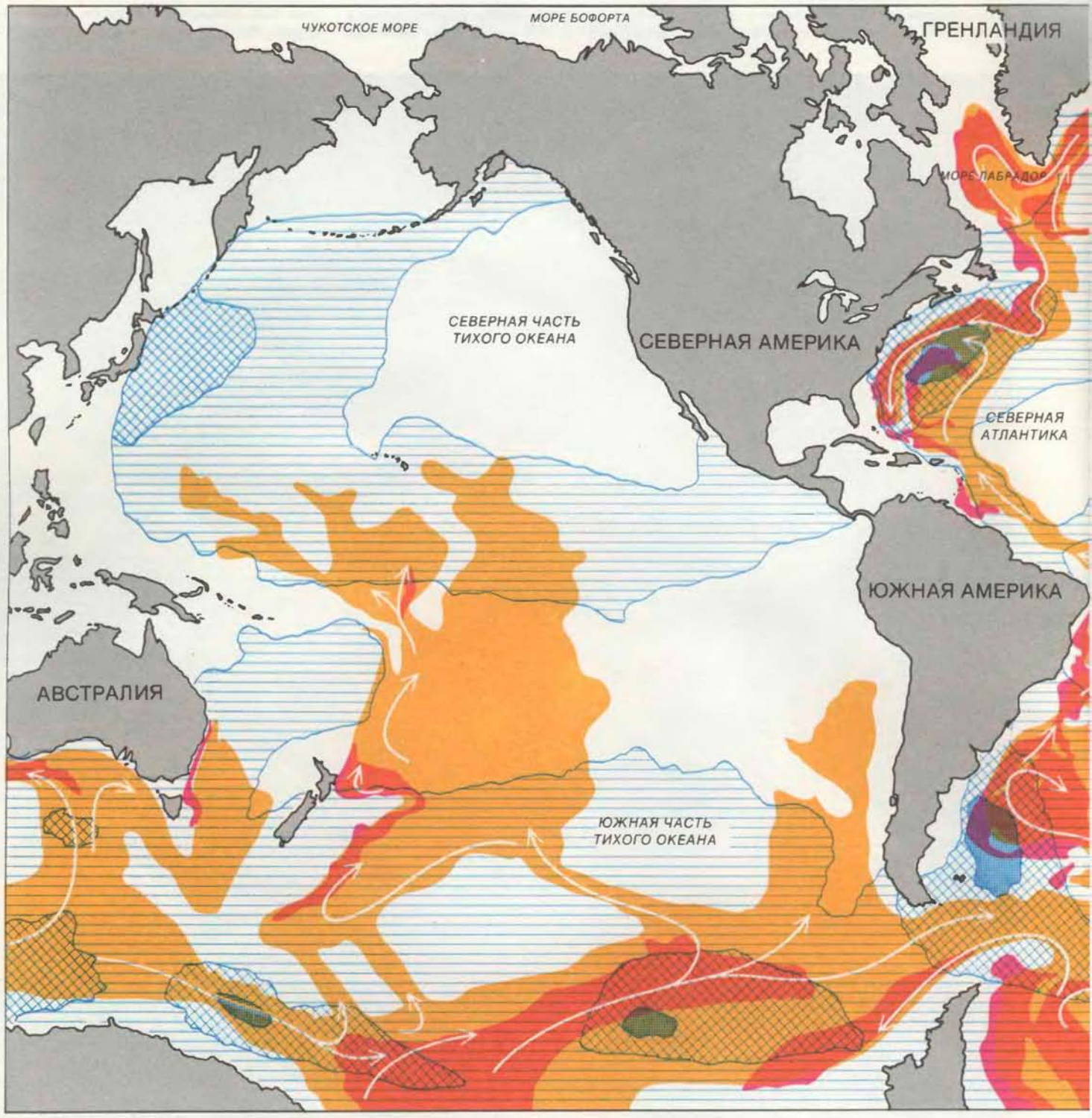


РАЗМЫТОЕ МОРСКОЕ ДНО со знаками ряби у основания материкового подножия в 800 км от побережья Новой Англии, глубина 4850 м. В этом районе проводятся исследования по «Программе изучения высокоэнергетических процессов в придонном пограничном слое (High-Energy Benthic Boundary-Layer Experiment — HEBBLE), в котором участвуют авторы статьи. Отсутствие на дне следов жизнедеятельности морских организмов подтверждает данные измерителей скорости о том, что незадолго до фотографирования дно было размыто подводной бурей.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

вами, поднимаются к поверхности и в экваториальной полосе, где также имеет место дивергенция

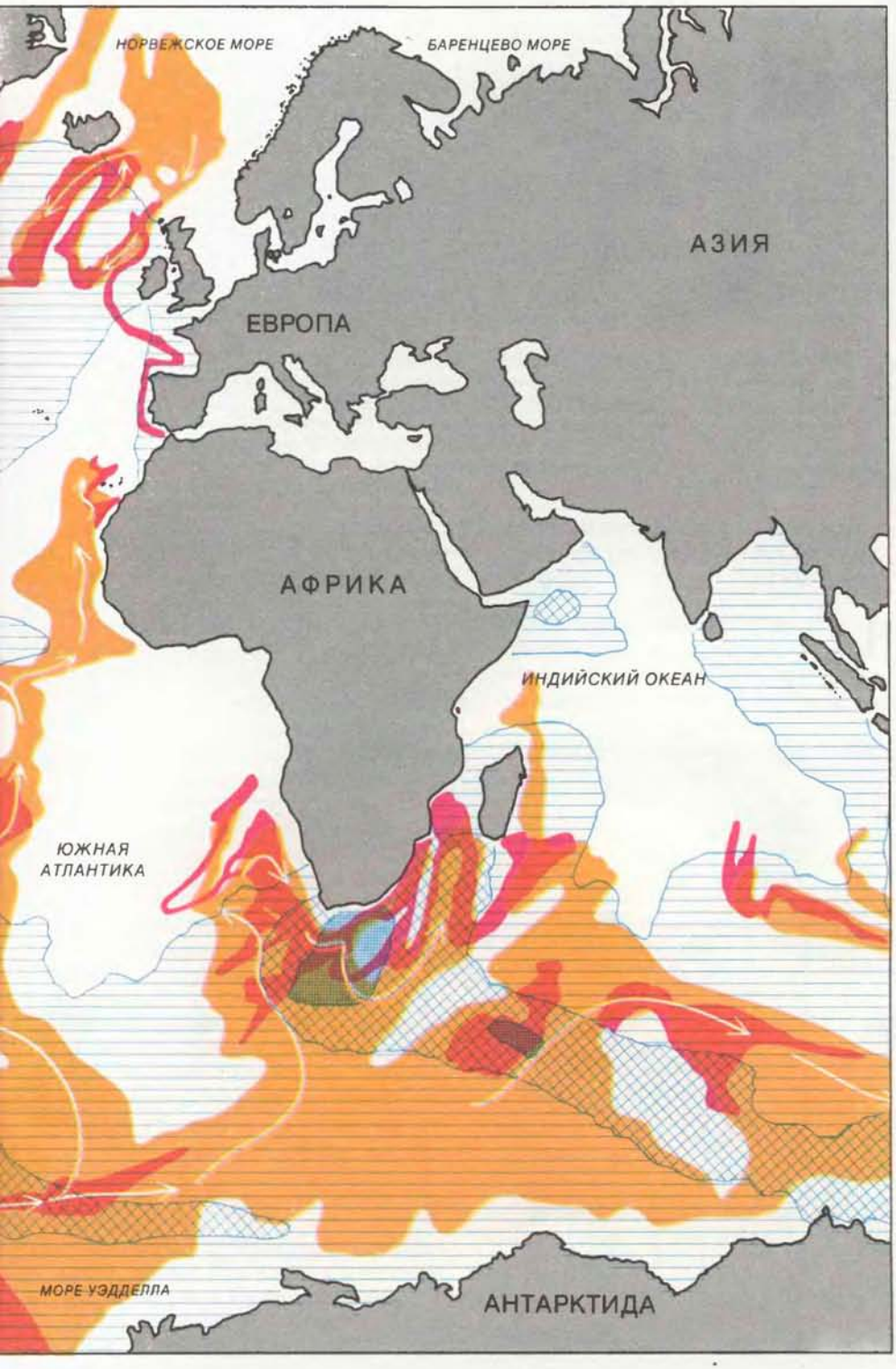
Скорость седиментации остатков морских организмов существенно зависит от глубины океана. В какой мере раковины смогут избежать растворения в воде после их опускания на дно, в значительной степени зависит от того, сколько времени они будут находиться на поверхности дна, пока новые порции осадков не засыпят и не укроют их от разрушающего воздействия глубинных вод, не насыщенных карбонатом кальция. В целом в глубоководных районах океана темпы осадконакопления ниже: раковины успевают значительно разрушиться, пока опускаются на дно.



ГЛУБИННЫЕ ТЕЧЕНИЯ (*показаны желтым*) несут холодную тяжелую воду из полярных областей в три крупные котловины Мирового океана. Тихий океан, как и Атлантический, примыкает к Северному Ледовитому океану, однако приток глубинных арктических вод в него незначителен, поскольку осуществляется через мелководный Берингов пролив. В противоположность этому в Атлантический океан втекают мощные потоки холодной глубинной воды из обоих полярных регионов. Течения следуют рельефу дна и отклоняются к западу под действием силы Кориолиса, вызываемой вращением Земли. Голубая штриховка отмечает области повышенной вихревой активности. Частая штриховка соответствует значениям кинетической энергии вихрей (рассчитанной по величине отклонений скоростей от среднего значе-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

ЕСЛИ бы продуктивность в верхнем слое была однородной, а придонные течения отсутствовали, то осадки ложились бы более или менее ровным слоем на дно, сильно изрезанное в силу своего вулканического происхождения. Этого, однако, не происходит. Как показывает беглый взгляд на карту, крупнейшие реки Северной и Южной Америки впадают в Атлантический океан, и поэтому из речного стока он получает значительно больше осадочного материала, чем Тихий. Кроме того, глубоководные желоба Тихого океана являются ловушками для материала, который поступает в него с западной периферии.



ния), большим 20 см^2/сек^2, горизонтальная штриховка — от 4 до 10 см^2/сек^2, перекрестная — от 10 до 20 см^2/сек^2. Оценки кинетической энергии вихрей основаны частично на данных наблюдений с судов и частично на данных спутниковых измерений вариаций уровня океана. У дна вихревые течения взаимодействуют с глубинными течениями, их совместный эффект вызывает эрозию дна и перераспределение донных осадков. В результате образуются большие участки наносов осадочного материала (показаны красным).

Атлантический океан меньше по площади и не так глубок, как Тихий. Это значит, что биогенное вещество оказывается захороненным на дне быстрее и потому имеет бóльшую вероятность сохраниться, чем такое же вещество в Тихом океане. В результате на дно Атлантического океана откладывается больше осадков на единицу площади (около 1 см за 1000 лет), чем на дно Тихого океана. В дополнение к этому глобальная система мощных придонных течений в Атлантике благоприятствует большему перераспределению материала по сравнению с Тихим океаном. По перечисленным выше причинам Атлантический океан является идеальным местом для исследования геологических проявлений интенсивной глубинной циркуляции.

Рассмотрим природу придонных течений. В полярных широтах поверхностные воды имеют бóльшую плотность, чем в умеренных, из-за более низкой температуры и большей солености. (Соленость поверхностных вод, текущих по направлению к полюсам, увеличивается в результате испарения; дополнительное ее увеличение связано с выделением соли изо льда в процессе льдообразования.) Воды повышенной плотности погружаются и двигаются к экватору. В ранних теоретических моделях предполагалось, что этот термохалинный поток представлен глубинными течениями, которые отклоняются к западу при своем движении в направлении к экватору. Это отклонение является следствием вращения Земли с запада на восток, которое порождает так называемую силу Кориолиса. Путь, по которому следует вода, определяется, кроме того, береговой линией и рельефом океанского дна.

Три океана — Атлантический, Тихий и Индийский непосредственно граничат с Антарктикой, откуда в них поступает глубинная холодная вода. При движении к экватору вода отклоняется к западу под действием силы Кориолиса и прижимается к западным окраинам океанов и западным склонам подводных хребтов. Этот эффект вызывает увеличение скорости течений, подобно тому как скорость реки увеличивается в местах сужения ее русла. Индийский океан, однако, являет собой исключение в том смысле, что он отделен от северных полярных областей и поэтому имеет только один источник холодных придонных вод.

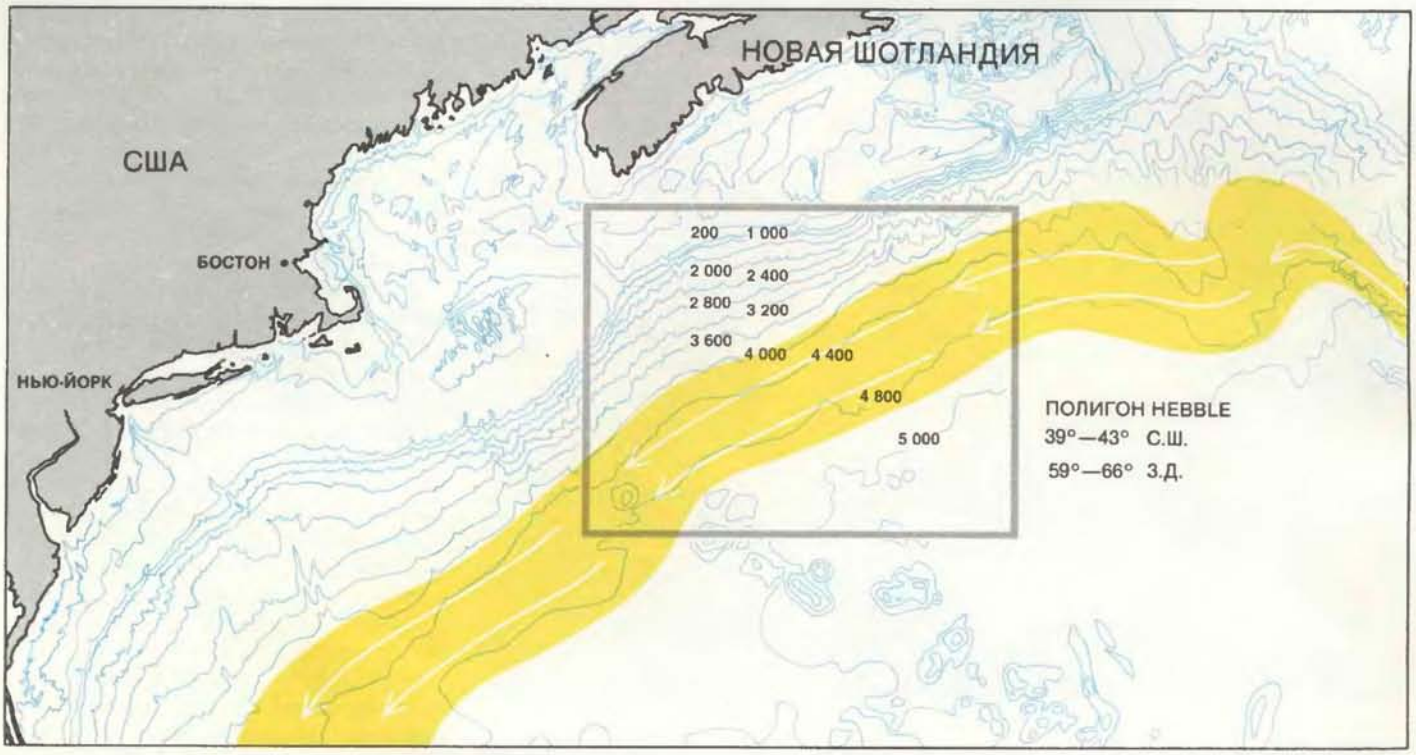
Несмотря на то что и Тихий и Атлантический океаны примыкают к Северному Ледовитому океану, приток глубинных холодных вод в первый из них незначителен, поскольку его северная часть связана с арктическими водами

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

СПОКОЙНЫЕ И АКТИВНЫЕ РАЙОНЫ океанского дна можно легко выделить по фотографиям. В спокойных районах (*слева*) поверхность дна сильно переработана донными организмами. Над морским дном на высоту до 10 см поднимаются тонкие трубочки, образованные фораминиферами. В районах сильных придонных течений (*справа*) морское дно размыто. Направление течения можно определить по скоплениям осадочного материала, образующимся с «подветренной» стороны мелких неровностей дна. Левая фотография сделана на материковом склоне на глубине 1000 м, правая — на материковом подножии у побережья Новой Англии на глубине 5000 м.

лишь через мелководный Берингов пролив, отделяющий Аляску от территории СССР. Кроме того, воды Тихого океана имеют меньшую соленость по сравнению с Атлантикой и поэтому быстрее замерзают под влиянием холодных субарктических ветров. В то же время расположенная подо льдом, слабо насыщенная солями вода не достаточно тяжела для того, чтобы опуститься на дно.

В АТЛАНТИЧЕСКОМ океане ситуация совершенно иная. Здесь имеются два значительных источника соленых вод: Мексиканский залив, воды которого переносятся на север Гольфстримом, и глубинный сток Средиземного моря. Воды Северной Атлантики перемещаются в поверхностном слое на север и попадают в Норвежское море, где охлаждаются, не замерзая, примерно до 0 °С, становятся более плотными и тонут. Достигнув дна, холодная



ОБЛАСТЬ МОРСКОГО ДНА, в пределах которой проводились исследования по программе HEBBLE, располагается у основания материкового подножия, с центром в 800 км к востоку от Бостона. Желтой полосой показаны холодные придонные течения, берущие начало вблизи Гренландии и в Норвежском море. Направленные к экватору, эти течения отклоняются к западу, прижимаясь к материковому склону Северной Америки, и поднимаются кверху. В периодически возникающих на полигоне HEBBLE бурях скорость течения увеличивается от фонового значения порядка 5 см/сек до 50 см/сек и более, что приводит к взмучиванию ила и глины.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

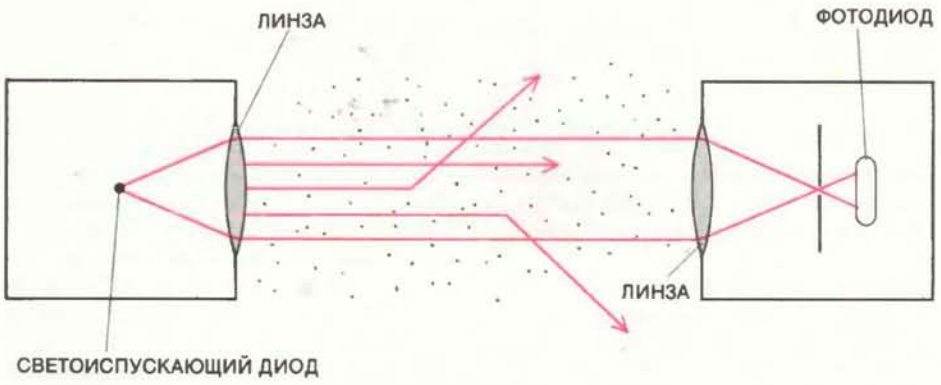
тяжелая вода меняет направление движения и течет назад в Атлантический океан, проходя через узкие, глубокие расщелины подводного хребта, соединяющего Гренландию, Исландию и Шотландию.

Ограниченные рельефом дна, большие массы этих глубинных вод движутся на юг, отклоняясь вправо, если смотреть по течению, — к материковой окраине Северной Америки — и формируют Западное пограничное глубинное течение. Впервые оно было обнаружено двадцать лет назад. По последним оценкам его перенос вдоль восточного побережья США составляет 10 млн.м^3 воды в секунду. Во время абиссальных бурь течение может увлекать с собой около тонны осадков в минуту.

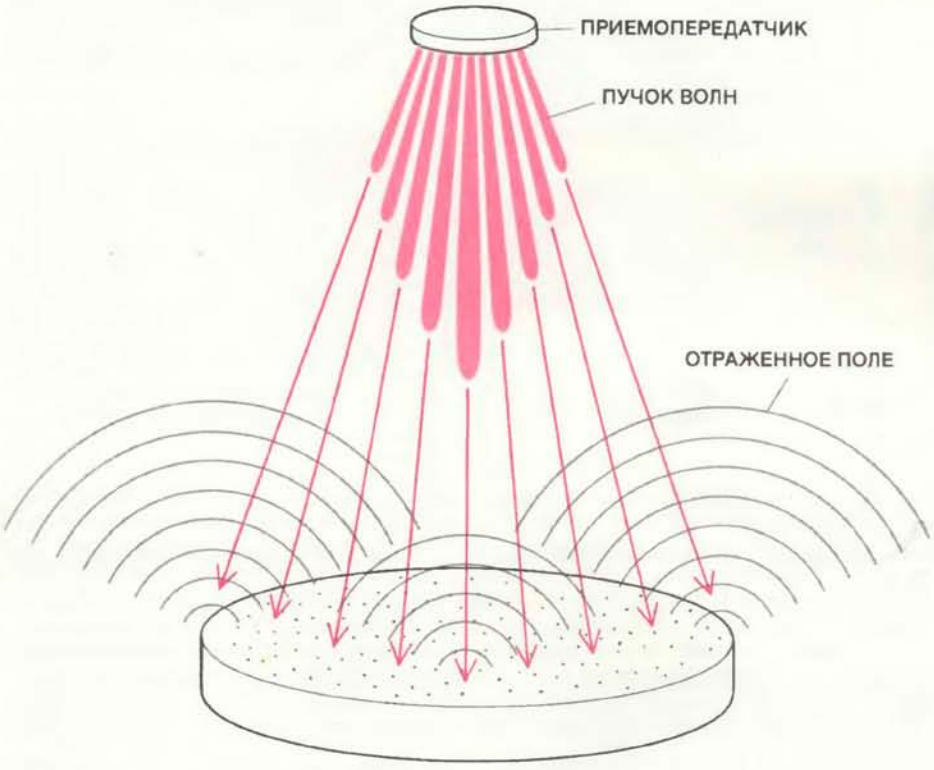
Основываясь на этих представлениях, можно взглянуть на Мировой океан и попытаться угадать, в каких областях могут существовать наносы отложенного течениями ила, видоизменяющиеся под воздействием абиссальных бурь. Понятно, что самые мощные наносы неорганических осадков и самые сильные придонные течения должны встречаться в Западной Атлантике. Подводные бури, вероятнее всего, могут возникать в высоких широтах на западных окраинах как Северной, так и Южной Атлантики. Это подтверждают и фотографии океанского дна в этих районах, поверхность и осадочный чехол которого формируются здесь под воздействием сильных придонных течений. Соответствующие осадочные слои образуют крупнейшие на планете наносы: до 200 км шириной, 1000 км длиной и 2 км толщиной. Замечательным примером является Блэк-Багамский внешний вал у Флориды. Возможно, что вообще рельеф материкового подножия в западной части Атлантического океана на глубинах от трех до пяти километров в значительной степени сформирован придонными течениями.

Глубоководное бурение показало, что еще 15—20 млн. лет назад придонные течения размывали большие участки дна в Западной Атлантике, но с тех пор бóльшую роль играет контролируемое течениями осадкообразование, которое приводит к формированию крупных наносов осадочного материала.

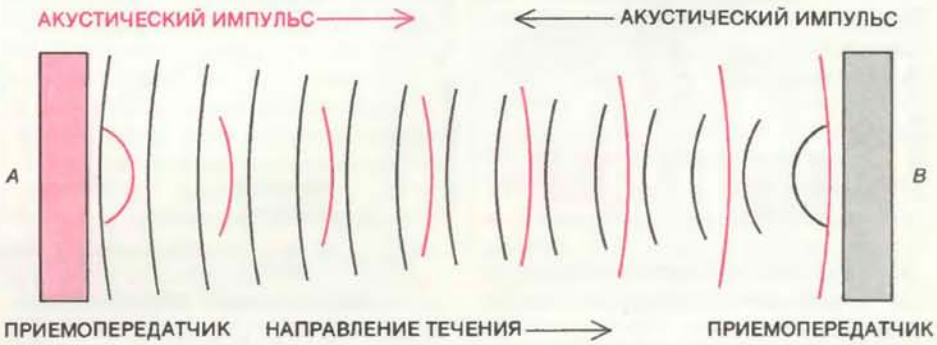
Придонные течения участвуют в распределении тонкозернистого материала также вдоль окраин Африки, Антарктиды, Австралии, Индии и Новой Зеландии. Во всех этих регионах образованию крупных наносов, главным образом биологического вещества, благоприятствует сочетание высокой биопродуктивности в зонах циркумполярной дивергенции и Антарктического циркумполярного течения. Хотя многие из этих наносов могут быть непосредственно и не связаны с подвод-



ПРОЗРАЧНОМЕР — один из приборов, использованный на полигоне HEBBLE. Количество света, попадающего на фотодиод, зависит от концентрации взвеси на пути светового пучка. В приборе используется излучение с длиной волны 600 нм.



АКУСТИЧЕСКИЙ РАДАР также позволяет определять концентрацию частиц в придонном слое. Прибор посылает акустические импульсы и измеряет интенсивность звуковых волн, отраженных от частиц взвеси в данном объеме воды.



СКОРОСТЬ ПОТОКА И ТУРБУЛЕНТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ могут быть рассчитаны по времени, которое требуется акустическому импульсу для прохождения определенного расстояния. Участники программы HEBBLE назвали показанный здесь схематически прибор придонным акустическим измерителем напряжений. Если поток течет слева направо, то акустический импульс будет проходить путь от *A* до *B* быстрее, чем от *B* до *A*. Разница во времени дает скорость жидкости. Так называемые напряжения Рейнольдса определяются по измерениям в двух перпендикулярных друг другу направлениях.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NARODRU

ными бурями, можно утверждать, что обширные области океанского дна изменяются в результате перемещения осадочного материала глубинными течениями. Основная роль периодически возникающих бурь может состоять во взмучивании осадка, который захватывается и переносится более слабыми, но более стабильными течениями.

ИЗМЕРЕНИЯ с помощью приборов, установленных на дне, дополнили важными деталями интуитивную картину явлений эрозии, переноса и переотложения осадков, которые трудно воспроизвести в лаборатории. В общих чертах можно говорить о том, что движущаяся вода воздействует на дно, создавая напряжения трения, которые в конечном итоге вызывают перемещение тонкозернистого материала и формирование градационных слоев. Стационарное течение над горизонтальным дном имеет характерную структуру. Граничащий с поверхностью дна слой молекул воды «прилипает» к нему и не двигается. Если скорость течения невелика и дно ровное, то следующим будет располагаться тонкий ламинарный слой воды, движение в котором определяется силами вязкости. На расстоянии порядка одного сантиметра от дна, где инерционные силы превышают силы вязкости, преобладает турбулентное перемешивание.

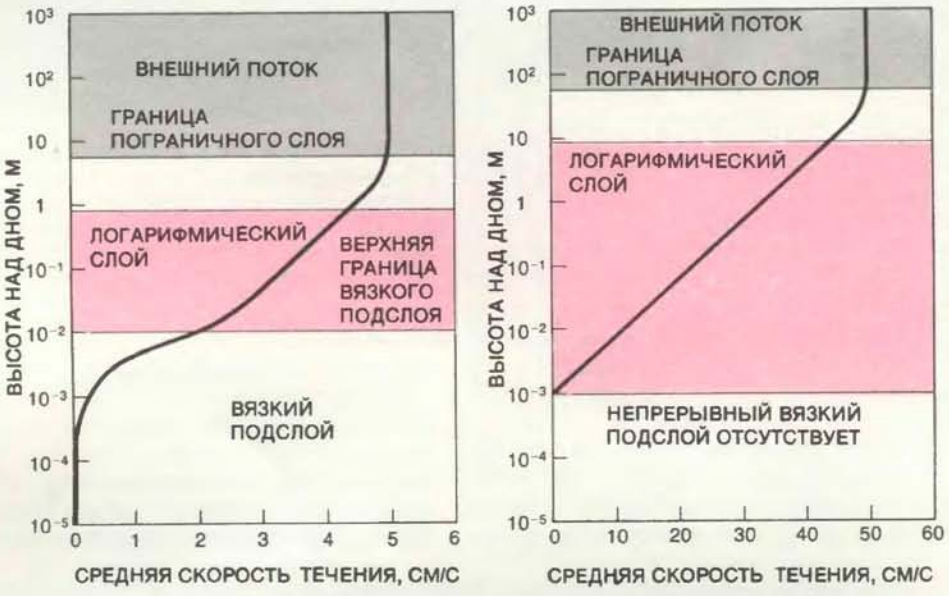
Внутри вязкого слоя, если только он существует, скорость течения линейно растет с высотой над дном. Выше, в нижней части турбулентного слоя, которая имеет толщину несколько метров, идет интенсивное перемешивание и скорость с высотой растет экспоненциально. Эта область носит название «логарифмического слоя», поскольку зависимость между скоростью и высотой на графике получается линейной в том случае, если значения скорости откладываются на оси в линейном, а высоты над дном — в логарифмическом масштабе. Перемешивание соли, тепла и взвеси в этом слое происходит очень быстро.

На крупномасштабные движения воды оказывает влияние сила Кориолиса. В придонном течении вышележащие слои тормозятся за счет трения о нижележащие слои, которые движутся с меньшими скоростями. Совместное влияние трения и силы Кориолиса приводит к тому, что вектор скорости течения в придонном слое разворачивается с высотой над дном, образуя так называемую спираль Экмана (существование ее впервые было предсказано шведским океанографом В. Экманом). Сдвиг скорости в придонном слое и является тем источником, который поддерживает турбулентное перемешивание.

Влияние трения о дно прослеживается в слое толщиной порядка 100 м. Он называется придонным перемешанным слоем, поскольку вода в нем перемешана до однородного состояния за счет турбулентности. Его толщина ограничена вследствие определенной скорости диссипации турбулентной энергии — процесса, который извлекает энергию из среднего потока. На некоторой высоте над дном, которая пропорциональна средней скорости потока вне придонного слоя и силе Кориолиса, величина сдвига скорости уже не достаточна для подпитки турбулентного перемешивания выше фонового уровня, характерного для океана.

Эта высота определяет предел толщины пограничного слоя. В отличие от атмосферы вертикальное распределение плотности в придонном слое или нейтральное, или даже в слабой степени устойчивое (несколько более соленая и холодная вода располагается внизу). Поэтому в противоположность условиям в атмосфере в придонном слое возмущения не растут. Устойчивая стратификация препятствует увеличению толщины перемешанного слоя, поскольку требует бóльших затрат энергии на перемешивание.

Эрозия может происходить только за счет той энергии, которая достигает морского дна. Чем больше расчленен

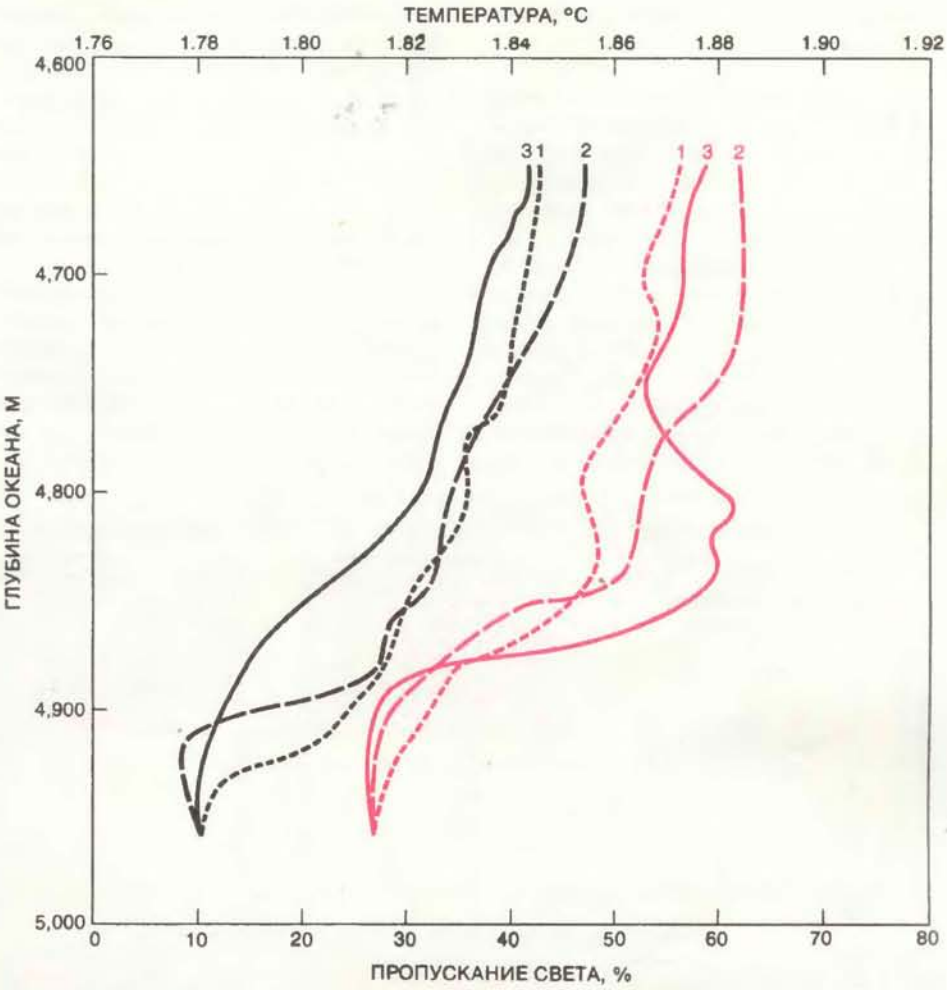


ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДНЫХ МАСС, такие, как соленость, температура и концентрация взвеси, хорошо «перемешаны» в «логарифмическом» слое, где средняя скорость зависит линейно от логарифма высоты над дном. При слабом течении над ровным дном (*слева*) движение в тонком придонном слое носит вязкий, или ламинарный, характер. Если скорость течения велика или дно неровное (*справа*), то логарифмический слой занимает всю толщу от одного миллиметра до 10 м над дном.

ПОДВОДНЫЕ БУРИ влияют на придонное распределение солености, температуры и концентрации взвеси. Соленость и температура реагируют одинаково и представлены одной кривой (*слева*). В типичных условиях (*черная линия*) они возрастают линейно с высотой над дном; исключение составляет нижний однородный слой толщиной около пяти метров. При буре (*цветная линия*) поток энергии достаточен для того, чтобы увеличить перемешанный слой до 60—70 м. Выше находится переходная зона толщиной около 30 м. Влияние подводной бури на концентрацию взвеси в придонном слое иллюстрирует правый рисунок. Черной линией даны нормальные условия, цветной — условия при буре.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

мелкомасштабный рельеф дна и чем больше скорость придонного течения, тем большие напряжения трения действуют на донные осадки. Эрозионный процесс начинается, когда сдвиг скорости превосходит некоторую критическую величину, затем его интенсивность растет экспоненциально с увеличением сдвига. Как только осадки поднимаются с морского дна, на них начинают действовать две противоположные силы: турбулентная диффузия, которая увлекает их вверх, и сила тяжести, которая заставляет их опускаться на дно. Чем больше скорость осадконакопления, тем больше градиент концентрации взвесей вблизи дна. Чем больше скорость течения и чем более изрезано дно, тем более однородна концентрация взвесей над дном. Глубоководные осадки состоят в основном из глин и тонких илов, размеры частиц которых не превышают 30 мкм. Столь маленькие частицы осаждаются так медленно, что при наличии умеренных течений концентрация осадка по всему придонному перемешанному слою остается почти однородной. Поэтому, поднятые интенсивными абиссальными бурями, они могут переноситься сравнительно слабыми течениями на большие расстояния.



БЫСТРЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ температуры (*черные линии*) и прозрачности (*цветные линии*) воды в течение часа были зарегистрированы на полигоне HEBBLE во время подводной бури. Естественно, что прозрачность воды является показателем концентрации взвеси. Зондирование осуществлялось с дискретностью 20 мин.

У ТОНКОЗЕРНИСТЫХ осадочных частиц отношение площади их поверхности к объему очень велико, вследствие чего они весьма эффективно адсорбируют растворенное в воде вещество. У придонных глин, например, эффективная поверхность частиц составляет от 10 до 100 $м^2$ на грамм осадка. Среди материала, подхватываемого придонными течениями, находятся как естественные, так и искусственные изотопы химических элементов. Если и скорость поступления изотопов из естественных источников радиоактивности и скорость осадконакопления приблизительно постоянны, что представляется вероятным для многих изотопов, то распределение радиоактивности с глубиной в осадочном слое может служить временно́й шкалой для оценки скоростей осадконакопления.

Концентрация адсорбированных радиоактивных изотопов (при условии, что осадки после отложения не перемешиваются) должна экспоненциально уменьшаться с глубиной, причем величина этого уменьшения для каждого изотопа будет обратно пропорциональна периоду его полураспада. Природные изотопы, которые обычно используются в такой «осадочной хронологии», имеют периоды полураспада от 24,1 суток (торий-234) до 5730 лет (углерод-14). Для абсолютной датировки осадочных слоев полезно использовать и некоторые радиоактивные изотопы, возникшие при ядерных взрывах в атмосфере. Это цезий-137 (период полураспада 30,1 лет), плутоний-239 (24 000 лет) и плутоний-240 (6580 лет).

Несмотря на то что эффект перемешивания осадков затрудняет оценку действительной скорости седиментации, тем не менее кое-какие выводы сделать можно. В большинстве типов осадочных слоев, практически на всех глубинах океана перемешивание верхнего слоя толщиной около 10 см идет более или менее постоянно за счет жизнедеятельности организмов, роющих в осадках норы и добывающих в них пищу. Обитающие на дне организмы участвуют также в создании микрорельефа дна и выделяют биологический «клей» (слизь), что влияет как на величину трения в придонном слое, так и на его эффективность в эрозионных процессах. Большинство из животных, живущих на дне, питаются, как и обыкновенные земляные черви, переработанными бактериальными и другими органическими компонентами осадков.

Плотность скоплений таких организмов в целом уменьшается с глубиной и с расстоянием от берега, в точности повторяя картину распределения скоростей седиментации. Чистая скорость аккумуляции осадков обычно уменьшается от нескольких сантиметров за 1000 лет (на глубинах до 1000 м) до нескольких миллиметров за 1000 лет (в глубоком океане). Продуманный выбор радиоактивных изотопов с подходящими периодами полураспада позволяет оценить как глубину слоя, перемешиваемого живыми организмами, так и интенсивность этого перемешивания. Два изотопа с различными периодами полураспада, как правило, не дают одинаковых профилей вертикального распределения в условиях постоянного биологического перемешивания.

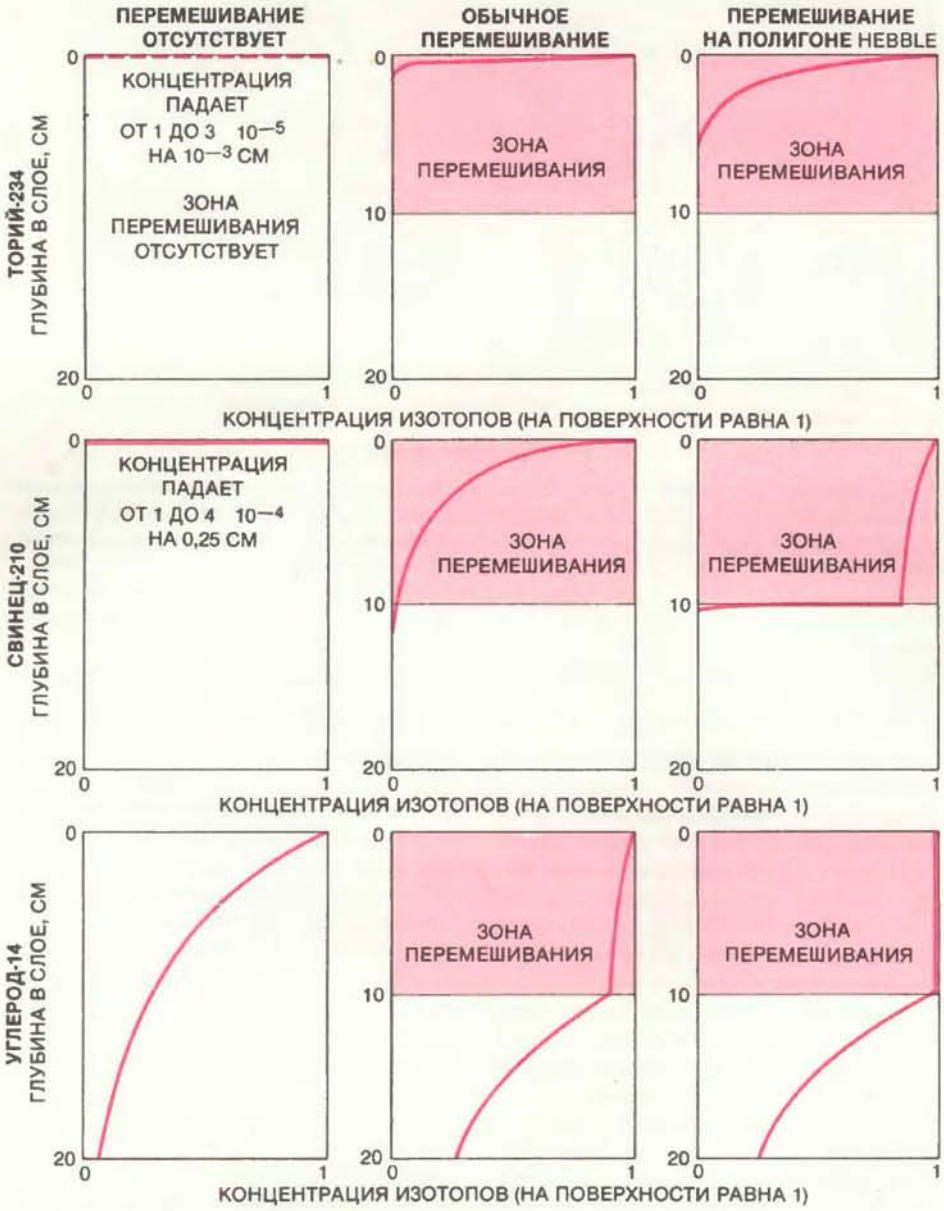
На временных шкалах радиоактивных изотопов, применяемых в стратиграфии, механическая эрозия и переотложение осадков являются почти мгновенными событиями. Поэтому по всей мощности переотложенного слоя концентрации этих изотопов должны быть постоянными. Таким образом, появляется возможность оценить глубину слоя, который подвергается воздействиям подводных бурь, а сравнивая профили двух или более изотопов, разделить эффекты «мгновенного» механического перемешивания и более

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

стабильного биологического перемешивания.

Возможности такой интерпретации, однако, ограничены тем обстоятельством, что при механическом переотложении часто накапливаются градационные слои частиц, имеющих различную скорость осаждения, причем частицы, обладающие меньшей эффективной площадью поверхности, адсорбируют и меньше изотопов. Кроме того, трудно получить образцы осадка сразу же после бури, а между тем биологическое перемешивание, как правило, стирает ее «следы». Заключение об этом перемешивании можно сделать по наличию на дне фекальных холмиков, а также следов ползающих донных организмов. Поскольку их деятельность быстро разрушает образованные течениями формы микрорельефа, можно сделать вывод, что некоторые структуры (например, рябь), различаемые на фотографиях дна, не являются древними образованиями, а возникли сравнительно недавно.

Проводить любого рода измерения на больших глубинах всегда трудно. Приборы, используемые для наблюдений за сильными подводными бурями, должны быть не только достаточно прочными, чтобы выдерживать давление около 500 атмосфер, но и достаточно массивными, чтобы придонные течения не могли снести их. Для регистрации подводных бурь и их последствий программа HEBBLE предусматривала создание надежных приборов, измеряющих следующие параметры: скорость и турбулентные напряжения в потоке, которые приводят к взмучиванию осадков, концентрацию осадка в воде, а также температуру и соленость воды. Последние две величины позволяют рассчитать плотность отдельных водных масс и определить их происхождение. Фотографирование, выполняемое через определенные промежутки времени, показывает, как изменяется микрорельеф морского дна после бури. Влияние бурь на биологические и химические характеристики осадка определяется на основе анализа образцов, собранных грунтовыми трубками.

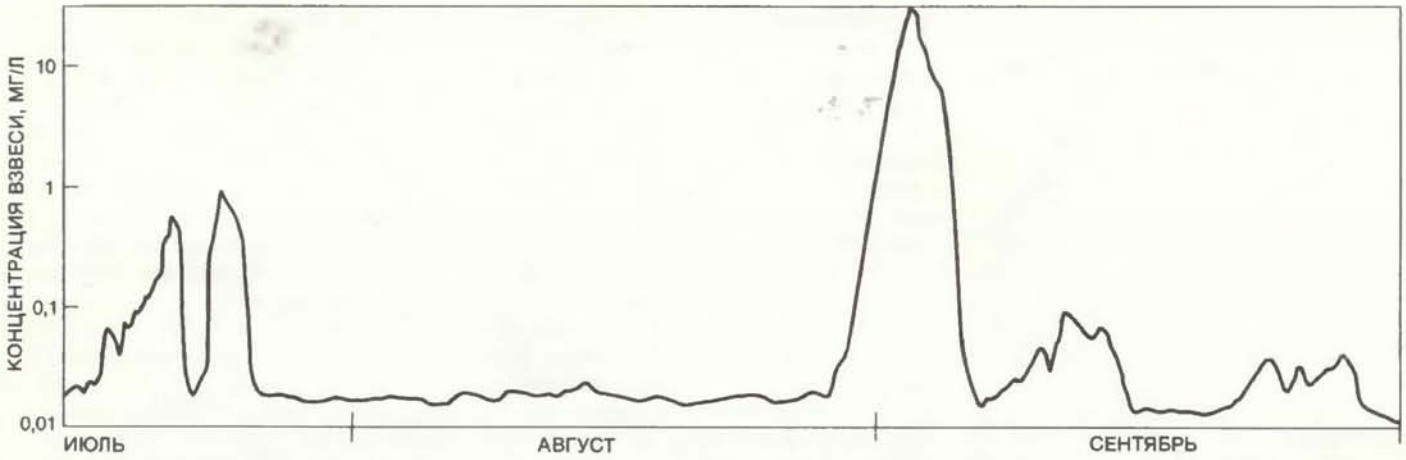


РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ в осадках указывает на интенсивность перемешивания за счет течений и донных организмов. Девять кривых для трех изотопов с существенно различными периодами полураспада показывают распределение изотопов с глубиной в трех случаях: перемешивание отсутствует (*слева*), перемешивание идет с типичной для глубин океана скоростью (*посередине*), скорость перемешивания в 100 раз превосходит обычную, как на полигоне HEBBLE (*справа*). Период полураспада тория-234 равен 24,1 суток, свинца-210—21 году, углерода-14—5730 годам. Предполагается, что осадки накапливаются со скоростью 1 см за 1000 лет.

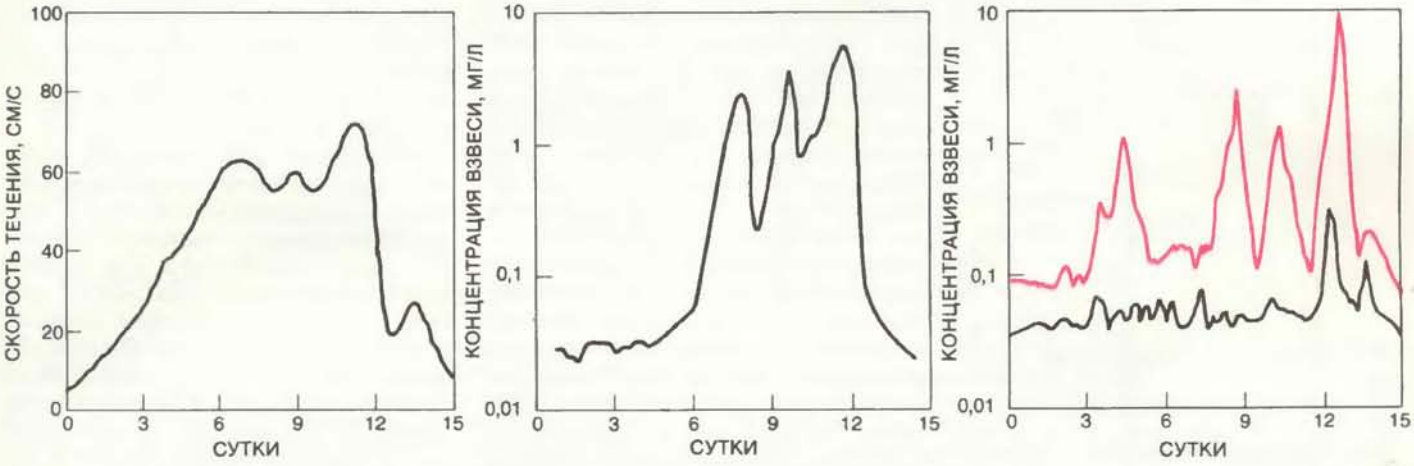
Для измерений скоростей течения мы использовали вертушку, сходную по конструкции с теми анемометрами, которые измеряют скорость ветра в аэропортах, но только более массивную. Она регистрирует скорость и направление течения, осредненные за выбранный промежуток времени. Шесть или семь измерителей течений размещаются на вертикальном тросе, заякоренном на дне и удерживаемом в натянутом положении поплавками. Вся система может быть возвращена на поверхность по акустическому сигналу, который приводит в действие механизм отделения якоря. Величина турбулентных напряжений в потоке рассчитывается по изменению времени, которое требуется звуковому импульсу для прохождения известного расстояния. Прибор, основанный на этом принципе, разработан У. Уильямсом из Вудс-Холского океанографического института. Он измеряет три компоненты скорости пять раз в секунду, что дает возможность вычислить флуктуации скорости, вызванные турбулентностью.

Измерять температуру и соленость вблизи морского дна довольно трудно, поскольку вариации этих характеристик очень малы: как правило, меньше 0,05 °С и 0,1‰ соответственно. Температура определяется с помощью тщательно калиброванных термисторов, а соленость — по электрической проводимости воды. Концентрация взвешенных осадков может быть измерена непосредственно — для этого нужно просто отбирать пробы воды. Однако для непрерывных наблюдений, продолжающихся в течение нескольких дней или недель, мы использовали акустические и оптические методы. Скопления взвешенных осадков можно найти по отражению высокочастотных звуковых волн. А ослабление света в таких скоплениях определяется концентрацией взвеси.

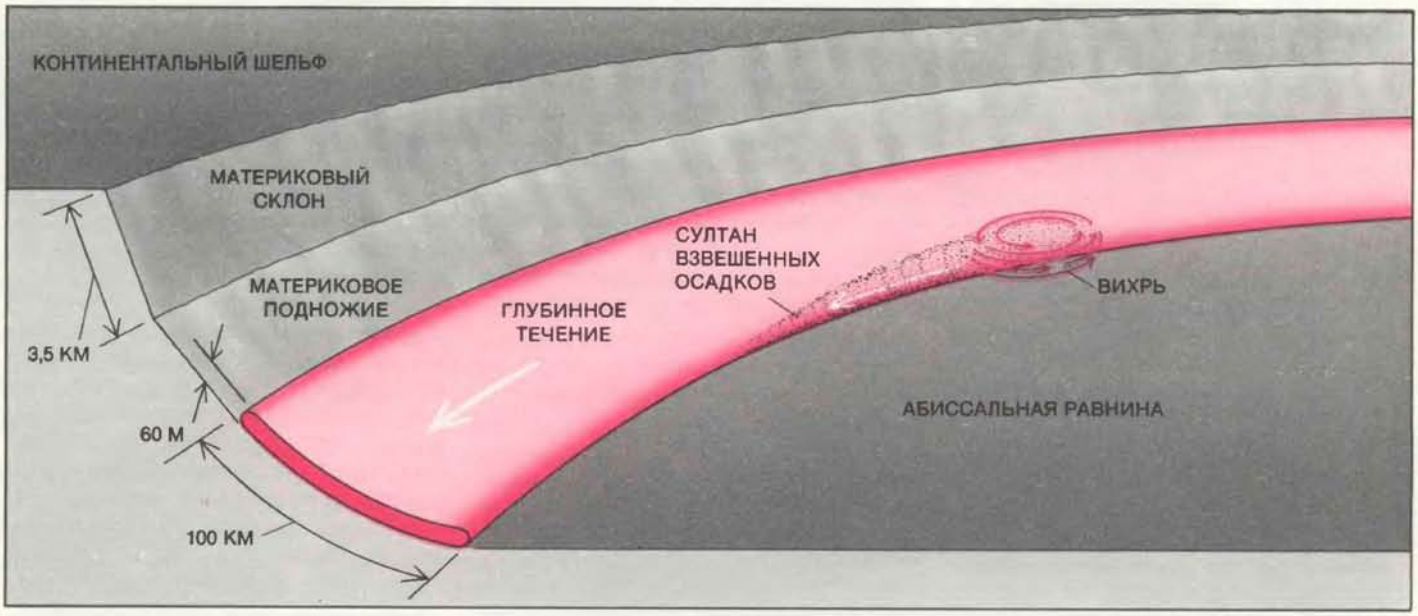
WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU



КОНЦЕНТРАЦИЯ ОСАДКОВ на высоте 1 м от дна меняется примерно в 1000 раз в течение 10 недель на полигоне HEBBLE. Максимумы концентрации приходятся на сильные бури в конце июля и начале сентября.

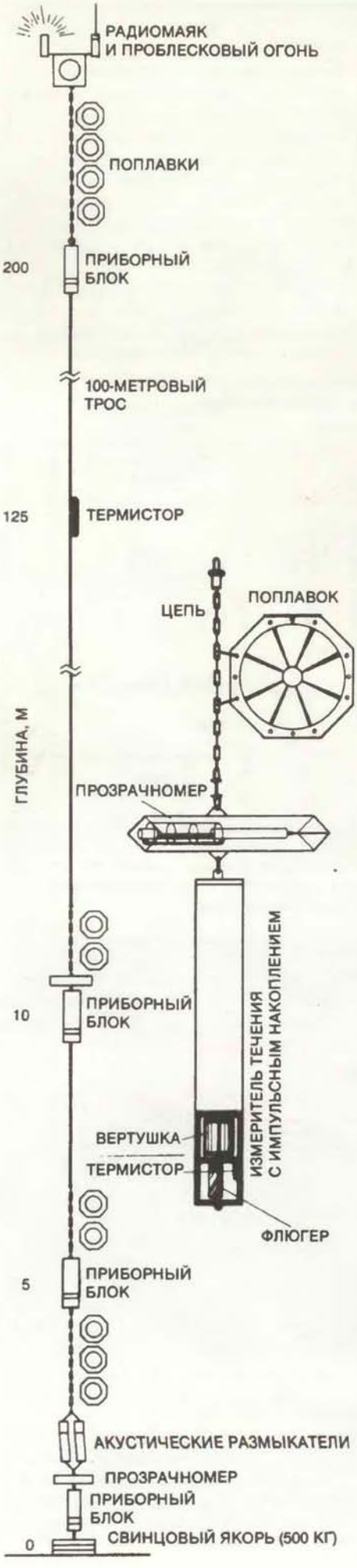


ВО ВРЕМЯ БУРИ, продолжающейся около недели, скорости придонного течения (*слева*) увеличивались временами почти в десять раз, превышая иногда 60 см/сек. При этом максимальная концентрация взвеси в потоке превышала в 100 раз фоновый уровень (*посередине*). Наблюдения над короткопериодными возмущениями, проведенные с помощью прозрачномера (*справа*), показывают, что концентрация взвеси на высоте 2 м от дна (*черная линия*) испытывает быстрые флуктуации; на высоте 0,5 м (*цветная линия*) интенсивность флуктуаций еще больше.



МЕЗОМАСШТАБНЫЙ ВИХРЬ схематически изображен в процессе взаимодействия с абиссальным течением, направленным на юг вдоль основания материкового подножия. Под действием силы Кориолиса течение прижимается к подножию. Такие вихри, проявляющиеся в виде подводных бурь, по-видимому, коррелируют с вихрями Гольфстрима, выходящими на поверхность. Глубинный вихрь имеет форму эллипса с большой осью около 30 и малой, вероятно, порядка 5 км; его «толщина» не установлена. Совместное влияние вихря и глубинного течения вызывает эрозию морского дна, в результате которой взмученный ил переносится течением и переотлагается, образуя наносы осадков.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU



ЗАЯКОРЕННАЯ СИСТЕМА, используемая для изучения придонных течений по программе HEBBLE, обычно несет семь приборных блоков для измерения скорости течения, температуры и прозрачности воды (показателя концентрации взвеси) на расстояниях от дна 1, 5, 10, 30, 60, 125 и 200 м. Поплавки находятся на высоте около 210 м от дна. Системы устанавливаются на расстояниях от 5 до 100 км друг от друга. Они могут быть возвращены на поверхность по акустическому сигналу, приводящему в действие механизм отделения якоря.

ПОДРОБНАЯ съемка дна обеспечивается стереокамерой с высокой разрешающей способностью. Большие площади дна могут картироваться с помощью локатора бокового обзора, буксируемого на высоте 50 метров над дном. Из других приборов, применяемых для исследований течений и морского дна, назовем лазерный измеритель скорости, основанный на использовании эффекта Допплера. Он разработан Й. Агравалом из Вудс-Хола. Прибор непрерывно определяет скорость потока в 50-сантиметровом слое у дна, сканируя его лазерным лучом. Измеряемой величиной является сдвиг частоты света, отраженного от движущейся воды; этот сдвиг частоты зависит от скорости потока.

В 1979 г., используя описанные приборы, мы начали исследовать глубинные течения на полигоне HEBBLE в Северной Атлантике. Во время подводных бурь скорость придонного течения зачастую увеличивалась от 5 до 50 см/с и даже больше. Одновременно с этим концентрация взвешенного осадка повышалась в 10 — 100 раз. На поверхности взмученного слоя наблюдался характерный изменяющийся рисунок, напоминающий пятнистую структуру дождевых туч. Временной масштаб изменчивости когерентных структур рисунка составлял около 20 мин, что соответствует линейным масштабам 500 м. Это примерно в 10 раз больше толщины перемешанного придонного слоя во время бури. Лабораторные эксперименты показали, что 500 м является характерной величиной для крупномасштабной турбулентности в пограничном слое. Во время бури интенсивность локального перемешивания вблизи морского дна резко возрастает, поток турбулентной энергии через пограничный слой увеличивается, что способствует поддержанию осадка во взвешенном состоянии.

Бури, которые мы наблюдали, длились обычно от нескольких дней до двух недель, причем по их окончании скорость течения резко падала примерно до 5 см/с, а поверхность слоя взвеси опускалась. Скорость уменьшения концентрации взвешенного осадка свидетельствует о том, что все частицы, за исключением самых мелких, осаждаются быстрее, чем можно ожидать, исходя из их индивидуальных скоростей седиментации, что, очевидно, связано с коагуляцией частиц в облаке взвеси. Подводные бури так же трудно предсказать, как и атмосферные. Довольно странно, что циркуляция глубокого океана фактически не имеет больших сезонных колебаний, чем отличается от циркуляции в атмосфере. В настоящее время можно говорить лишь о том, что подводные бури возникают, вероятно, раз в два или три месяца.

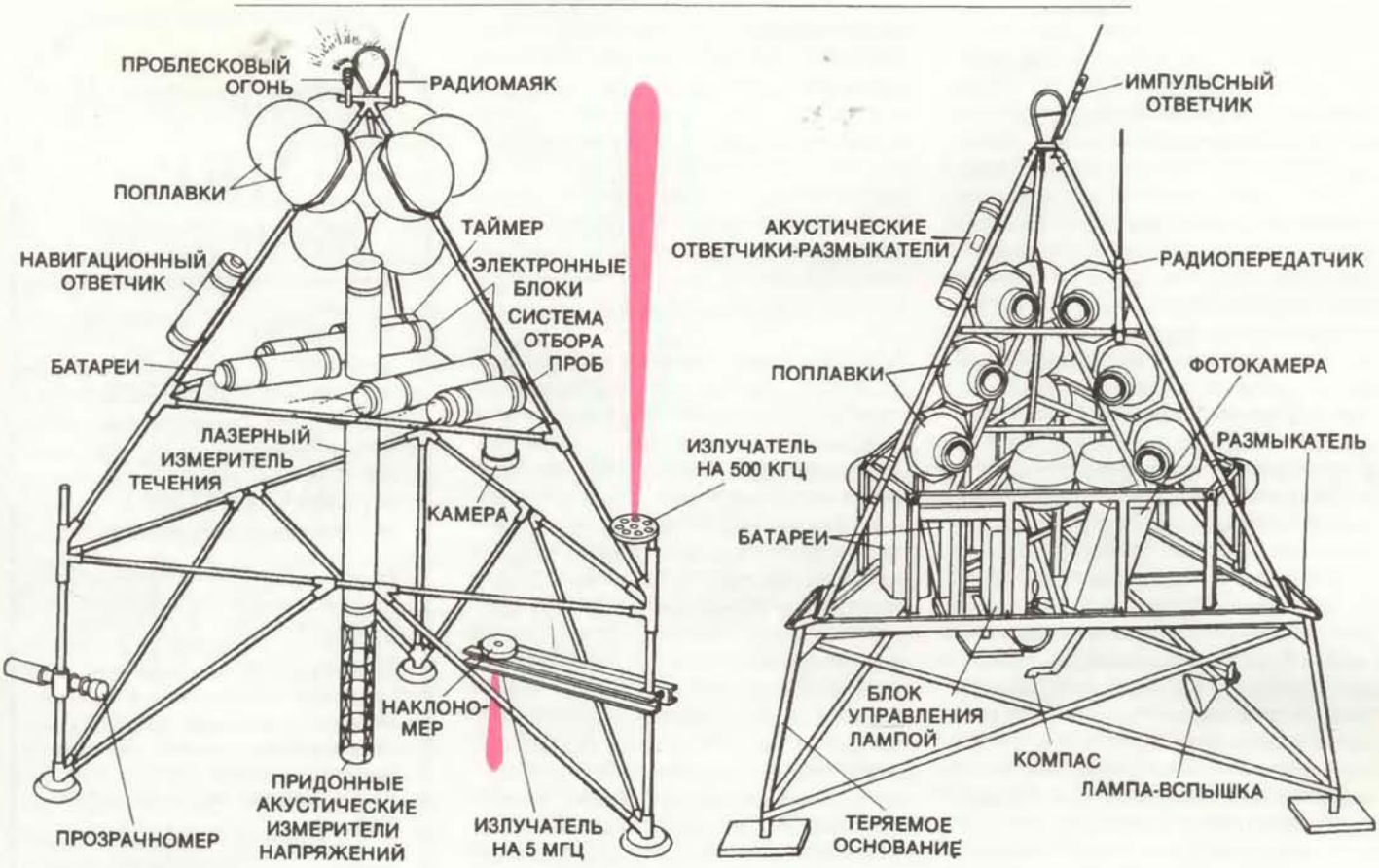
Турбулентность, которую они генерируют в пограничном слое, обусловливает высокую скорость диссипации энергии — до 0,01 Вт/м^2. Бóльшие значения достигаются только в мелководных эстуариях и на шельфе, где сильное волнение и течения взаимодействуют вблизи дна. Откуда же берется эта энергия?

Существуют два источника: первый — это почти постоянная термохалинная циркуляция. Второй, по-видимому, связан с вихрями, отрывающимися от Гольфстрима. Дж. Уэтерли из Флоридского университета собрал свидетельства, которые указывают на тесную связь между теплыми вихрями Гольфстрима и бурями, возникающими на глубине 5 км на полигоне HEBBLE. Если эта связь распространяется и на другие районы океана, то появляется возможность использовать карты распределения вихрей, построенные по данным спутниковых измерений вариаций уровня океана, для выявления районов, где подводные бури могут вызывать эрозию морского дна.

В БЛИЖАЙШЕМ будущем в сотрудничестве с Н. Хоггом из Вудс-Хола мы надеемся разместить сеть измерителей течений на достаточно большой области, для того чтобы непосредственно оценить временны́е и пространственные масштабы вихрей, воздействующих на дно. Отдельные исследования мутности воды, выполненные Дж. Заневельдом и Х. Паком из Орегонского университета, показывают, что мутьевые облака, рожденные подводными бурями, простираются на расстояния до 30 км. Эта величина, вероятно, близка к масштабам глубинных вихрей. Аналогичные оценки поперечного (относительно течения) масштаба бурь отсутствуют. Скорее всего, он меньше 30 км, из-за того что вихри имеют тенденцию несколько вытягиваться по направлению течения.

Несмотря на то что прохождение мутьевых облаков явно регистрируется приборами, нельзя говорить о том, что в данной точке в данный момент времени происходит только эрозия или только осадконакопление, или же что обмен

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU



ДВА ВИДА ПРИБОРНОЙ ТРЕНОГИ разработаны участниками программы HEBBLE для детальных исследований придонных течений и рельефа морского дна. Тренога, изображенная слева, несет три измерительные системы. Акустический датчик напряжений определяет скорость и турбулентные напряжения в течении, измеряя время, которое требуется звуковому импульсу для прохождения определенного расстояния. Лазерный измеритель скорости определяет скорость течения по допплеровскому смещению частоты света, отраженного от движущихся частиц. Третья система служит для определения концентрации взвеси по отражению акустических волн двух частот — 5 МГц и 500 кГц. Тренога, показанная справа, несет стереокамеру с высокой разрешающей способностью, которая делает снимки через каждые 30 мин. Треноги возвращаются на поверхность по акустическому сигналу.

вообще незначителен. Например, интенсивная кратковременная эрозия может полностью компенсироваться осадконакоплением. Наиболее плотные взвеси, замеченные на полигоне HEBBLE, содержали 12 мг твердого вещества на литр, что примерно в 250 раз превышает типичные значения в глубинных слоях. При толщине мутьевого слоя 60 м взвешенные частицы, осаждаясь быстро и равномерно, образовали бы слой толщиной полсантиметра. Или, смотря на это с другой стороны, можно сказать, что мутьевой поток шириной 5 км переносит через поперечное сечение бури 6 т осадков в минуту.

Слой осадков толщиной полсантиметра, который мог бы образоваться на дне на полигоне HEBBLE в результате прохождения бури, соответствует количеству материала, нормально осаждавшемуся в течение 500 лет. Такая скорость осадконакопления получена по данным измерений долгоживущих радиоактивных изотопов и находится в соответствии с другими оценками, выполненными на материковом подножии. Распределение короткоживущих изотопов в осадках на полигоне HEBBLE рисует, однако, совершенно иную картину. Цезий-137, образовавшийся всего 30 лет назад при ядерных взрывах в атмосфере, находился глубже 12 см. Торий-234 с периодом полураспада всего лишь 24,1 суток был обнаружен на глубине более 7 см от поверхности дна.

Эти исследования, проведенные Д. де Мастером и Ч. Нитруэ из Университета шт. Сев. Каролина, дают основание предполагать, что на полигоне HEBBLE скорости перемешивания осадков в 100 раз выше, чем в типичных спокойных абиссальных областях. Подводные бури и живущие на дне организмы, по существу, помогают друг другу, создавая интенсивное перемешивание постепенно накапливающихся осадков. Относительный вклад обоих факторов еще предстоит оценить, но предварительные данные показывают, что перемешивание за счет бурь имеет большее значение. Организмы ведут, по-видимому, достаточно малоподвижный образ жизни и хорошо приспособились к тому, чтобы не рыться в осадках в поисках пищи, а извлекать питательные вещества из движущегося потока воды.

ПРОГРАММА HEBBLE была нацелена главным образом на наблюдения, а не на эксперименты. Полученная в результате исследований схема связей между силой течения и процессами эрозии и осадконакопления должна быть проверена в экспериментах, которые призваны решить, можно ли принять эту схему или необходимо заменить ее более точной. В настоящее время особенности процессов эрозии и осадконакопления хорошо известны только для мелководных песков. То, как ведут себя глубоководные илы под действием течений, зависит и от придонного напряжения трения и от деятельности донных организмов, которые изменяют микрорельеф и степень прилипания воды ко дну. Поскольку эти явления не доступны лабораторному моделированию, необходимы натурные наблюдения. Только эксперименты in situ могут выявить сложные взаимные связи между силой течения, скоростью эрозии и ее глубиной, скоростью осадконакопления и распределением радиоактивных изотопов.

С этой целью один из наших коллег из Вудс-Хола, К. Уинджет, сконструировал специальное устройство, уста-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

навливаемое на дне. Оно будет создавать циркуляцию в придонном слое с различными, но постоянными скоростями течения на открытом и ограниченном участке морского дна. Напряжение трения может регулироваться и вместе с концентрацией частиц, подхваченных циркулирующим потоком, будет измеряться специальным лазерным анемометром, который регистрирует допплеровское смещение света, рассеиваемого движущимися взвешенными частицами. Эксплуатацию прибора, названного Sea Duct (Морская труба), планируется начать в этом году.

ОСОЗНАНИЕ того, что абиссальные течения могут захватывать и перераспределять осадочный материал, заставляет геологов пересмотреть представления о том, где следует искать месторождения нефти. Считается, что образование больших скоплений нефти требует выполнения определенных геологических условий, а именно: наличия осадочного источника нефти, пористых пород, служащих для нефти резервуаром, и своего рода дамбы, или ограничивающей структуры. Источником может служить органический углерод, которым богаты мелкозернистые осадки. На роль резервуара годятся пористые, проницаемые породы, такие, как песчаники. Наконец, разнообразные геологические структуры представляют дамбы для нефтяных «озер».

Согласно общепринятой точке зрения, главной силой, действующей на осадочный материал, является сила тяжести. Долгое время считалось, что осадки перемещаются только вниз по склону. Хотя это, вероятно, справедливо для грубых песков и гравия, тонкозернистый материал, как оказалось, может переноситься придонными течениями на значительные расстояния. По-видимому, бóльшая часть органического вещества, из которого образуется нефть, сосредоточена главным образом в поверхностных водах. Когда такой материал осаждался в прошлом на дно в западных частях древних океанских котловин, он мог переноситься вдоль их границ, т.е. ровно под углом 90° к направлению, которое принято рассматривать как единственно возможное.

Считается, что для преобразования органического вещества в нефть необходимо наличие по крайней мере одного из двух условий. Или скорость аккумуляции осадков должна быть высокой, или концентрация кислорода в придонной воде — низкой, так чтобы осадки не успевали окисляться. Если бы геологи-нефтяники могли узнать, в каких местах в прошлом выполнялось хотя бы одно из этих условий (а лучше оба), то они значительно облегчили бы себе задачу поиска месторождений нефти. В областях, где абиссальные бури обусловливают высокие скорости аккумуляции осадков, богатых органическим веществом, вероятно образование насыщенных нефтью пород. Таким образом, «двигаясь» вниз по древнему склону, геологи могли бы искать грубозернистые породы, пригодные на роль резервуара, а «двигаясь» в направлении древних течений — наносы, которые образованы осадками, богатыми углеродом.

НОВЫЕ представления о подводных бурях имеют непосредственное практическое значение для инженеров, отвечающих за прочность и безопасность кабелей и сооружений, размещаемых на морском дне. Подводные фотографии показывают, что течения могут вымывать осадки из-под морских кабелей, так что те провисают между неэродированными участками дна. Известны случаи, когда вибрация кабеля в течении приводила к его разрыву.

Подводные бури создают проблемы и для тех, кто занимается вопросами противолодочной защиты. Шум, который генерируют сильные бури, является помехой для пассивных акустических приемников, размещенных на дне и предназначенных для обнаружения подводных лодок. В принципе можно настроить шум лодки так, чтобы он был похож на шум бури, и тогда обнаруживать подводные лодки в столь динамичном районе, как западная часть Северной Атлантики, станет чрезвычайно трудно.

Вероятно, наиболее важный вопрос, который возник в связи с обнаружением подводных бурь, состоит в том, как они могут влиять на токсичные отходы, сбрасываемые на дно. Перед тем как выбрать место для свалки отходов, необходимо получить надежный долгосрочный прогноз гидрологической обстановки на выбранном участке дна. Если требуется захоронить отходы, то это должен быть район, где перенос осадков незначителен. Если же, напротив, нужно, чтобы отходы рассеялись в воде, то больше подойдут районы частого возникновения бурь. В любом случае необходимо иметь в виду, что часть токсичных отходов легко адсорбируется мелкими взвешенными частицами и может попадать с пищей в ткани придонных организмов. Этим замечанием мы и завершим перечень некоторых из вопросов, возникших в результате наших исследований абиссальных течений и бурь в одном из уголков Мирового океана.

Издательство **МИР** *предлагает:*

Э. Гааль, Г. Медьеши, Л. Верецкеи

ЭЛЕКТРОФОРЕЗ В РАЗДЕЛЕНИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ МАКРОМОЛЕКУЛ

Перевод с английского

Развитие современной биологии в значительной мере обязано новым методам исследования. Среди них важнейшую роль играет метод электрофореза, получивший в последнее время необычайно широкое распространение. Электрофорез позволяет быстро и эффективно разделять сложные смеси макромолекул.

В монографии известных венгерских специалистов последовательно рассмотрены теоретические и методические основы электрофореза, зональный электрофорез, электрофорез в гелях, новые виды электрофореза (изоэлектрическое фокусирование и изотахофорез), выявление и количественное определение молекул на электрофореграммах, техника и особенности электрофоретического разделения белков, нуклеиновых кислот и гликозаминогликанов. Подробно описаны также многочисленные варианты иммуноэлектрофореза. В целом книга представляет собой фундаментальное руководство по электрофорезу, рассчитанное на специалистов различного профиля.

В первую очередь издание предназначено для биологов всех специальностей, пользующихся в своей работе методами современной биохимии, для врачей-лаборантов, а также для студентов университетов, медицинских, педагогических и сельскохозяйственных институтов.

1982, 448 стр. Цена 3 р. 20 к.

Заказы на эту книгу направляйте по адресу: 129820 Москва, И-110, ГСП, 1-й Рижский пер., д.2, издательство «Мир», отдел распространения и рекламы. Книга будет выслана наложенным платежом.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Просвещение мраком

Через 59 лет после суда над Скопсом, через 16 лет после того, как Верховный суд США, опираясь на конституцию, наконец-то аннулировал государственный закон, запрещающий преподавание в средних школах и колледжах эволюционной теории, и 2 года спустя после отмены федеральным судьей закона, действовавшего в шт. Арканзас и предписывавшего уделять равное внимание «истории сотворения мира» и «эволюционной истории», сторонники креационизма беспрепятственно сокращают в программах американских вузов долю теории эволюции путем естественного отбора — одного из основных принципов современной биологии. Нынешняя стратегия апологетов созидательной роли творца — свести к минимуму изложение эволюционной теории в учебниках или исключить его вообще, а их первейший тактический прием — влиять на чиновников государственных и местных органов образования, ответственных за утверждение содержания учебных пособий.

Самый большой успех приверженцы идеи о Создателе имели в шт. Техас, где совет штата по вопросам образования не только опубликовал перечень книг, разрешаемых для местных органов образования, как это делается во многих штатах, но и сам приобретает эти книги. Техасский совет, таким образом, является главным покупателем учебников по биологии для вузов: на его долю приходится 10% всей издаваемой в стране литературы такого рода. В январе этого года техасский совет опубликовал воззвание «Textbook Proclamation 60», где изложил правила, которыми начиная с 1985 г. он будет руководствоваться при оценке содержания книг по естественным наукам, в том числе по биологии. Согласно правилам, в учебниках вовсе не обязательно излагать работы Чарлза Дарвина или эволюционную теорию. Это, конечно, не означает, что об эволюции нельзя писать, но всякое обсуждение ее в книге должно быть в рамках принятых в Техасе «требований к содержанию учебных пособий»: эволюционную теорию следует трактовать лишь как одну из гипотез о происхождении человечества. Книги, в которых эта проблема рассматривается «обстоятельно и объясняется происхождение человека, будут издаваться, если это необходимо, чтобы представить дарвинизм всего лишь как теорию, а не основанную на фактах истину»; притом во введении непременно должна содержаться оговорка о том, что все касающееся эволюционного подхода «рассматривается не более как теоретическое положение».

Преподаватели биологии и другие специалисты возражают против того, чтобы эволюционная теория подавалась как более «теоретическая», чем все прочие. Большинство ученых заявляют, что упомянутые правила свидетельствуют о принципиальном непонимании смысла науки и ее роли. В коллективном письме, адресованном техасскому совету, предлагается исправить текст воззвания; от имени участников движения «За американский образ жизни» группа ученых-преподавателей указала, что совет по вопросам образования «просто не понимает разницы между теорией и фактом в науке». В основе всех теорий лежат факты, говорится далее в письме. «Постепенно теория развивается, становясь все более определенной» по мере того, как теоретические положения проверяются вновь полученными фактами, «но никогда теория не заменяет фактов. Эволюционная теория подвергается такой строгой проверке на протяжении уже ста лет, и в своих рамках она столь же определенна, как и все, с чем мы имеем дело в науке. В том, что биологическая эволюция происходила в прошлом и продолжается теперь, мы так же уверены, как в том, что материя состоит из атомов». Преподаватели предложили внести изменения в текст воззвания и, в частности, включить требование об обязательном изложении в учебниках материалов о природе научных исследований, об эволюции и о таких достижениях современной биологии, как роль ДНК в наследственности. Но эти предложения остались без внимания со стороны техасского совета.

Из-за монолитности книжного рынка в Техасе многие издательские фирмы наверняка будут издавать такие книги, которые удовлетворяют вкусам совета по вопросам образования. Похоже, что так уже и бывало после того, как в 1974 г. в Техасе впервые ввели правила, устанавливающие требования к содержанию книг. Об этом сообщают Б. Паркер, член движения «За американский образ жизни», и У. Мойер — прежде исполнительный директор, а ныне консультант Национальной ассоциации преподавателей биологии. Они приводят слова представителя одного из издательств, который сказал:«Мы дадим им [жителям шт. Техас] все, чего они пожелают». Отметим, что, если в учебнике «Биология» для высшей школы, изданном в 1968 г. издательством Silver Burdett, на изложение различных аспектов теории эволюции потребовалось более 22 тыс. слов, то в издании той же книги 1981 г. для освещения этой темы оказалось достаточным 4400 слов. В книге «Современная биология», изданной в 1973 г. издательством Holt, Rinehart and Winston, есть фраза: «Ученые не сомневаются, что современные организмы произошли от ранее живших видов», а в последующих изданиях она уже опущена. Как заявил Дж. Скуг, сотрудник Техасского технологического университета, который уже много лет следит за тем, как излагается эволюционная теория в учебниках, отметил, что в книге издательства Laidlaw Brothers (отделение фирмы Doubleday) «Эксперимент в биологии» 1981 г. издания о ней вообще ничего не говорится.

В то же время есть и признаки «контрнаступления». В 1982 г. нью-йоркский городской совет по вопросам образования отверг три учебника, в том числе один издания Laidlaw Brothers, за искаженное толкование теории эволюции, т.е. фактически выступил против издателей, стремящихся удовлетворить требования техасского совета. Сенатор шт. Техас просил генерального прокурора штата высказаться по поводу законности введения правил о содержании учебников. В прошлом году губернатор шт. Аризона Б. Баббит наложил вето на законопроект, в соответствии с которым происхождение человека путем естественного отбора и эволюции должно было преподноситься учащимся как не имеющая фактического обоснования «теория». Кроме того, законопроекты, за которые ратовали сторонники креационизма, не были приняты законодательными органами штатов Коннектикут, Миссисипи и Западная Виргиния. А креационистский закон, который был принят в шт. Луизиана в 1982 г., подвергается критике со стороны юридических органов.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Население Китая

Согласно последней переписи, в Китае проживает немногим более 1 млрд. человек. Предпринимая активные меры по сокращению рождаемости, правительство стремится к тому, чтобы численность населения не превысила 1,2 млрд. человек

НАТАН КЕЙФИЦ

Часто отмечается, что четверть населения земного шара составляют китайцы. Реже вспоминают о том, что 80% всех китайцев проживают в сельской местности, а значит, пятая часть населения Земли — это китайские крестьяне. Таким образом, демографические тенденции в этой большой социальной группе имеют важное значение не только для Китая, но и для всего мира. Во многих развивающихся странах рождаемость снижается быстрее среди городского населения, чем среди крестьян. Крестьянское хозяйство поощряет рождаемость: дети обеспечивают рабочие руки, нужные для обработки небольшого участка земли, который обычно либо принадлежит крестьянской семье, либо арендуется ею. Наличие детей гарантирует также, что земля будет обрабатываться, когда родители состарятся. Такие условия сохранялись в Китае в течение веков и способствовали поддержанию высокого уровня прироста населения.

Последовавшая за революцией 1949 г. коллективизация в значительной мере ограничила экономические стимулы многодетной семьи в деревне. Однако рождаемость продолжала оставаться высокой в силу исторически сложившейся экономической ориентации на семью. Кроме того, резко сократилась смертность, а регулированию рождаемости уделялось мало внимания. Лишь после смерти Мао Цзэдуна в 1976 г. контроль над рождаемостью стал частью официальной политики. Структура китайского общества такова, что решения правительства могут быстро претворяться в жизнь. За счет этого темпы прироста населения в Китае снизились быстрее, чем в любой другой крупной развивающейся стране. Более того, в отличие от многих стран рождаемость сократилась не только в городах, но и в сельской местности.

Хотя в целом сокращение прироста населения выгодно для развивающейся страны, быстрое снижение рождаемости приводит к существенным социальным издержкам. Согласно официальной точке зрения китайского правительства, максимальная численность населения, приемлемая для Китая, равна 1,2 млрд. человек, т.е. на 200 млн. больше учтенной при последней переписи 1982 г. Я произвел расчеты, показывающие, каковы были бы результаты немедленного снижения рождаемости до уровня, который обеспечивает стабильную численность населения в 1,2 млрд. Оказалось, что такое мероприятие имело бы по меньшей мере два важных последствия. Во-первых, к середине XXI в. сложится неблагоприятный возрастной состав населения: относительно небольшая группа работающих должна будет обеспечивать большую группу престарелых. Во-вторых, на протяжении значительной части 90-х годов XX в. в семьях должно рождаться в среднем менее двух детей. В большинстве экономически развитых стран этот показатель выше.

Власти КНР хорошо осознают эти последствия. Планируемые мероприятия ставят перед ними ряд трудных проблем. Если рождаемость будет снижаться быстро, то потребление природных ресурсов уменьшится, однако возрастной состав населения станет со временем еще менее благоприятным, а общественная дисциплина, необходимая для проведения в жизнь политики ограничения размеров семей, еще более строгой. И наоборот, если снижение рождаемости будет происходить более

АДМИНИСТРАТИВНАЯ ЕДИНИЦА	НАСЕЛЕНИЕ (ТЫС.)
ПЕКИН	9231
ТЯНЬЦЗИНЬ	7764
ХЭБЭЙ	53006
ШАНЬСИ	25291
ВНУТРЕННЯЯ МОНГОЛИЯ, АВТОНОМНЫЙ РАЙОН	19974
ЛЯОНИН	35722
ГИРИН	22560
ХЭЙЛУНЦЗЯН	32666
ШАНХАЙ	11860
ЦЗЯНСУ	60521
ЧЖЭЦЗЯН	38855
АНЬХОЙ	49666
ФУЦЗЯНЬ	25931
ЦЗЯНСИ	33185
ШАНЬДУН	74419
ХЭНАНЬ	74423
ХУБЭЙ	47804
ХУНАНЬ	54009
ГУАНДУН	59299
ГУАНСИ—ЧЖУАНСКИЙ АВТОНОМНЫЙ РАЙОН	36421
СЫЧУАНЬ	99713
ГУЙЧЖОУ	28553
ЮНЬНАНЬ	32554
ТИБЕТСКИЙ АВТОНОМНЫЙ РАЙОН	1892
ШЭНЬСИ	28904
ГАНЬСУ	19569
ЦИНХАЙ	3896
НИНСЯ—ХУЭЙСКИЙ АВТОНОМНЫЙ РАЙОН	3896
СИНЬЦЗЯН—УЙГУРСКИЙ АВТОНОМНЫЙ РАЙОН	13082

ПЛОТНОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ каждой из провинций Китая пропорциональна «толщине» показанной на карте области. Желтым окрашены области, где на квадратный километр приходится более 400 человек, синим — от 200 до 399, розовым — от 100 до 199, коричневым — менее 100. Наиболее плотно населенной частью страны яв-

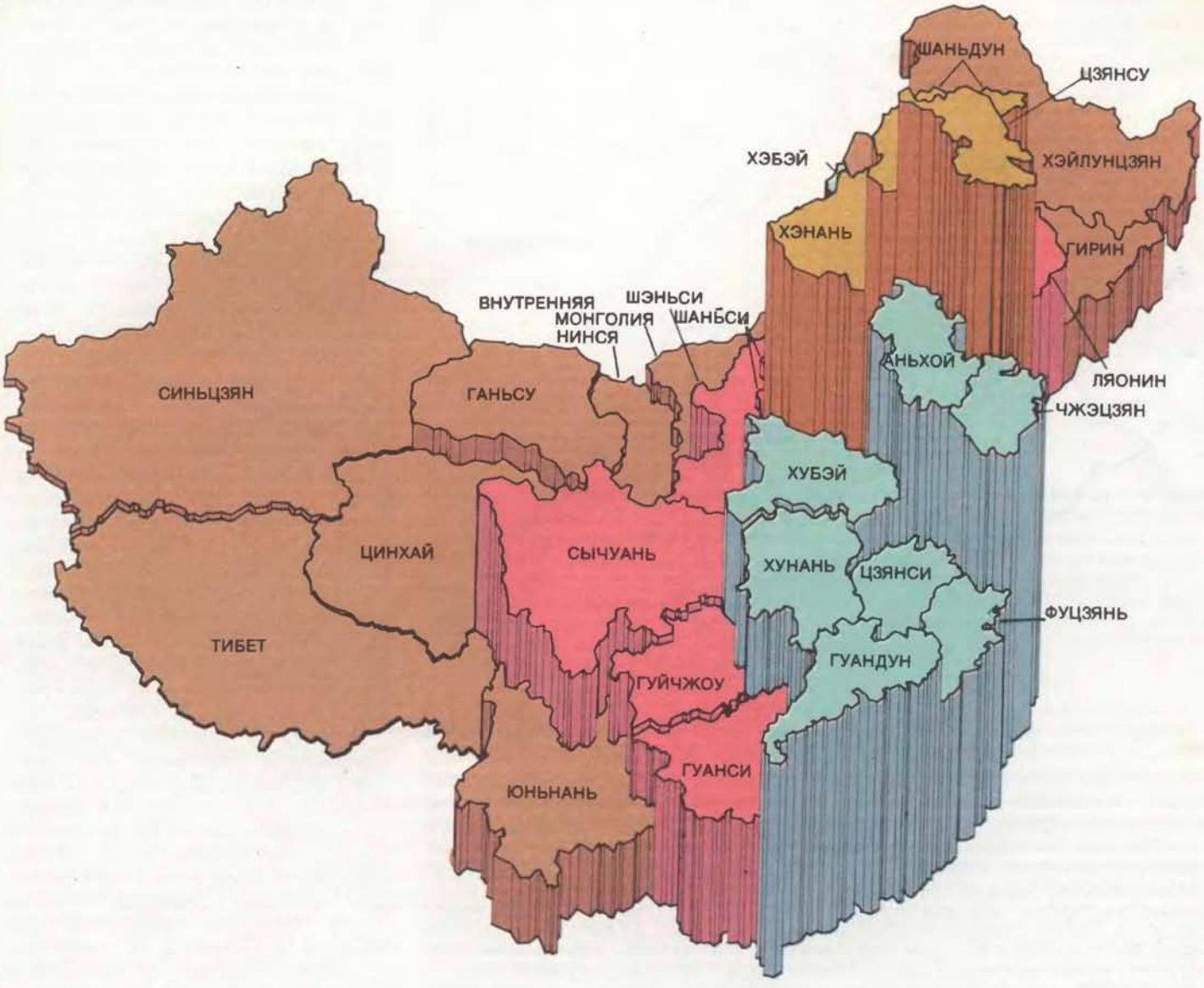
WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

медленными темпами, понадобится менее суровая дисциплина и распределение по возрастам будет более благоприятным, однако увеличится потребление как природных ресурсов, так и средств, предназначенных для развития экономики. Какой бы выбор ни сделали китайские власти, этот демографический эксперимент в самом большом человеческом сообществе станет одним из наиболее впечатляющих в истории человечества. Его последствия могут сказаться на численности и структуре населения как развивающихся стран, где рождаемость все еще высока, так и Земли в целом.

Со времени смерти Мао многое в Китае изменилось, но самой яркой из перемен был поворот в демографической политике. Мао считал, что китайский народ, какова бы ни была его численность, в состоянии создать материальную базу для экономического процветания; утверждалось, что «революция плюс производство» могут решить все проблемы. В настоящее время рост населения уже рассматривается как основное препятствие для повышения жизненного уровня. Многие официальные заявления и мероприятия отражают то особое внимание, которое уделяется сейчас контролю за рождаемостью. Так, в декабре 1982 г. Всекитайское собрание народных представителей утвердило новую конституцию, одно из положений которой обязывает супружеские пары осуществлять планирование семьи.

Мой интерес к демографической политике Китая еще более усилился в результате месячной поездки в эту страну, предпринятой в январе 1982 г. в рамках академического обмена, финансируемого Национальным научно-исследовательским советом Национальной академии наук США. Я посетил города Пекин, Чэнду, Гуанчжоу и ряд сельских районов, где выступал с лекциями, а также беседовал с представителями различных слоев китайского общества — фабричными рабочими, крестьянами, администраторами предприятий и чиновниками. Эта поездка дала мне представление о том, как понимается в Китае демографическая проблема. Мои впечатления подкрепили информацию объективного характера — данные переписи и расчетов.

Наиболее распространенный в Китае официальный аргумент в пользу контроля за ростом населения — это ограниченность сельскохозяйственных ресурсов. Хотя после революции потребление пищи на душу населения возросло, официально признается, что 10% населения недоедает. Бóльшую часть территории страны занимают горы, пустыни либо другие, негодные для обработки зéмли. Возделываемые площади составляют 11% территории страны, включая практически каждый мало-мальски пригодный клочок. В не-



ляется восточное побережье, здесь в основном сосредоточена промышленность, расположены крупные порты. Таблица слева показывает численность населения провинций, автономных областей и трех самостоятельных муниципалитетов (Шанхай, Пекин и Тяньцзинь) по данным переписи 1982 г. Крупнейший город страны — Шанхай, в котором проживает 11,9 млн. человек.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

давно опубликованной на первой странице газеты «Жэньминь Жибао» статье говорилось, что, если население будет расти такими же темпами, как и на протяжении последних 20 лет, это поставит под угрозу достигнутое после 1949 г. повышение жизненного уровня.

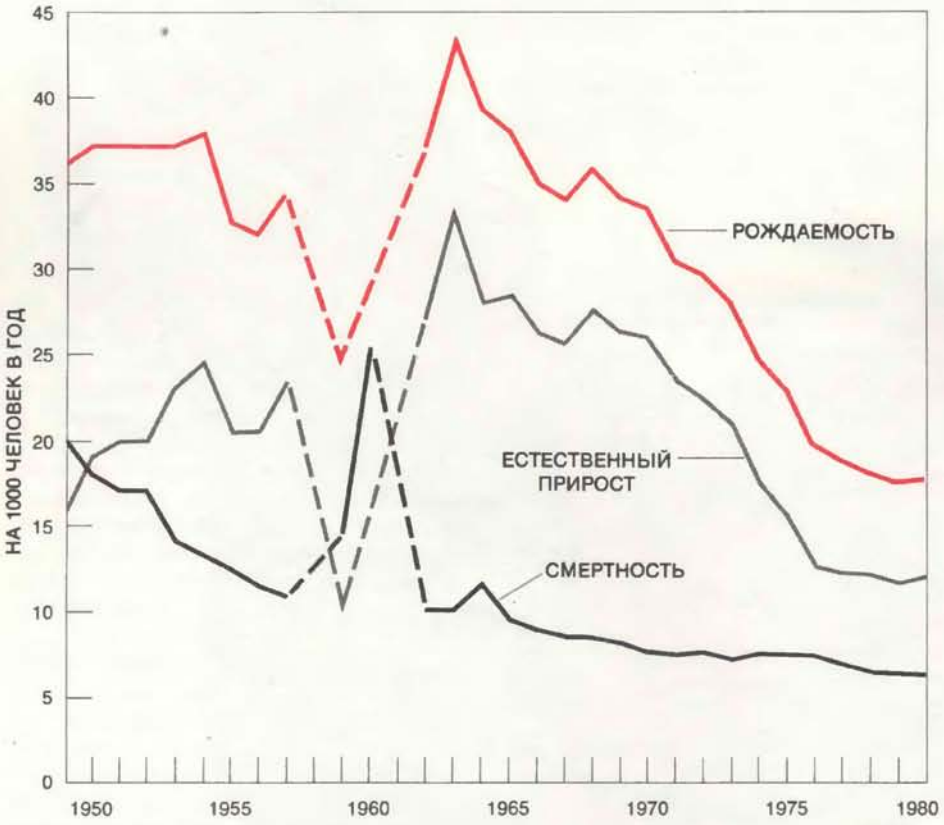
При всем том, что потребление продовольствия на душу населения после революции росло медленными темпами, заметные изменения произошли в системе распределения сельскохозяйственной продукции. В отличие от многих развивающихся стран Китай избрал уравнительную политику распределения продовольствия, чтобы обеспечить население доброкачественным, хотя и простым питанием. Благодаря системе нормирования люди не тратят на продовольствие наличные деньги, поэтому различие в доходах не приводит автоматически к разнице в рационе. Во многих развивающихся странах в среднем 80% заработка тратится на питание; в Китае эта цифра, как утверждают, не превышает 20%. (В частности, потребление мяса удерживается на низком уровне: зерно идет в пищу, а не на корм скоту.) Население тратит больше денег на промышленные товары, что стимулирует развитие производства. Тем не менее в Китае подспудно ощущается постоянный спрос на более высококачественные продукты питания. Быстрый рост населения может привести к увеличению этого спроса.

Хотя ограниченные возможности сельского хозяйства являются для Китая наиболее сильным побудительным мотивом в деле снижения рождаемости, существуют и другие соображения, которые усиливают стремление общества ограничить рост населения. Страна имеет значительные потенциальные возможности для развития промышленности и производства энергии, однако эти мероприятия требуют значительного притока средств. Китайские руководители уяснили принцип, сформулированный более 20 лет назад А. Коулом и Э. Гувером из Принстонского университета: если в развивающейся стране рождаемость высока, часть необходимого для развития промышленности капитала расходуется на подготовку молодежи. В то же время при низких темпах прироста населения легче накопить средства для нужд экономики.

Быстрый прирост населения создает еще одно неудобство, а именно увеличивается число молодых людей, нуждающихся в работе. Проблема занятости стоит особенно остро для двух групп населения. Первая — это образованная молодежь, вторая — жители тех сельских районов, где механизация сократила потребность в рабочей силе. Из этих двух категорий первая является источником наибольшей озабоченности властей. В Китае интеллигенция традиционно пользуется уважением. Именно из нее в прошлом вышли лидеры многих политических движений, в том числе революции 1949 г. Правительство нуждается в знаниях, опыте и престиже интеллигентов.

Проблема усугубляется недостатком подходящей работы для образованной части населения. Власти пытаются сократить бюрократический аппарат, который уже и так слишком велик, чтобы работать эффективно. Не имея возможности получить должность на государственной службе, многие образованные молодые люди заняты на так называемой временной работе, где их квалификация используется в незначительной степени. Они надеются, что по мере открытия вакансий им будут предоставлены более престижные должности, требующие квалификации. Однако вакансий немного, и одна из причин такого положения заключается в том, что верхние ступени служебной лестницы заняты старшим поколением. Хотя в последнее время некоторые высшие чиновники ушли в отставку, однако такие жесты малоэффективны для продвижения миллионов новых выпускников вузов. Снижение роста населения привело бы в будущем к сокращению численности не полностью занятой образованной молодежи.

Избыточное население в сельской местности не представляет такой серьезной проблемы, но и здесь есть свои трудности. В настоящее время механизация сельского хозяйства проводится не столь энергично, как раньше, однако применение довольно простой техники уже увеличило производительность труда. Поскольку обрабатываемые площади ограниченны, этот процесс приводит к снижению потребности в рабочей силе. Доля сельского хозяйства в валовом внутреннем продукте сократилась с 47% в 1952 г. до 26% в 1970 г. Чтобы обеспечить работой тех,



ДЕМОГРАФИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ в Китае резко колебались, отзываясь на изменения в экономике и политике и на состояние медицинского обслуживания. Естественный прирост населения определяется превышением рождаемости над смертностью. Пунктирные линии соответствуют периоду, для которого значения демографических показателей отсутствуют. Уравнительная система распределения продовольствия и всеобщая первичная медицинская помощь объясняют неуклонное снижение смертности. Исключение составляет короткий период экономической разрухи, вызванной «большим скачком» 1960 г. До революции рождаемость была высока, в 50-х годах она снизилась, а затем вновь повысилась во время «культурной революции» в середине 60-х годов. В 70-е годы регулирование роста населения стало энергично проводиться в рамках официальной политики, и рождаемость быстро уменьшилась. Начатая в 1979 г. кампания «За однодетную семью» привела к дальнейшему снижению рождаемости. Естественный прирост снизился, но население продолжает расти. Последние данные свидетельствуют о том, что с 1980 г. рождаемость повысилась.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

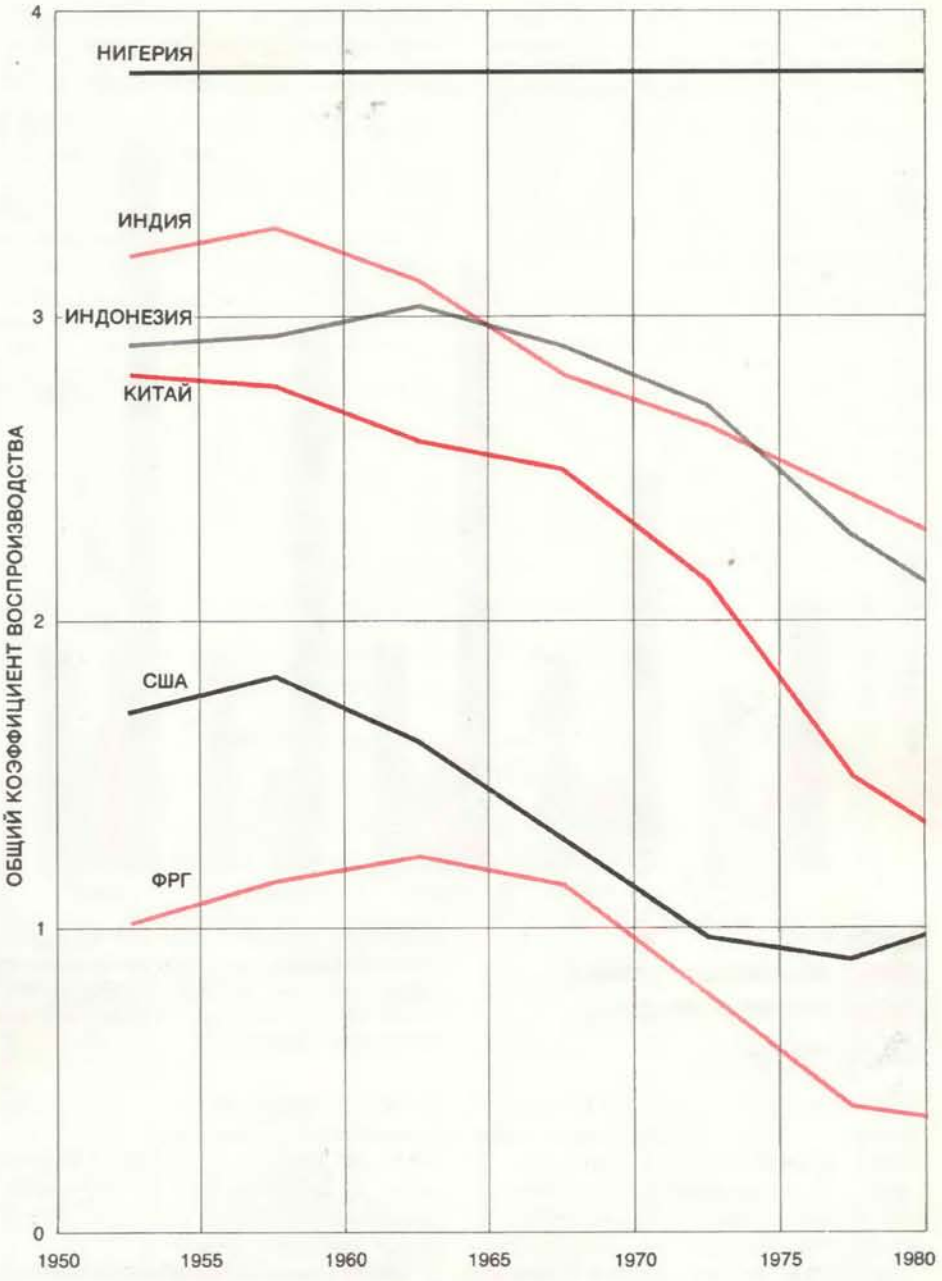
кто более не мог найти ее на фермах, правительство пыталось стимулировать развитие легкой промышленности в сельской местности, однако изыскание средств для таких проектов ложится тяжелым бременем на скромные бюджеты государственных органов низшего уровня.

Кроме усугубления проблем ресурсов и занятости, быстрый рост населения грозит обострением отношений между городом и деревней. Развивающимся странам трудно контролировать приток населения в города. В Китае он ограничен в административном порядке: только те, кто имеет в городе работу, могут официально проживать в нем, обеспечиваться жильем, получать продовольственные карточки, талоны на медицинское обслуживание и на промышленные товары, среди которых особое место занимает велосипед. В результате в китайских городах нет колоний незаконно проживающих людей, какие характерны для бедных стран. Однако, несмотря на строгий контроль, некоторые китайцы все-таки живут в городах нелегально, чаще у своих родственников. В настоящее время городские жители составляют 21% всего населения страны.

Если население в городах растет быстрее, чем производство промышленной продукции, на деревню ложится все большая тяжесть. Питание горожан обеспечивается в основном 50 млн. тонн зерна в год. Это так называемое товарное зерно продается по установленной цене в рамках системы нормирования. Часть его получают в виде натурального налога с коллективных хозяйств, поэтому усиление налогового бремени может вызвать обострение отношений между городскими и сельскими жителями.

Таким образом, стремление ограничить рост населения, объясняемое скудостью ресурсов, усиливается рядом социальных и политических факторов. Проведенная в 1982 г. общенациональная перепись не уменьшила озабоченности правительства. Опубликованные результаты не принесли сюрпризов; общая численность населения, 1,008 млрд. человек, оказалась близка к предварительным оценкам. Время и силы, затраченные на перепись, свидетельствуют о том, какое большое значение придается в Китае демографическим вопросам. В качестве счетчиков было выделено 5,7 млн. человек. Один из членов каждой семьи являлся к счетчику, чтобы ответить на 19 вопросов. Сейчас примерно 100 тыс. служащих обрабатывают 300 млн. опросных листов, вводя их в память компьютеров.

Пока опубликованы только общие цифры, включая данные о численности населения 26 провинций и автономных районов. Окончательные результаты, как, например, возрастной состав населения, должны были быть обнародованы до конца 1983 г. Опубликованные данные подтверждают явную неравномерность плотности населения в стране. Наиболее населенным является Восточный Китай с его большими портами. Шанхай удержал первенство по числу жителей — 11,9 млн. человек. В целом полоса, в которой расположены Шанхай и Пекин, остается самым индустриально развитым районом Китая, несмотря на усилия правительства развивать промышленность в западной части страны.

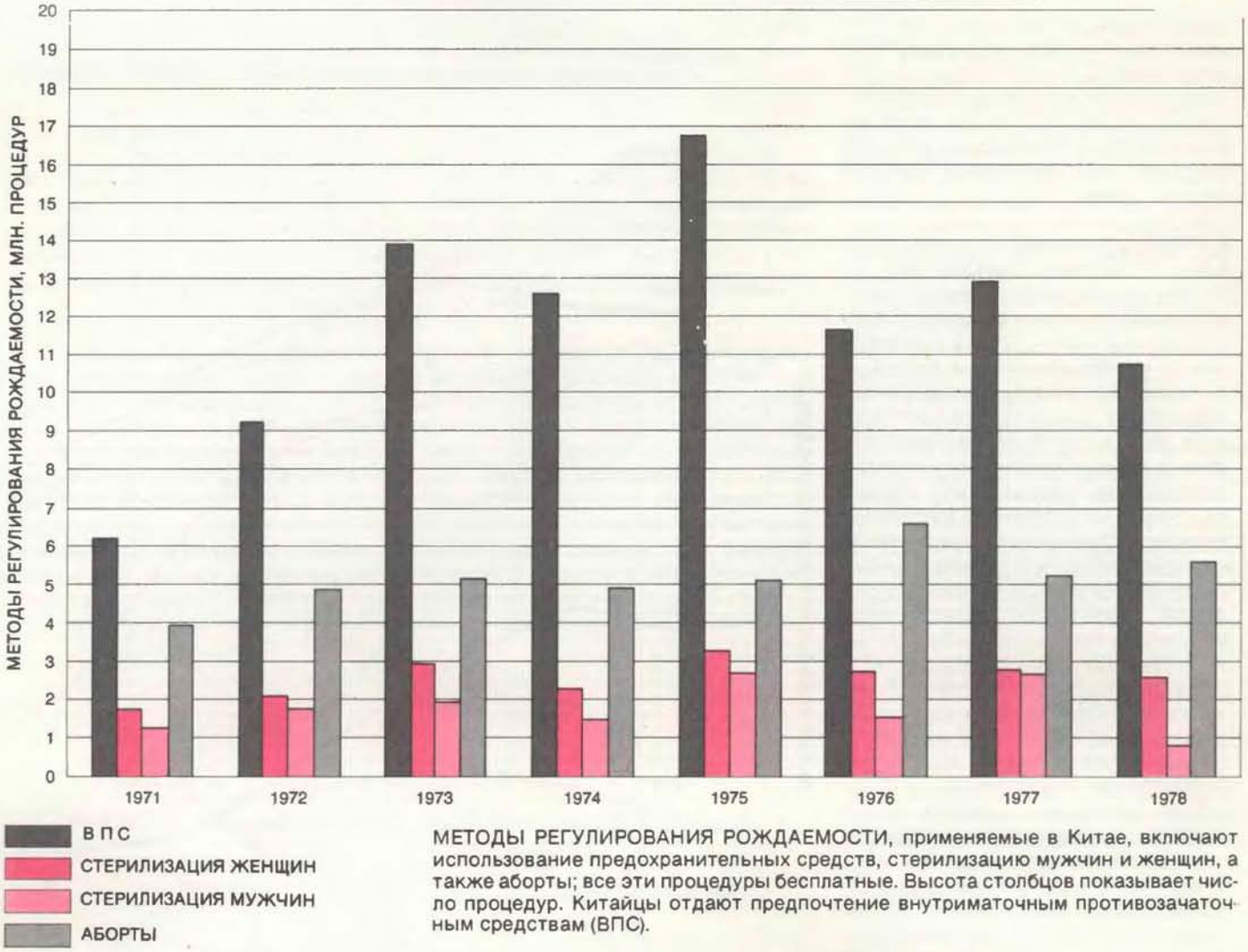


УРОВЕНЬ РОЖДАЕМОСТИ В Китае снижался быстрее, чем в любой другой крупной развивающейся стране. Кривые показывают изменение общего коэффициента воспроизводства для ряда стран. Этот показатель равен среднему числу дочерей у одной женщины, если принять, что все женщины доживают до конца детородного возраста. В Китае этот показатель снизился примерно с 3,0 в 1950 г. до 1,5 в 1980 г. В Индонезии, развивающейся стране с высокоорганизованной системой демографического планирования, этот показатель все еще превышает 2,0. В США и других развитых странах он может быть меньше или равен 1,0. В Нигерии этот показатель остается равным 4,0.

Централизация промышленного производства дает экономию, обусловленную ростом его масштабов, поэтому попытки правительства рассредоточить промышленность сталкиваются с глубокими экономическими и социальными противоречиями. Незначительные успехи децентрализации промышленности разительно контрастируют с впечатляющими достижениями программы планирования семьи.

С 1949 по 1980 г. рождаемость снизилась вдвое — беспрецедентная цифра для крупной развивающейся страны. Однако этот процесс протекал отнюдь

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU



МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РОЖДАЕМОСТИ, применяемые в Китае, включают использование предохранительных средств, стерилизацию мужчин и женщин, а также аборты; все эти процедуры бесплатные. Высота столбцов показывает число процедур. Китайцы отдают предпочтение внутриматочным противозачаточным средствам (ВПС).

не гладко и устойчиво. Рождаемость резко колебалась, отзываясь на перемены в экономике и политике. В 1949 г., как и в течение многих десятилетий, она составляла 35 живорожденных на 1000 человек в год. Отмена частной собственности на землю и первые кампании по контролю за рождаемостью привели к ее снижению в конце 50-х годов до 25 на 1000. В ходе «культурной революции» и других политических сдвигов 60-х годов планирование рождаемости было забыто и ее уровень быстро вырос до показателя 44 на 1000.

В полной мере воздействие организованного контроля за рождаемостью начало ощущаться в 70-х годах. «Третья кампания по планированию семьи», проходившая под лозунгом «Позднее, дольше, меньше», поощряла более поздний брак, больший интервал между рождением детей и меньшее их количество. В 1979 г. за этой кампанией последовала еще более энергичная, под названием «За однодетную семью». К 1980 г. рождаемость снизилась до 18 на 1000. Возможно, истинная цифра занижена; поскольку недавно было отмечено некоторое повышение рождаемости, реальная величина может составлять около 20 на 1000.

В целом же рождаемость снижается быстро. Кампания «За однодетную семью» уже утвердилась в нескольких областях страны. В Шанхае, Пекине и пяти из 26 провинций и автономных районов от 80 до 90% всех родов приходится на первого ребенка.

Эффективность подобных мероприятий объясняется в основном особенностями политической структуры китайского общества, которая выработалась в ходе 20-летней борьбы Мао Цзэдуна и его соратников за власть. На протяжении этого времени производился тщательный подбор кадров и обучение их в закрытых партийных школах. Каждый из таких людей становился звеном в единой системе командования. Многие из них вышли из крестьян, их делом было превращать сельских жителей из покорных и безответных людей, какими преимущественно были азиатские крестьяне, в сознательных носителей социальных перемен.

Когда Коммунистическая партия завоевала власть, воспитанные во время войны политическая сознательность и организованность были направлены на гражданские цели, в том числе и на решение демографической проблемы. Частично оттого, что политическая организация возникла в ходе вооруженного восстания, она имеет иерархическую структуру, несущую многие черты военной организации. В ней шесть основных уровней. Верхний из них — нация в целом, нижний — производственные бригады, в каждой из которых от 250 до 800 человек. Любой административный орган, независимо от его уровня, включает в себя исполнительную власть, партийную ячейку и подразделение, ответственное за медицинское обслуживание. Служба контроля за рождаемостью входит в систему здравоохранения, поэтому в каждом административном органе оказываются служащие, задача которых обучать население методам планирования семьи. В беседах, которые проводят с населением официальные лица, идея регулирования рождаемости, исходящая от высшей исполнительной власти, доводится до супружеских пар.

Помимо разъяснений о необходимости регулирования численности населения используются и такие меры, как предоставление предохранительных средств и система поощрений и наказаний, применяемая через административный аппарат. Супружеские пары бесплатно снабжаются противозачаточными пилюлями и предохранитель-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

ными средствами, бесплатно делаются операции по стерилизации. Проводятся также добрачные медицинские обследования, во время которых будущим супругам разъясняют способы предупреждения беременности. В отличие от большинства других народов китайцы отдают предпочтение внутриматочным противозачаточным средствам.

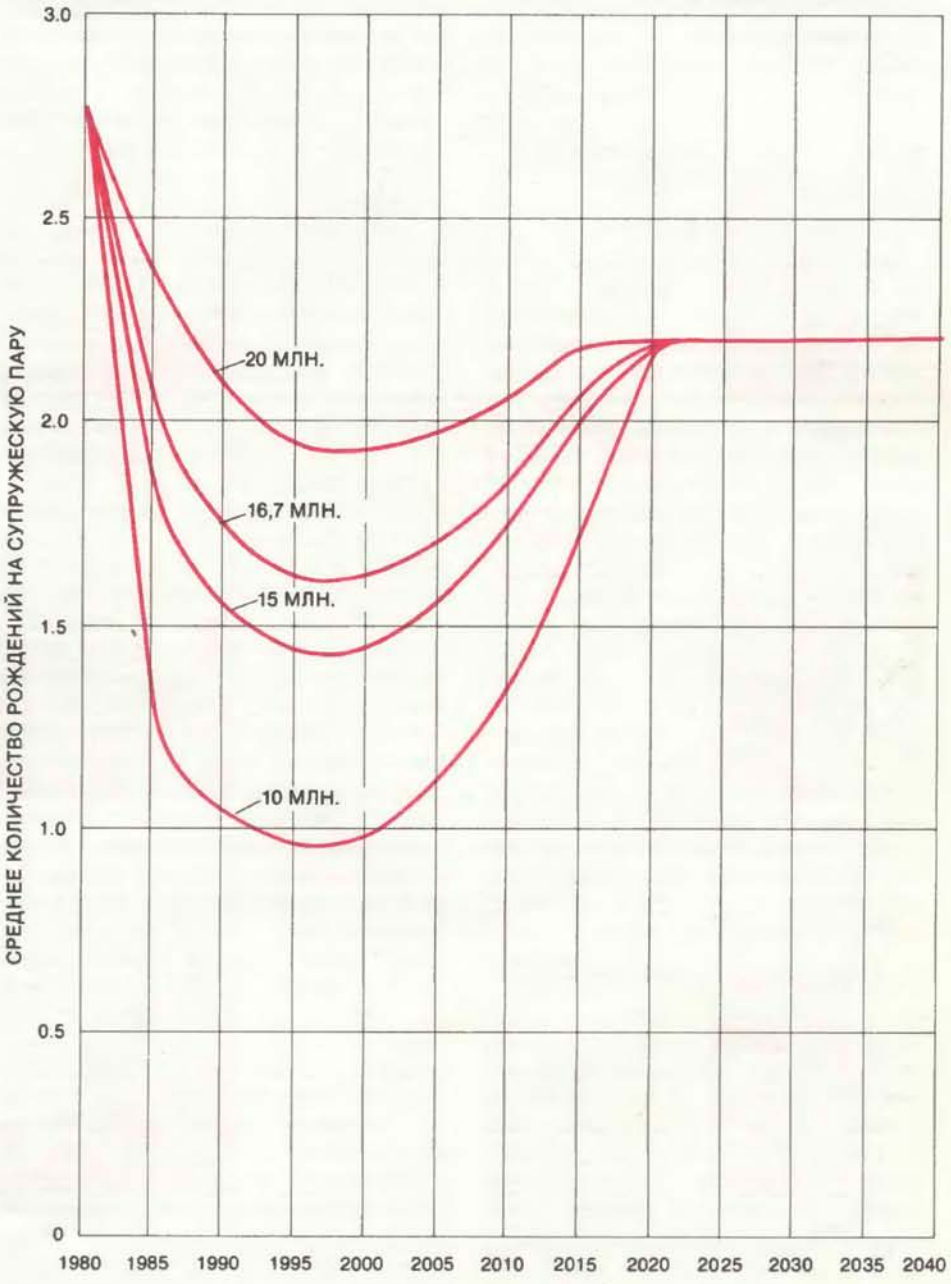
Методы убеждения оставляются на усмотрение местных властей, но общими для всех являются поощрение за ограничение рождаемости и наказание за «лишних» детей. Молодоженам предлагают подписать заявление-обязательство иметь только одного ребенка. К середине 1981 г. более 11 млн. пар подписали такое соглашение, которое предусматривает бесплатное больничное обслуживание при родах, бесплатное медицинское обслуживание и обучение ребенка, улучшение жилищных условий и ежегодную выплату дополнительного месячного оклада. Единственные в семье дети, особенно девочки, пользуются преимуществами в школе и при получении работы.

Наказание за «несанкционированную» беременность может быть весьма существенным. Рождение второго ребенка у супругов, подписавших обязательство, влечет за собой официальный выговор. Если рождается третий ребенок, сокращается зарплата. Многих женщин, забеременевших без разрешения, убеждают сделать аборт. Для этого, так же как для операции по стерилизации, женщине предоставляется оплачиваемый отпуск. Однако усердие местных властей в проведении в жизнь решений правительства может привести к принудительным абортам и стерилизации.

Сочетание таких мер, как снабжение бесплатными противозачаточными средствами, система поощрений и наказаний и хорошо организованный аппарат общественного убеждения, дало один весьма необычный результат. В большинстве стран, где происходит демографический переход (от высокого уровня рождаемости и смертности к низкому), рождаемость снижается быстрее в урбанизированных районах с наиболее высоким средним доходом и низким уровнем смертности. Х. Юан Тьен из Университета шт. Огайо показал, что вплоть до недавнего времени в Китае имелась зависимость между степенью урбанизации, средним доходом и продолжительностью жизни, с одной стороны, и снижением рождаемости — с другой. К 1980 г. эта связь была намного слабее, и строго говоря, в статистическом плане не существенной. Сейчас, по-видимому, кампания по планированию семьи достигла бедных сельских районов с низким уровнем благосостояния и здоровья населения и урбанизации — тех показателей, с которыми ассоциируется демографический переход в Европе и многих развивающихся странах.

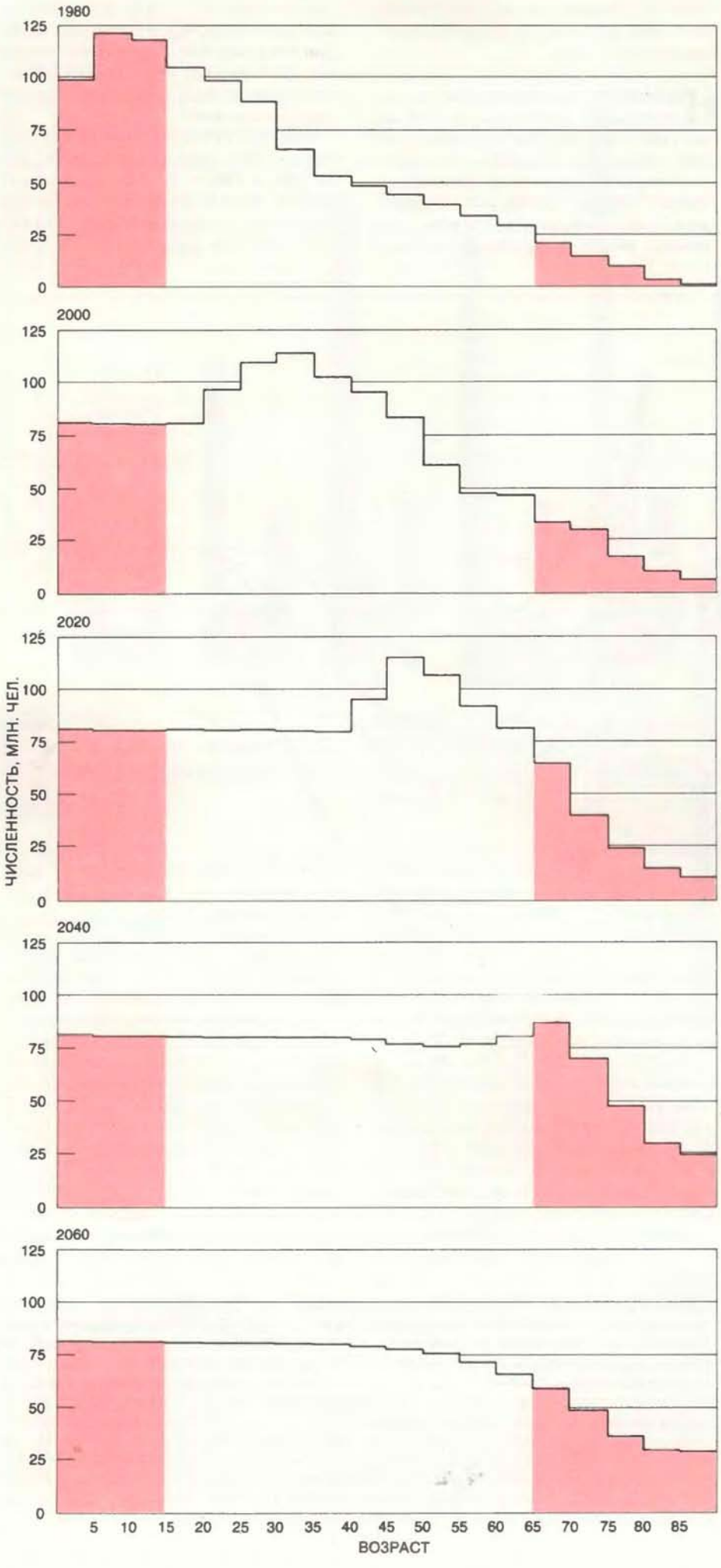
НЕСМОТРЯ на эффективность программы по контролю за рождаемостью, два фактора ускоряют прирост населения. Первый — это быстрое снижение смертности. Как и другие бедные страны, Китай должен выбирать: либо обеспечить средние слои мясной пищей и развитой системой здравоохранения, либо ограничиться зерновым рационом и первичной медицинской помощью, но для всего населения. В отличие от большинства развивающихся стран Китай избрал уравнительную систему.

В результате этого смертность снизилась с 20 человек на 1000 в 1949 г. до 6 на 1000 в 1980 г. В США смертность равна 8 на 1000. Однако это сравнение обманчиво, так как население Китая в целом моложе населения США. Более



СРЕДНЕЕ КОЛИЧЕСТВО ДЕТЕЙ, которое может завести супружеская пара в Китае при константном числе рождений в год — 20; 16,7; 15 и 10 млн. В прошлом рождаемость в Китае заметно колебалась, поэтому количество супружеских пар, которые будут взрослеть и заводить детей, в будущем также будет колебаться. Для поддержания константного числа рождений среднее количество рождений на супружескую пару должно изменяться в течение переходного периода и быть минимальным в 90-х годах, когда большие группы лиц, родившихся между 1960 и 1980 гг. достигнут зрелости. При 15 млн. рождений в год на протяжении значительной части 90-х годов на супружескую пару может приходиться в среднем около 1,5 рождений. Уровень 10 млн. соответствует конечной численности населения 700 млн. В этом случае в течение значительной части 90-х годов супружеские пары могут заводить в среднем менее чем по одному ребенку.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU



правильным будет сказать, что средняя продолжительность жизни в Китае (по оценке ООН) приближается к 70 годам, в то время как в США она составляет 73 года. И все-таки за последние три десятилетия достигнут заметный прогресс: в 1950 г. средняя продолжительность жизни в Китае равнялась 47 годам.

Вследствие быстрого снижения смертности население увеличилось, хотя рождаемость и начала падать. Уровень естественного прироста, т.е. превышения рождаемости над смертностью, в 1949 г. был равен 5 на 1000. В 60-х годах он подскочил до 20 на 1000, а в последнее время вновь снизился, но уже до 12 на 1000. При сохранении этой величины население будет удваиваться каждые 60 лет.

Второй фактор, способствующий сохранению роста численности населения в Китае, известен как демографическая инерция и представляет собой последствие быстрого роста населения в прошлом. У населения, претерпевшего недавно быстрый рост, возрастной состав имеет сильный сдвиг в пользу молодежи, которая в скором времени будет способна вступать в брак и иметь детей. Представим себе, что произойдет, если рождаемость снизится до необходимого для воспроизводства уровня — в среднем 2,2 ребенка на семью. (Эта величина несколько превышает цифру 2 по причине детской смертности, бесплодия и безбрачия.) Даже если это произойдет немедленно, рост населения не прекратится сразу, поскольку многочисленные ранее рожденные дети будут взрослеть и заводить своих детей. В течение примерно 50-летнего переходного периода численность населения будет продолжать расти, пока окончательно не стабилизируется. Прирост населения может составить 60% той численности, при которой произошло снижение рождаемости до уровня простого воспроизводства.

Если допустить, что это снижение имело место в 1980 г. и что смертность

ВОЗРАСТНАЯ ДИАГРАММА иллюстрирует, что произойдет с населением Китая, если число рождений сократится до 16,7 млн. в год и далее останется постоянным. Распределение населения по возрастам рассчитано на каждые 20 лет, начиная с 1980 г. Работающее население (*не закрашено*) должно содержать иждивенцев (*закрашено*) — детей и пенсионеров. Ближайшие последствия сокращения рождаемости будут благоприятными: большая группа лиц рождения 1960—1980 гг. вольется в трудоспособное население, в то же время детей будет немного. Однако, начиная с 2020 г., возрастет число пенсионеров, и содержать их будут представители того немногочисленного поколения, которое появится уже после снижения рождаемости.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

будет продолжать уменьшаться теми же темпами, как и в последние несколько лет, то в 2000 г. население Китая составит 1,2 млрд. человек. Вместе с тем демографическая инерция будет продолжать действовать и в XXI в., поэтому к 2075 г. численность населения превысит 1,5 млрд. В Китае много спорят о том, сколько людей может прокормить страна. По китайским оценкам, эта цифра колеблется от 700 млн. до 1,4 млрд. В 1980 г. Хуа Гофэн, в то время председатель КПК, заявил, что целью партии является ограничение численности населения в пределах 1,2 млрд. человек к концу XX в. Более того, правительство ставит цель к этому же сроку сделать эту численность стабильной.

Поскольку даже немедленное снижение рождаемости до уровня воспроизводства приведет к тому, что конечная численность населения превысит 1,5 млрд., уже сейчас ясно, что цель 1,2 млрд. потребует снижения рождаемости ниже уровня воспроизводства. Один из путей достижения этой цели — установление неизменного (константного) числа рождений в год. При точном расчете можно достичь любой стабильной численности населения. По мере старения лиц, родившихся до введения ограничений рождаемости, она еще будет колебаться, но, когда первая константная группа достигнет конца своей жизни, численность населения станет стабильной на том уровне, который предполагалось достигнуть.

Для большинства стран вопрос о влиянии на общество неизменной рождаемости был бы праздным, так как государство не может управлять ее уровнем. Однако Китай продемонстрировал свою способность регулировать рождаемость с достаточной эффективностью. Поэтому данный вопрос представляет практический интерес.

Я выполнил ряд расчетов численности населения Китая на ближайшие десятилетия, исходя из допущения, что с настоящего времени число рождений в год будет постоянным. В качестве исходных значений этой величины были взяты цифры, каждая из которых соответствует определенному показателю конечной численности населения.

Несколько более скромная цель, чем провозглашенная Хуа Гофэном, заключается в следующем. В 2000 г. численность населения должна составить 1,2 млрд., такой же должна стать и окончательная стабильная величина, но начиная с 2000 г. население может несколько увеличиться, перед тем как вернуться к стабильной численности. Такая цель вполне осуществима при нынешних мерах по регулированию рождаемости в Китае.

Я предположил, что смертность будет продолжать падать, и средняя продолжительность жизни следующих двух поколений составит 72 года. Тогда достижению стабильной численности населения в 1,2 млрд. человек при описанных выше условиях соответствовало бы константное число рождений 16,7 млн. в год. Для простоты расчетов я допустил, что снижение рождаемости до стабильного уровня произошло в 1980 г.

С точки зрения распределения ресурсов одной из самых важных демографических характеристик общества является возрастной состав населения, который, в частности, определяет процентное соотношение между работающими членами общества и иждивенцами. Последние включают детей и престарелых, отошедших от трудовой деятельности. Увеличение числа тех и других ведет к росту затрат на содержание непроизводительной части населения страны, в результате чего меньше средств может вкладываться в экономику. Эти соображения особенно важны для стран, темпы экономического развития которых ограничены имеющимся капиталом.

Какое соотношение установится в Китае между числом работающих и иждивенцев, если будет рождаться 16,7 млн. человек в год? В 1985 г. будет 81 млн. детей в возрасте до 5 лет. Надо учитывать, однако, что на протяжении 15 лет вплоть до 1980 г. ежегодное число рождений значительно превышало 16,7 млн. Большая когорта лиц, родившихся в период с 1965 по 1980 г., в течение многих лет будет составлять пик волны на кривой возрастного распределения. За этой большой группой, двигающейся через фазы трудовой деятельности, последуют немногочисленные группы лиц, появившихся на свет уже после того, как число рождений было снижено до 16,7 млн. Непосредственное влияние такого положения на соотношение между работающими и иждивенцами будет благоприятным. Сокращение числа рождений до 16,7 млн. приведет к снижению числа детей до величины, которая с избытком компенсирует первоначальное увеличение количества престарелых. Численность лиц трудоспособного возраста, от 15 до 60 лет, будет продолжать расти до 2005 г.: недавние крупные когорты будут вливаться в трудоспособное население, в то время как небольшие когорты родившихся в 20-х годах будут уходить на пенсию, а небольшие когорты 80-х и 90-х годов — обучаться в школе.

Однако после 2005 г. резко начнет возрастать число пенсионеров. К 2040 г., когда последние когорты лиц рождения 1960—1979 гг. достигнут 60-летнего возраста и уйдут на пенсию, соотношение между пенсионерами и работающими достигнет наивысшего уровня — 32:100, что, разумеется, повлечет за собой большие издержки. Для сравнения в 1980 г. на каждых 100 работающих приходилось всего 9 пенсионеров.

Если число рождений упадет ниже уровня 16,7 млн., то сдвиги в возрастном составе населения будут еще менее благоприятными. Председатель Китайского общества автоматизации Сон Чжиан подсчитал, что если каждый китаец будет потреблять в день 85 г белков, 75—80% которых приходятся на животную пищу, то страна сможет прокормить только 700 млн. человек.

Стабильному населению в 700 млн. соответствовало бы константное число рождений 10 млн. в год. Если бы этот уровень был достигнут в 1980 г. и затем оставался постоянным, к 2040 г. в Китае на каждых 100 работающих приходилось бы 50 пенсионеров. Последствия этого легли бы тяжелым финансовым бременем на экономику. При уровне 20 млн., что соответствует стабильной численности населения в 1,4 млрд., сдвиги в возрастном составе были бы гораздо менее удручающими.

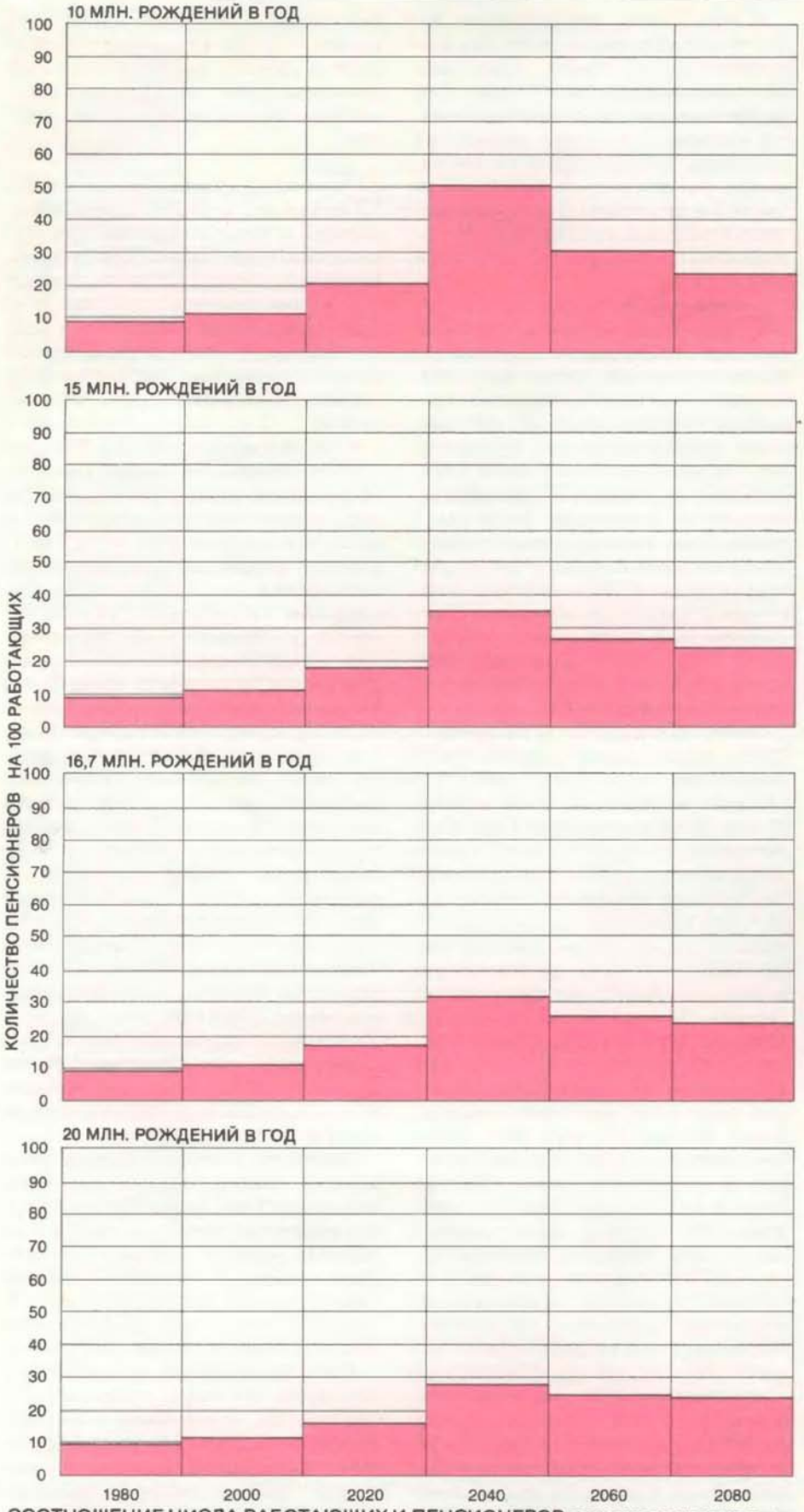
Есть еще одно обстоятельство, которое следует иметь в виду, ставя целью достигнуть определенной численности населения. Это социальная напряженность, вызываемая мерами строгого ограничения количества детей в семьях. Как я уже упоминал, конечная численность населения в пределах 1,4 млрд. человек предполагает, что в течение некоторого времени каждая супружеская пара будет заводить в среднем менее 2,2 ребенка. Если же добиваться очень низкой численности населения, то в течение переходного периода уровень рождаемости следует установить намного ниже уровня воспроизводства.

Например, конечной численности в 1 млрд. человек соответствует число рождений 15 млн. в год. При этом среднее количество детей, рожденных в начале 90-х годов, на одну семью должно быть меньше 1,5. Ни одна супружеская пара не сможет завести более двух детей; в половине семей сможет появиться по 2 ребенка, в другой —по одному.

Если остановиться на экстремальной цифре 700 млн., нужны еще более жесткие ограничения — в среднем менее одного ребенка на супружескую пару. Эти требования, а также угроза неблагоприятных изменений возрастного состава делают неосуществимым в настоящее время достижение численности населения в 700 млн. человек. При 16,7 млн. рождений в год минимальное число новорожденных в среднем на одну пару должно составлять 1,7.

Власти КНР уже начали искать пути

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU



СООТНОШЕНИЕ ЧИСЛА РАБОТАЮЩИХ И ПЕНСИОНЕРОВ зависит от уровня рождаемости. Высота столбцов показывает, каково будет это соотношение при 10; 15; 16,7 и 20 млн. рождений в год (сейчас оно составляет 9:100). Максимум будет достигнут в 2040 г., когда многочисленное поколение 1960—1980 гг. выйдет на пенсию. Темпы роста данного соотношения зависят от того, сколько людей будет находиться в трудоспособном возрасте в 2040 г., т.е. в конечном счете от числа рождений в год на протяжении ближайших десятилетий. При уровне 10 млн. к 2040 г. соотношение станет 50:100, при 16,7 млн. максимальное соотношение будет 33:100, при 20 млн.—примерно 27:100.

решения проблем, вызванных быстрым снижением рождаемости. Им предстоит трудный выбор, особенно в вопросе обеспечения занятости. Одна из возможностей избежать появления слишком большого числа иждивенцев — это сделать более поздним уход на пенсию. При этом доля пенсионеров по сравнению с количеством работающих сократится. Если пенсионный возраст повысить до определенного уровня, нынешнее соотношение работающих и иждивенцев можно сохранить и в будущем, несмотря на то что средний возраст населения заметно увеличится.

Сейчас пенсионный возраст в Китае — 60 лет. При числе рождений 16,7 млн. в год имевшееся на 1980 г. соотношение иждивенцев и работающих (9:100) можно было бы сохранять, подняв пенсионный возраст до 62 лет в 2000 г., до 67 лет в 2020 г. и до максимума в 73 года в 2040 г. После этого его можно медленно снижать.

НЕСОМНЕННО, этот план вызовет возражения. Одни — со стороны пожилых людей, которые сочтут несправедливым, если им придется работать и после 70 лет, в то время как их родители уходили на пенсию в 60, другие, более важные, — со стороны молодежи, которая будет считать, что старики удерживают за собой хорошие места. Какое бы решение ни было принято, престарелые должны быть обеспечены. Поэтому если их окажется много, то придется выбирать — либо разрешить им сохранить свою работу, либо проводить на пенсию и содержать за счет налоговых поступлений.

Сейчас, однако, основная проблема заключается в обеспечении занятости молодых людей, которые родились в 60-х годах и теперь большими группами вливаются в трудоспособное население. Частичное решение уже осуществляется — это децентрализация управления в обеспечении занятости и передача полномочий местным органам, в том числе коммунам и производственным бригадам. Местные административные власти должны поддерживать финансовый баланс, а также баланс людских ресурсов, используя всю предлагаемую рабочую силу. В сельской местности угрозой занятости стало применение грузовых автомобилей и механических плугов, повысившее производительность сельского труда.

Чтобы найти применение избыточной рабочей силе и увеличить производство продовольствия, правительство начало разрешать отдельным крестьянам возделывать личные участки и продавать свою продукцию на рынках под контролем властей. Такая политика, однако, возрождает прежние формы деревенского уклада, в том числе заинтересованность в увели-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

КИТАЙСКАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ТЕХНИКА по стандартам развитых стран представляется примитивной. Однако ее применение в коллективных хозяйствах сократило потребность в рабочей силе. Фотография сделана автором в провинции Сычуань во время поездки в Китай в 1982 г. Тележка, изображенная на фотографии, приводится в движение бензиновым двигателем. Таким двигателем может быть оснащен и ручной плуг. В Китае не много пригодных для обработки земель, которые не возделывались бы в настоящее время. Поэтому увеличение производительности труда, даже за счет применения простой техники, вынуждает правительство создавать дополнительные рабочие места в промышленности, чтобы занять тех, кто не нужен более на фермах.

чении семьи. Расширение личных хозяйств может подорвать усилия правительства по регулированию роста населения.

Демографические проблемы стояли остро и в дореволюционном Китае. Многочисленные крестьянские восстания, направленные против крупных землевладельцев, завершались в случае успеха сменой правящей династии. С закреплением новой династии налоги повышались, и землевладельцы должны были влезать в долги, чтобы выполнить требования властей. Рано или поздно они оказывались не способными платить, продавали свои наделы и вновь становились арендаторами у крупных землевладельцев, способных выдержать налоговое бремя.

По мере роста коррупции правящей верхушки жалованье государственных служащих, в том числе и солдат, снижалось. Низкооплачиваемая армия была ненадежна, и вскоре очередное восстание голодных крестьян свергало режим. Поскольку системы землевладения и налогообложения не менялись, цикл начинался вновь.

Демографическая проблема была одной из главных в этом цикле. В Китае до сих пор цитируют слова Хан Фэйцзю, написанные 2500 лет назад: «Люди считают, что пятеро сыновей — это не слишком много, а каждый из сыновей тоже имеет пять сыновей. Поэтому людей становится больше, а богатства — меньше; люди упорно трудятся, а получают мало». Дж. Голдстон из Северо-Западного университета показал, что во времена династии Мин существовала взаимосвязь между повышением цен на продовольствие, ростом населения и восстаниями. С конца XIV по конец XVI в. население Китая более чем удвоилось, хотя возделываемые площади увеличились менее чем на 50%. Цена на рис в этот период выросла в три с лишним раза, а народные восстания следовали одно за другим.

РЕВОЛЮЦИЯ 1949 г. уничтожила существовавшую форму землевладения, которая приводила к упомянутой цикличности общественного движения. Что более существенно, она превратила китайское крестьянство в бдительную и политически активную группу; после революции эти сдвиги были закреплены благодаря расширению системы образования. Именно глубокими социальными изменениями объясняется во многом успех организованного демографического планирования в Китае. Однако снижение роста населения порождает, как мы показали, и сложные социальные проблемы.

Власти пользуются твердой поддержкой со стороны народа, и выдвигаемая ими программа встречает повсеместное одобрение. В то же время газеты и другие периодические издания в Китае раскрывают и критикуют проявления различных форм принуждения.

Значительная доля национального продукта, иногда до 30%, изымается из потребления в качестве капитала, но далеко не вся распределяется должным образом. Часть этих средств идет на содержание громадного бюрократического аппарата. Доходы в городах в среднем в три раза превышают доходы в сельской местности. Что же касается успехов в демографическом планировании, то, как считает Дж. Эйрд из Бюро переписи населения США, «одним из главных факторов здесь является прямое административное давление на семьи со стороны отвечающих за планирование чиновников, которые в свою очередь подвергаются давлению сверху с целью быстрейшего достижения результатов». В китайской печати появляются сообщения о принудительных абортах, отмечаются случаи детоубийства, когда первый ребенок оказывается девочкой. Раздаются протесты и когда родителям единственного ребенка — девочки — даются исключительные привилегии. Можно ожидать, что эти и другие формы сопротивления будут усиливаться по мере того, как политика опоры на собственные силы будет делать экономику менее регулируемой.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Как гены контролируют врожденное поведение

Применение техники рекомбинантных ДНК позволило выявить семейство генов, кодирующих ряд родственных нейропептидов. У морской улитки их координированное образование определяет комплекс фиксированных действий при откладке яиц

РИЧАРД Х. ШЕЛЛЕР, РИЧАРД АКСЕЛЬ

У ЖИВОТНЫХ многие виды стереотипного поведения являются врожденными. Они складываются в ходе эволюции и передаются в ряду поколений, практически не изменяясь под влиянием опыта или обучения. Они свойственны всем особям одного вида и не наблюдаются у других. Этологи называют такие врожденные стереотипы комплексами фиксированных действий: это акты поведения, состоящие из нескольких независимых элементов, которые либо выполняются все в данной, строго определенной последовательности, либо не выполняются вовсе. Каждое животное получает по наследству уникальный, характерный для своего вида набор комплексов фиксированных действий.

Каким путем животные наследуют такой образ поведения? В действительности, как известно, от родителей к потомкам передается ДНК. Гены, находящиеся в ДНК, могут определять стереотипное поведение двумя способами. Прежде всего от них зависят все детали многочисленных связей нервных и мышечных клеток, которые в процессе развития животного занимают каждая свое место и оказываются нужным образом соединенными друг с другом. Однако данный стереотип поведения проявляется только в определенных ситуациях или на определенных стадиях жизненного цикла животного и обеспечивается координированной активностью строго определенной части всей сети нейронов и мышечных клеток. Следовательно, помимо самой этой сети гены должны задавать и управляющие элементы, т.е. вещества, способные специфически возбуждать предсуществующие связи, чтобы приводить к проявлению комплекса фиксированных действий в нужное время.

Используя подходы молекулярной биологии, мы занялись поиском таких управляющих элементов и генов, обеспечивающих их синтез, в надежде узнать что-либо о факторах, играющих роль в формировании систем врожденного поведения, о том, как они возникали у разных видов и как развиваются в пределах вида.

Сложность в том, что особенности поведения в отличие от таких признаков, как цвет глаз или наследственные дефекты гемоглобина, по-видимому, прямо не отражают состояния соответствующих генов. Центральная нервная система интегрирует и преобразует команды генов способами, которые в большинстве своем недоступны для экспериментального изучения. И чем сложнее нервная система, тем неуловимее связь между набором генов (генотипом) и наблюдаемыми признаками (фенотипом). Для исследования генов, отвечающих за поведение, нужен организм, достаточно сложный, чтобы обладать интересным поведением, и в то же время настолько простой, чтобы можно было установить связь его поведения с конкретными клетками. Мы выбрали как раз такой организм: это моллюск *Aplysia* — лишенная раковины морская улитка.

APLYSIA — довольно крупное животное, ее вес 2—4 кг. Центральная нервная система относительно проста: она состоит примерно из 20 тыс. нервных клеток, организованных в ганглии — четыре пары головных и один брюшной, или абдоминальный. (В мозгу млекопитающих число нейронов, напротив, огромно: их приблизительно в миллион раз больше.) Кроме того, нейроны *Aplisia* могут достигать миллиметра в диаметре, что более чем в 1000 раз превышает размеры типичной нервной клетки человеческого мозга. Такие гигантские клетки содержат сравнительно много ДНК — до 1 мкг, т.е. в несколько сотен тысяч раз больше, чем нейрон млекопитающего. Возможно, у этого животного одна клетка справляется с функциями, которые в более сложной нервной системе выполняет большая группа связанных друг с другом нейронов. В ряде иследований, среди которых прежде всего следует отметить замечательные работы Э. Кэндела и его коллег (Колледж терапии и хирургии Колумбийского университета), у *Aplysia* установлено соответствие между определенными типами поведения и функционированием конкретных клеток. Мы пошли дальше и, изучая специфические гены в отдельной клетке, обнаружили связь между типом поведения и активностью индивидуальных генов.

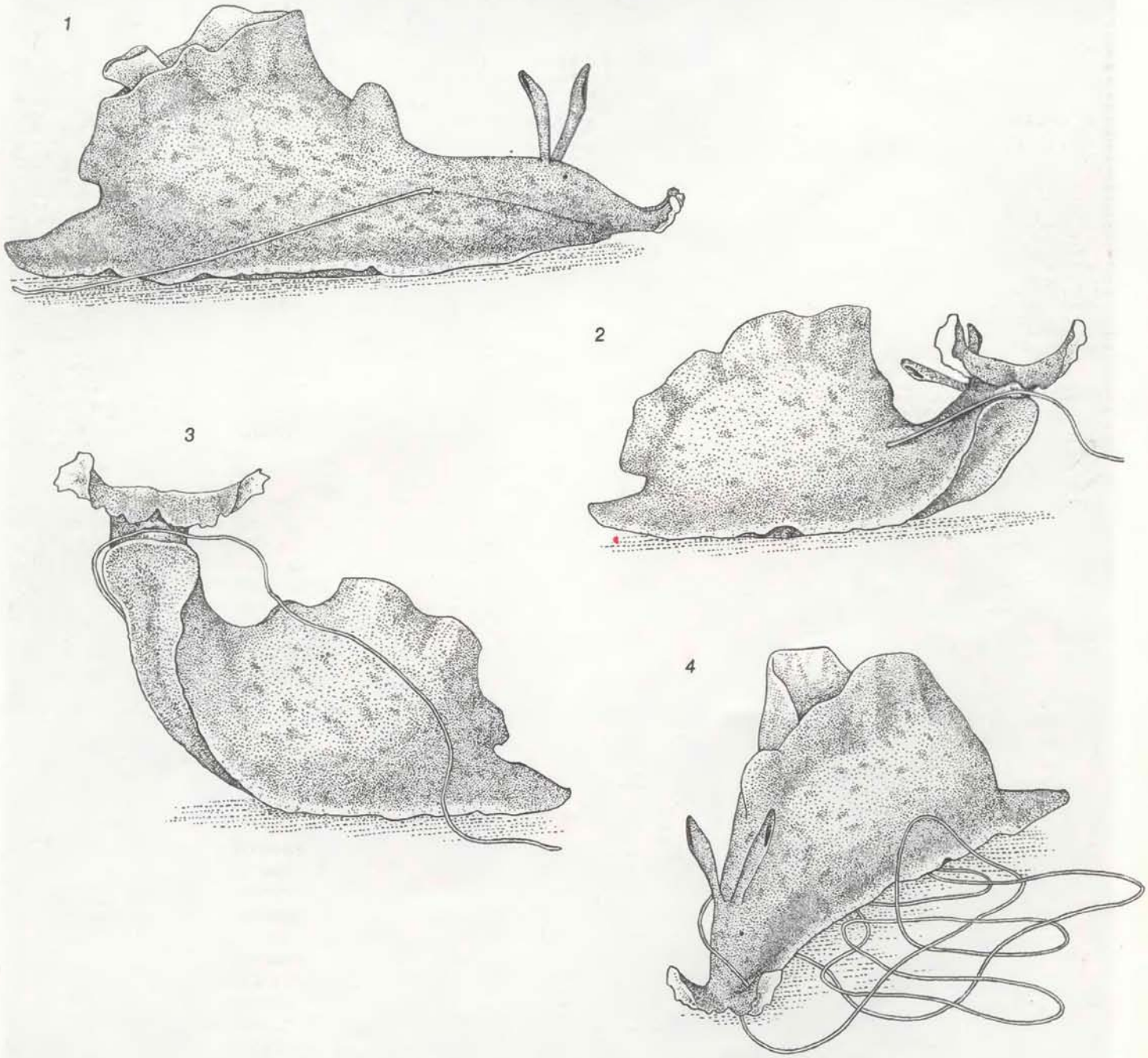
Взрослые особи *Aplysia* бóльшую часть времени заняты питанием и размножением. Поведение улитки при размножении имеет характер ритуала и состоит из серии стереотипных комплексов поведения: ухаживания, спаривания и откладки оплодотворенных яиц. *Aplysia* — истинный гермафродит, т.е. каждая особь может играть роль как самца, так и самки, причем чаще всего одновременно. Обычно улитки копулируют по нескольку штук, соединяясь в цепочки из 5 и более особей; иногда цепочки замыкаются в кольца. Оплодотворение внутреннее, осуществляется в протоке гермафродитной железы, а затем улитка откладывает оплодотворенные яйца и они развиваются во внешней среде — в воде. Мы исследовали гены, связанные со сложным, но полностью стереотипным комплексом поведения, который обеспечивает откладку яиц.

Кладка яиц *Aplysia* представляет собой длинный шнур, содержащий более миллиона яиц. Как только под действием сокращающихся мускулов протока гермафродитной железы яйца начинают выталкиваться наружу, улитка прекращает двигаться и питаться. Частота дыхания и сердцебиения возрастает. Улитка захватывает «шнур» яиц ртом и, двигая головой вперед и назад, помогает ему выйти из протока железы, а затем закручивает в беспорядочный моток. Небольшая железа, находящаяся во рту, секретирует клейкое студенистое вещество, которое прилипает к клубку яиц. Наконец, энергичным движением головы животное при-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

крепляет кладку к какой-нибудь твердой основе, например к поверхности камня. Как видим, несколько совершенно различных действий объединено в строго определенную последовательность. Это обеспечивает выполнение одной функции — такую откладку оплодотворенных яиц, что они оказываются защищенными во время развития.

Какие вещества управляют этим комплексом согласованных действий и какие гены кодируют эти вещества? Прежде всего где такие вещества образуются? Несколько лет назад Э. Кэндел и И. Купферман идентифицировали в верхней части брюшного ганглия два скопления нейронов — пазушные клетки. Если их экстракт вводили живым улиткам, он вызывал весь комплекс поведения, связанный с откладкой яиц, даже у тех животных, которые не спаривались и яйца у которых не были оплодотворены. Позднее С. Арч (Колледж Рида) и Ф. Штрумвассер (Калифорнийский технологический институт) выделили один из активных факторов пазушных клеток и установили, что это пептид (т.е. небольшой белок), состоящий из 36 аминокислот. Они обнаружили, что при введении улиткам пептида у них наблюдаются элементы поведения, характерные для откладки яиц, но не все, а лишь некоторые. Найденный пептид, который стали называть гормоном откладки яиц (ГОЯ), — это только один из нескольких факторов, управляющих репертуаром поведения. Штрумвассер определил его аминокислотную последовательность. Между последовательностью аминокислот в белке и последовательностью нуклеотидов в гене, который его кодирует, существует соответствие, поэтому установление структуры пептида перенесло проблему биологии поведения в область компетенции молекулярной генетики.



ПОВЕДЕНИЕ ПРИ ОТКЛАДКЕ ЯИЦ крупной морской улитки *Aplysia* в лабораторном аквариуме. При сокращении мышц протока гермафродитной железы наружу выталкивается шнур, состоящий из капсул с яйцами (*1*). Животное захватывает шнур ртом (*2*) и, двигая головой вперед и назад (*3*), вытягивает его из протока. Затем улитка прикрепляет моток шнура к твердому субстрату. В случае, представленном на рисунке, такое поведение наблюдалось у улитки, которая не спаривалась, но ей был введен экстракт из пазушных клеток. В этих нейронах синтезируется полипротеин, расщепляющийся с образованием ГОЯ и ряда других пептидов, связанных с поведением при откладке яиц.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

В СОТРУДНИЧЕСТВЕ с Л. Мак-Аллистер, Дж. Джексоном, Дж. Шварцем и Э. Кэнделом мы приступили к выделению из генома *Aplysia* (геном — это полный набор всех генов организма) гена, кодирующего ГОЯ. Процедура выделения специфических генов основана на технике рекомбинантных ДНК. Суть состоит в том, что получают «библиотеку» молекул рекомбинантных ДНК, содержащих по небольшому фрагменту исследуемого генома, а затем проводят сканирование библиотеки с помощью специфической пробы, позволяющей обнаружить нужный ген. Мы расщепили ДНК улитки на много тысяч фрагментов, и, согласно расчетам, каждый фрагмент содержал

БРЮШНОЙ ГАНГЛИЙ *Aplysia* (увеличение × 40). В верхней части фотографии видны скопления пазушных клеток, охватывающие два толстых нервных пучка. В пазушных клетках синтезируется ГОЯ. В ганглии можно различить очень крупные нейроны. Многие из них идентифицированы; расположение этих нейронов у всех представителей вида неизменно. ГОЯ и сопутствующие ему пептиды специфически влияют на импульсацию определенных нейронов.

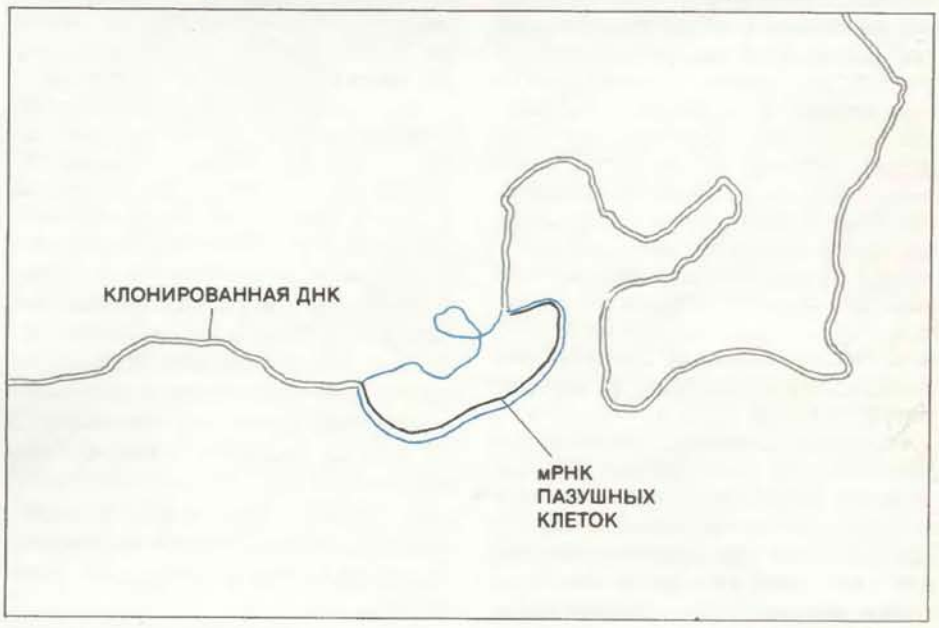
WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

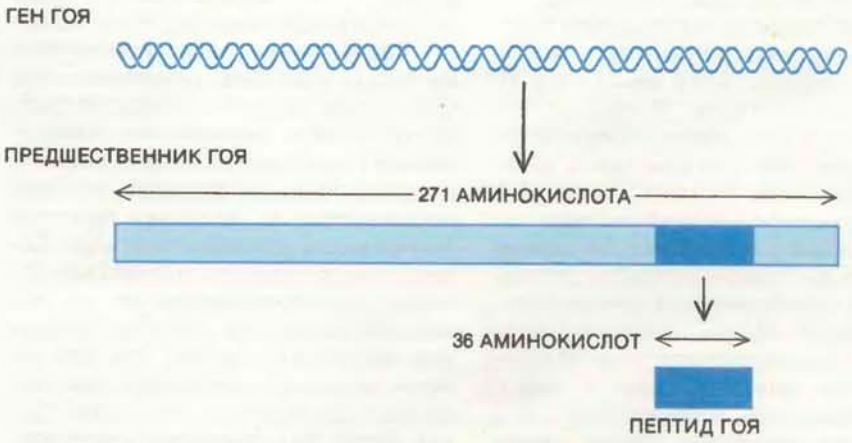
один или самое большее несколько генов. Затем фрагменты ДНК *Aplysia* ковалентно соединили с ДНК вируса бактерий, фага λ, и провели «упаковку» рекомбинантной ДНК в белок фаговой оболочки. Гибридные фаги служили векторами для введения фрагментов ДНК в бактерии и их клонирования. При добавлении фагов к культуре бактерий каждая фаговая частица заражает одну клетку, размножается там и в конце концов убивает ее. Потомство фага заражает и убивает соседние клетки, в результате чего на слое бактериальной культуры образуется дырочка, или бляшка. В каждой бляшке находятся миллионы фагов, ведущих происхождение от одной и той же фаговой частицы, т.е. бляшка содержит клон из миллионов копий одного из фрагментов ДНК *Aplysia*.

В поисках пробы, которая позволила бы просканировать клоны и обнаружить ген ГОЯ, мы исходили из того, что ГОЯ интенсивно синтезируется в пазушных клетках, и поэтому они должны содержать много мРНК ГОЯ. Здесь необходимы некоторые пояснения. ДНК — это двунитевая молекула, каждая нить представляет собой цепочку из мономеров (нуклеотидов) четырех типов. Генетическая информация закодирована в последовательности нуклеотидов гена. Группы из трех нуклеотидов — это кодоны, или кодовые слова, каждое из них определяет одну из 20 различных аминокислот — мономеров белковых молекул. При образовании белков ДНК не транслируется непосредственно. Прежде кодирующая цепь ДНК транскрибируется в комплементарную нить другой нуклеиновой кислоты — матричной РНК (мРНК), последовательность которой соответствует последовательности гена. При синтезе белков именно мРНК транслируется согласно генетическому коду.

Поскольку мРНК ГОЯ преобладает в пазушных клетках, но не в других тканях, мы выделили мРНК из пазушных клеток и из клеток, отличных от нервных. Была проведена ее обратная транскрипция и получена комплементарная ДНК (кДНК), которую пометили радиоактивным изотопом. Затем меченую ДНК использовали для гибридизации (т.е. связывания) с ДНК библиотеки рекомбинантных клонов. С помощью метода радиоавтографии были выявлены клоны, которые гибридизовались с радиоактивной пробой ГОЯ, но не гибридизовались с пробой, полученной из ненервных клеток.

Таким способом мы обнаружили несколько клонов с генами ГОЯ. (Как будет объяснено ниже, оказалось, что существуют три несколько различающихся гена, но они настолько сходны, что ДНК-проба пазушных клеток гибридизуется со всеми тремя.) Из этих





ГЕН ГОЯ. Фрагменты ДНК улитки соединили с ДНК бактериофага и клонировали. ДНК из клона с геном ГОЯ гибридизовали с матричной РНК ГОЯ. *Вверху*—электронная микрофотография полученной картины, *в середине*—ее схема: РНК (*черная*) гибридизуется с одной из нитей ДНК гена ГОЯ (*выделено цветом*), при этом нарушается структура двойной спирали ДНК. Когда ген ГОЯ секвенировали, оказалось, что он кодирует полипептидную цепь длиной в 271 аминокислоту. Пептид ГОЯ состоит из 36 аминокислот и представляет собой часть этого белка-предшественника (*внизу*).

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

клонов получили их рекомбинантные ДНК и исследовали гибриды ДНК с мРНК ГОЯ. На электронных микрофотографиях нам удалось точно определить, с какими участками длинных молекул рекомбинантных ДНК гибридизовалась РНК. Так были установлены границы области ДНК, представляющей собой ген ГОЯ.

ПОЛУЧИВ ген ГОЯ в изолированном виде, мы секвенировали его, т.е. определили в нем последовательность нуклеотидов. Когда известна нуклеотидная последовательность, можно, зная генетический код, определить последовательность аминокислот белка, закодированного в этом гене. Белковый продукт гена ГОЯ должен был содержать 271 аминокислоту. Однако в молекуле ГОЯ на самом деле всего 36 аминокислот, притом их последовательность оказалась частью этой длинной аминокислотной последовательности: пептид ГОЯ занимал внутренний участок, а с обоих его концов находилось по одной и той же паре аминокислот — Lys-Arg. Известно, что пара лизин — аргинин представляет собой сигнал для расщепления полипептидной цепи. В таких местах специальные ферменты разрезают длинный белок-предшественник с образованием более коротких активных белков или пептидов. Скорее всего цепь длиной в 271 аминокислоту следовало считать молекулой-предшественником, из которой вырезается ГОЯ.

Вызывало удивление, однако, что в продукте гена ГОЯ пептид ГОЯ составляет такую малую долю. Что происходит с остальной частью белка: деградирует ли она неиспользованной или тоже содержит биологически активные пептиды? Мы стали искать дополнительные сайты расщепления в последовательности. Оказалось, что всего в молекуле имеется 10 таких точек; если каждая их них узнается и в ней происходит расщепление, то из белка-предшественника ГОЯ образуется 11 различных пептидов. Вполне логичным выглядело захватывающее предположение: эти пептиды также представляют собой факторы, управляющие поведением при откладке яиц.

Э. Майери и его коллеги (Медицинская школа Калифорнийского университета в Сан-Франциско) изучали физиологический эффект нейропептидов, образующихся в пазушных клетках, поэтому мы присоединились к ним с целью выяснить, присутствуют ли в экстрактах пазушных клеток какие-либо из пептидов, предсказываемых по последовательности гена ГОЯ, а если это так, то действительно ли они играют активную роль в нервной системе. Майери и Б. Ротман выделили из скоплений пазушных клеток, идентифицировали и секвенировали еще три небольших пептида: α-фактор, β-фактор и кислый пептид пазушных клеток. Мы обнаружили, что все они кодируются в том же гене, что и ГОЯ, и также ограничены сайтами расщепления. В электрофизиологических экспериментах было показано, что ГОЯ, α- и β-факторы взаимодействуют с определенными нейронами в брюшном ганглии. Эти нейроны удалось идентифицировать. Пептиды действуют в них как нейромедиаторы: они служат посредниками при передаче электрического импульса от одного нейрона к другому.

ГОЯ действует как возбуждающий медиатор, усиливая залповую импульсацию («разряд») нейрона R15, одной из клеток брюшного ганглия. Кроме того, ГОЯ диффундирует в кровоток и возбуждает клетки гладкой мускулатуры протока гермафродитной железы, вследствие чего те сокращаются и яйца выталкиваются наружу. Другими словами, ГОЯ функционирует не только как нейромедиатор, но и как гормон. (Влияние этого пептида на мускулатуру было обнаружено раньше, чем выяснилась его роль в нервной системе, поэтому он и был назван гормоном откладки яиц.) β-Фактор пазушных клеток — это также возбуждающий медиатор. Он вызывает залповую импульсацию двух симметрично расположенных нейронов L1 и R1, функции которых не установлены. α-Фактор пазушных клеток является тормозным медиатором. Он подавляет импульсацию группы из четырех нейронов L2, L3, L4 и L6. Оказалось также, что при синтезе этого пептида действует механизм обратной связи: α-фактор накапливается, так как способен возбуждать пазушные клетки, в которых он образуется.

Связь трех закодированных в одном гене нейропептидов — α- и β-факторов и ГОЯ — с активностью разных групп нейронов и мышечных клеток позволяет предполагать, что становление сложного поведения, реализующегося при откладке яиц, обеспечивается крайне интересным механизмом. Единственный ген кодирует «полипротеин» — длинную белковую молекулу, которая расщепляется на несколько коротких биологически активных пептидов. Если все составляющие поведения при откладке яиц опосредованы пептидами, закодированными в этом гене, то должен наблюдаться эффект «все или ничего»: ни один из элементов поведения не будет проявляться в отсутствие других. Более того, поскольку синтезируется единый предшественник, ряд связанных элементов поведения должен быть жестко координирован во времени. Таким образом, один ген, кодируя несколько активных нейропептидов, может диктовать серию элементов поведения — врожденный комплекс фиксированных действий.

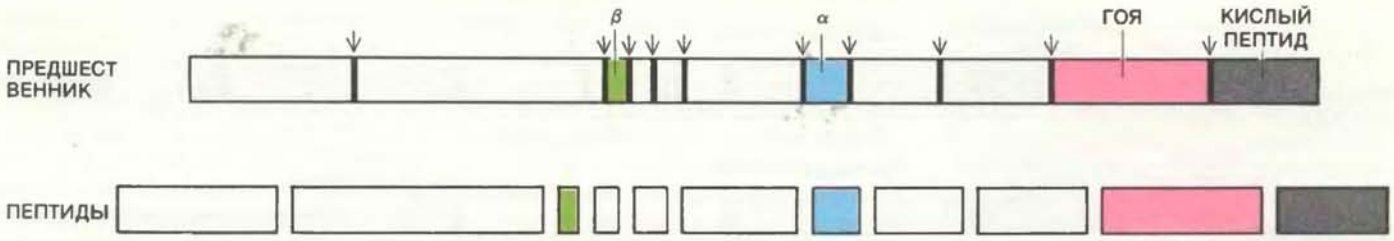
ЕСЛИ пептиды, образующиеся из одного и того же белка-предшественника, опосредуют поведение при откладке яиц, возникает вопрос: от чего зависит синтез этих веществ и как достигается, что их выделение происходит именно в тот момент, когда животному нужно начать данный ряд поведенческих актов? ГОЯ и другие пептиды, предположительно управляющие откладкой яиц, образуются после длительного электрического возбуждения пазушных клеток. Штрумвассер и его коллеги выделили и секвенировали два пептида (их обозначили *A* и *B*), которые синтезируются в железе преддверия — органе половой системы улитки. Когда пептиды из железы преддверия вводили животному, возбуждались скопления пазушных клеток, что вызывало выделение ГОЯ и сопутствующих ему пептидов пазушных клеток. До сих пор не показано, действительно ли пептиды *A* и *B* запускают процесс откладки яиц в естественных условиях, но в эксперименте они выступали как факторы, определяющие выделение пептидов пазушных клеток.

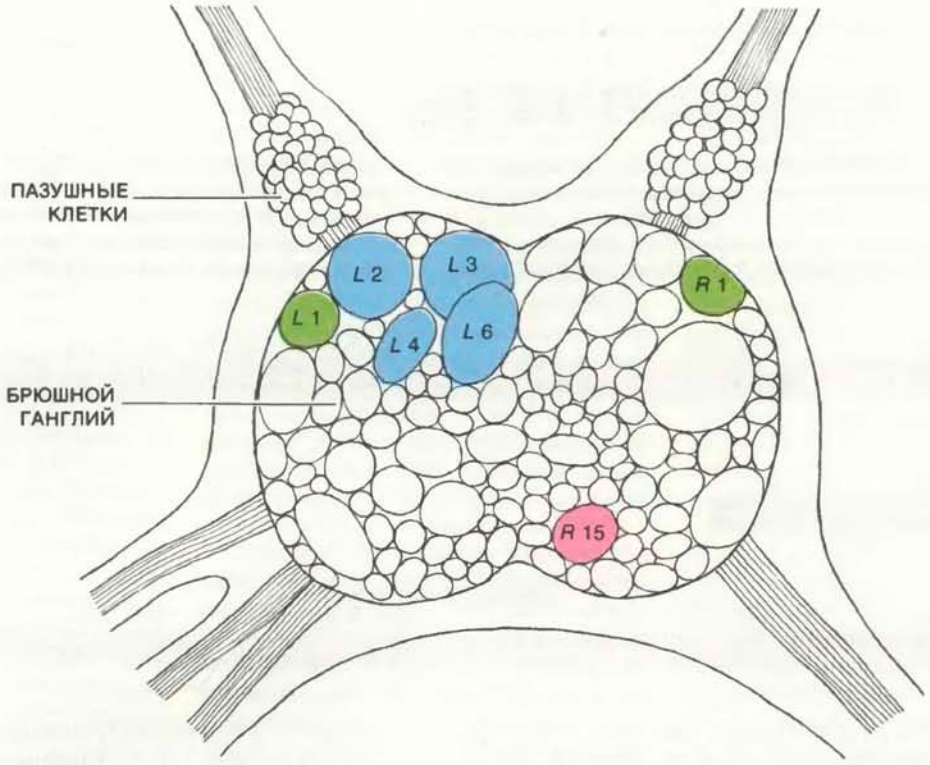
Проанализировав аминокислотные последовательности пептидов *A* и *B*, мы заметили, что в предшественнике ГОЯ есть участки, гомологичные (т.е. идентичные или почти идентичные) участкам пептидов из железы преддверия. Напомним читателю, что в опытах по клонированию проба, полученная из мРНК ГОЯ, гибридизовалась с тремя несколько различающимися последовательностями ДНК, только одна из которых кодирует ГОЯ и сопутствующие ему пептиды пазушных клеток. Можно предполагать, что эти три последовательности составляют семейство генов, один из которых кодирует ГОЯ, а два других — пептиды *A* и *B*.

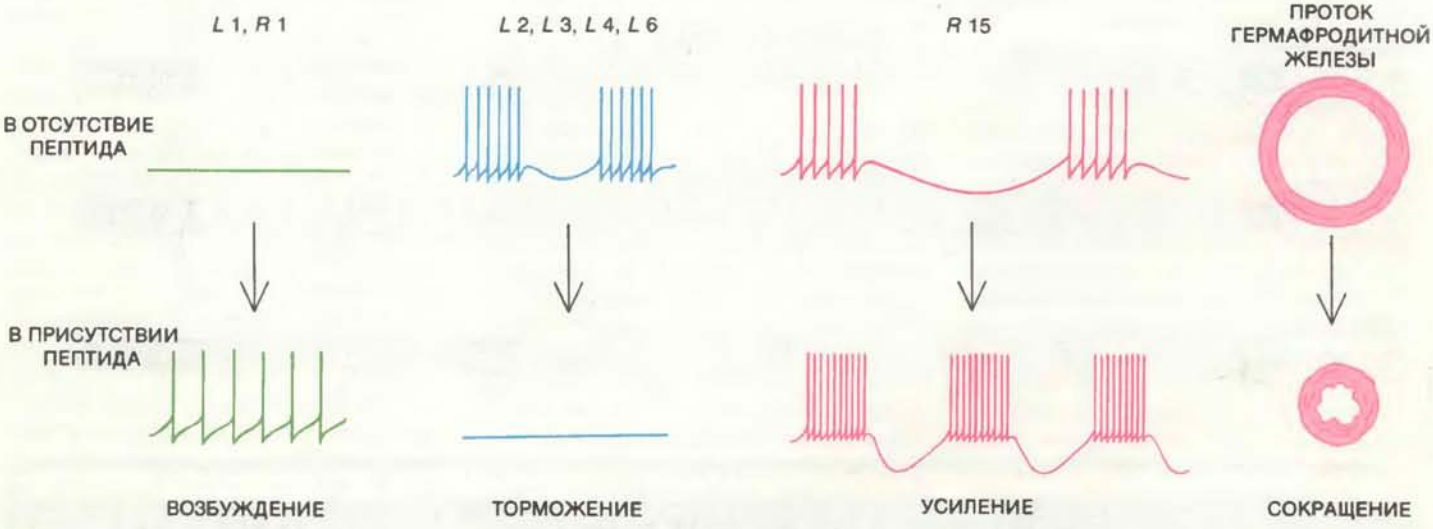
В серии экспериментов по гибридизации нам удалось показать, что мРНК, соответствующая двум генам, которые родственны гену ГОЯ, действительно синтезируется в железе преддверия, где Штрумвассер обнаружил пептиды *A* и *B*. Мы установили нуклеотидные последовательности обоих генов и по ним согласно генетическому коду определили аминокислотные последовательности белков-продуктов. Сразу стало ясно, что, хотя эти гены близко родственны гену ГОЯ, они кодируют не пептид ГОЯ, а пептиды *A* и *B* железы преддверия. Три гена следует считать небольшим семейством. Очевидно, они имеют общее эволюционное происхождение, но дивергировали и ныне кодируют различные, хотя и функционально связанные, наборы пептидов.

Сходство и различия выявляются при детальном сравнении последовательностей кодонов и аминокислот (см. рисунок на с. 34). Каждый ген ко-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

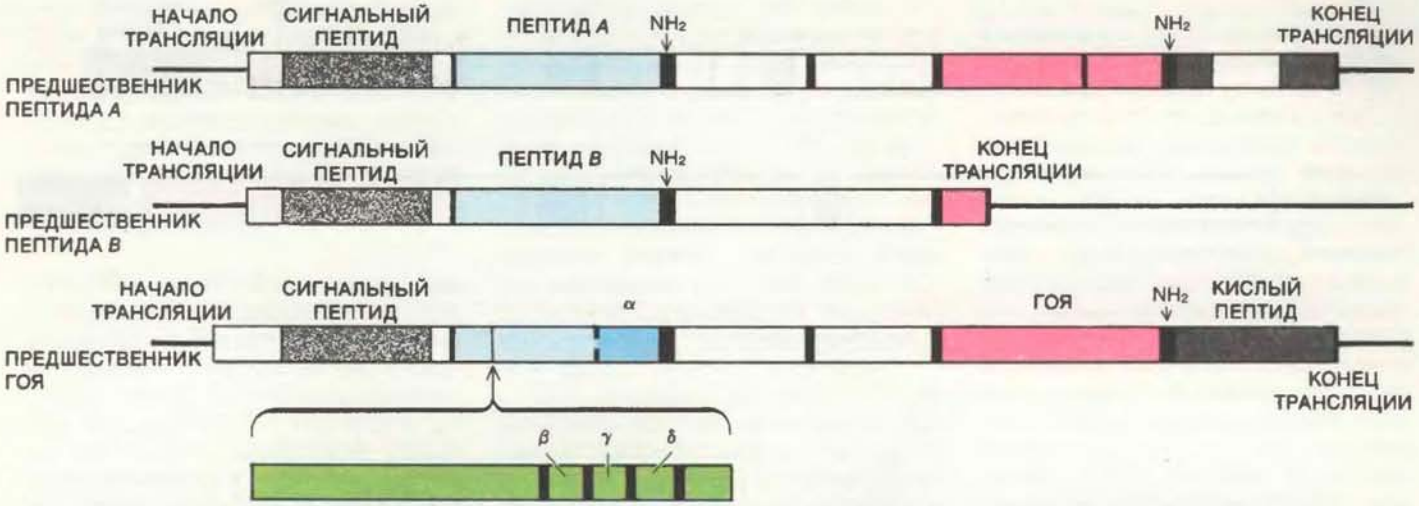




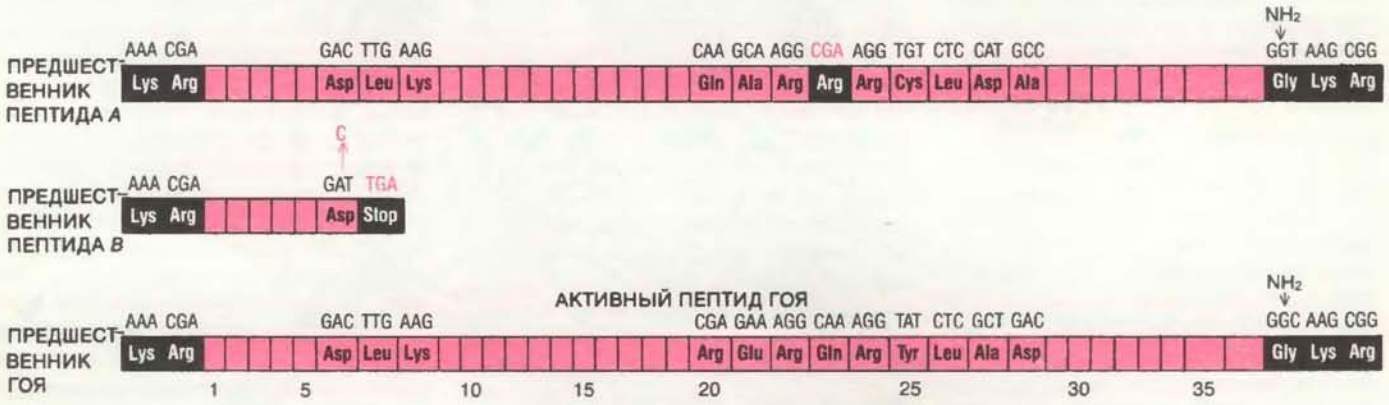


ПРЕДШЕСТВЕННИК ГОЯ — белок, в состав которого входит несколько активных пептидов. В молекуле предшественника (*вверху*) имеется 10 сайтов (*отмечены стрелками*), в которых полипептидную цепь могут разрезать ферменты эндопептидазы. При расщеплении по всем сайтам должно образоваться 11 пептидов (*второй рисунок сверху*). Известно, что пазушные клетки выделяют 4 из них: α- и β-факторы, ГОЯ и кислый пептид. Те пептиды, которые выделены цветом, функционируют в качестве медиаторов, влияя определенным образом на активность конкретных нейронов брюшного ганглия. β-Фактор возбуждает клетки L1 и R1. α-Фактор тормозит клетки L2, L3, L4 и L6. ГОЯ усиливает импульсацию нейрона R15. ГОЯ выделяется также в кровоток и действует как гормон, вызывая сокращение мускулатуры в протоке гермафродитной железы. *Внизу* схематически показано, как действуют пептиды α, β и ГОЯ на свои мишени.

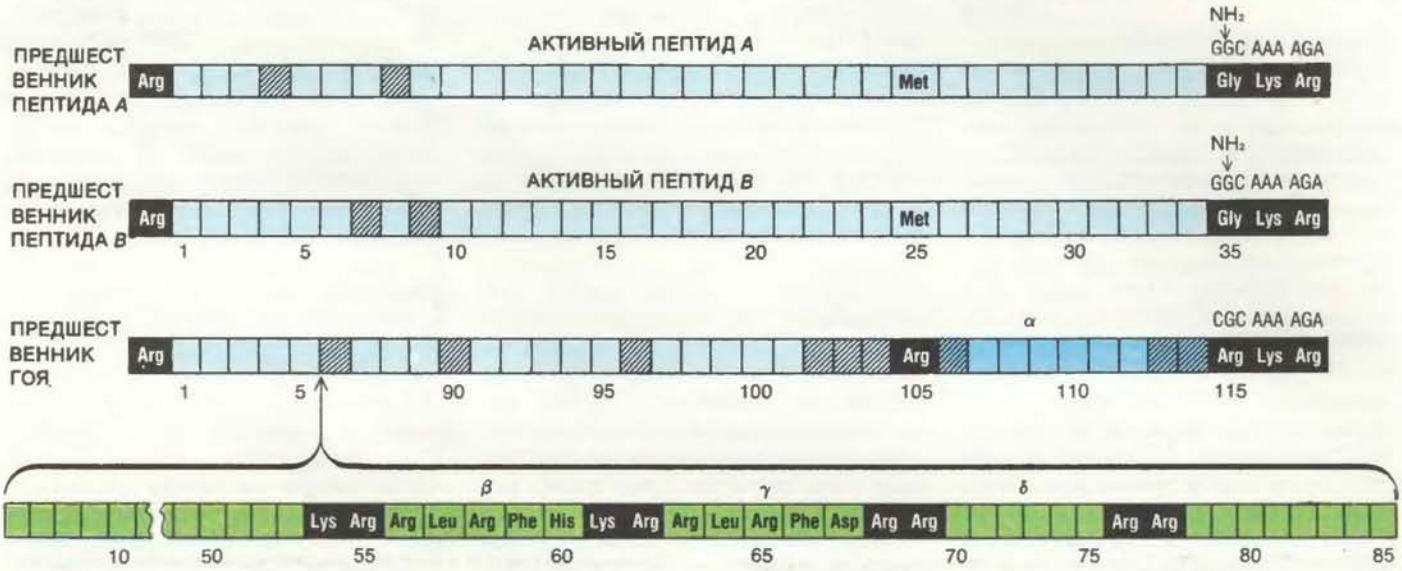
WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU



ТРИ БЕЛКА-ПРЕДШЕСТВЕННИКА, кодируемые генами семейства ГОЯ. Предшественники расщепляются в специфических сайтах (*черные полоски*) с образованием активных пептидов, некоторые из них подвергаются аминированию (NH_2). Во всех предшественниках есть одинаковая сигнальная последовательность (*слева*) и несколько гомологичных участков. Вследствие замен нуклеотидов с генов *A* и *B* активный ГОЯ не синтезируется. В гене ГОЯ из-за вставки, кодирующей 80 аминокислот, последовательность пептидов *A* и *B* прервана и образуются другие пептиды.



ОБЛАСТИ ГОМОЛОГИИ ГОЯ во всех трех генах очень близки. (Здесь показаны лишь некоторые из наиболее важных кодонов и аминокислот.) Ген ГОЯ кодирует активный пептид ГОЯ, а два других гена нет. Ген предшественника пептида *A* в положении 23 отличается от гена ГОЯ (вместо A стоит G), что приводит к замене глутамина на аргинин в белке-продукте и в нем возникает последовательность из трех аргининов подряд, т.е. потенциальный сайт расщепления. В гене предшественника пептида *B* в шестом кодоне отсутствует один нуклеотид (C), это сдвигает рамку считывания так, что седьмым триплетом становится TGA, который является стоп-кодоном и вызывает терминацию трансляции.



ВСТАВКА, КОДИРУЮЩАЯ 80 АМИНОКИСЛОТ, в гене ГОЯ нарушает область гомологии с пептидами *A* и *B*. Молекула белка в этом участке расщепляется по сайтам, содержащим пару лизин—аргинин, с образованием трех пептидов: β-, γ-, δ-факторов пазушных клеток. (Факторы β и γ почти идентичны; вероятно, когда-то произошла дупликация короткой последовательности ДНК.) При замене метионина в положении 25 предшественников пептидов *A* и *B* на аргинин (он 105-й в предшественнике ГОЯ) возникает сайт расщепления и образуется еще один активный пептид, α-фактор пазушных клеток. За пределами вставки все предшественники очень похожи. Сайты аминокислотных различий заштрихованы.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

дирует белок-предшественник, в котором сайты, содержащие пару лизин — аргинин (иногда один аргинин или два аргинина подряд), окаймляют блоки аминокислот, становящиеся после расщепления активными пептидами. Во всех трех предшественниках на одном из концов есть характерная сигнальная последовательность из 25 аминокислот, с которой начинается процессинг полипептидной цепи. Новосинтезированная молекула белка поступает в полость, окруженную системой мембран, которая называется шероховатым эндоплазматическим ретикулумом. Там происходит ее процессинг: сигнальная последовательность отщепляется, а к оставшейся цепи присоединяются молекулы сахаров и фосфаты. После этого предшественник перемещается в аппарат Гольджи, где расщепляется на пептиды. Они оказываются заключенными в мельчайшие мешочки, или везикулы. В ответ на определенные стимулы везикулы сливаются с внешней мембраной секретирующей клетки и их содержимое попадает во внеклеточную среду. Теперь пептиды получают возможность взаимодействовать с соседними клетками, диффундировать по ганглию или поступать в кровоток.

Последовательности предшественников пептидов *A* и *B* и предшественника ГОЯ различаются за пределами сигнальной последовательности. Рассмотрим сначала предшественники пептидов *A* и *B*. Оба пептида содержат по 34 аминокислоты, в обоих начало определяется сайтом, содержащим один остаток аргинина, а в конце молекулы располагается последовательность глицин — лизин — аргинин. Эта тройка аминокислот служит сигналом не только для расщепления, но и для трансаминирования. При трансаминировании к концу пептида присоединяется аминогруппа (NH_2), которая замещает обычную гидроксильную (OH) группу, благодаря чему конец «блокируется» и пептид становится, вероятно, более устойчивым к деградации. Далее в молекулах предшественников пептидов *A* и *B* имеется участок длиной 47 аминокислот, не гомологичный ни одному из известных пептидов. За ним расположен еще один сайт расщепления (лизин — аргинин), после которого находится последовательность, похожая на начальную часть пептида ГОЯ.

ГОЯ, однако, не синтезируется в железе преддверия. И анализ нуклеотидных последовательностей генов железы позволяет понять почему. В гене пептида *A* первые 22 триплета нуклеотидов этого участка идентичны началу последовательности ГОЯ. А 23-й кодон отличается всего одним нуклеотидом, что приводит к аминокислотной последовательности аргинин — аргинин — аргинин, т.е. появляется потенциальный сайт расщепления. По нему и разрезается пептид, который мог бы стать ГОЯ, если бы расщепления не произошло. В гене пептида *B* наблюдается другое изменение: в шестом кодоне утрачен один нуклеотид. Рамка считывания нуклеотидов поэтому изменена так, что рядом получается стоп-кодон, и трансляция прерывается сразу после синтеза фрагмента ГОЯ длиной всего в 6 аминокислот.

Рассмотрим теперь предшественник ГОЯ, который синтезируется в пазушных клетках. По последовательности его ген очень близок к генам, кодирующим пептиды *A* и *B*, и тем не менее ген кодирует не эти пептиды, а ГОЯ и несколько других пептидов, обеспечивающих откладку яиц. Предшественник начинается с той же сигнальной последовательности, которая имеется в предшественниках пептидов *A* и *B*. За ней следуют 5 аминокислот, характерных для пептида *B*. А вот дальше последовательности предшественников ГОЯ и пептидов *A* и *B* совершенно различны. Ген ГОЯ содержит последовательность из 240 нуклеотидов, которой нет в генах пептидов *A* и *B*. Эта вставка содержит четыре сигнала расщепления, которые делят ее на последовательности трех факторов пазушных клеток: β, γ и δ. Как уже упоминалось, в брюшном ганглии β-фактор специфически влияет на нейроны L1 и R1.

После вставки в нуклеотидной последовательности гена ГОЯ рамка считывания пептида восстанавливается — здесь находится кодон шестой аминокислоты пептида *B*, а за ним последовательность, очень близкая к последовательностям двух генов, функционирующих в железе преддверия. Одно различие в этой области имеет особое значение. Из-за него возник сайт расщепления, благодаря которому из предшественника вырезаются 9 аминокислот, которые представляют собой α-фактор пазушных клеток, подавляющий, как сказано выше, импульсацию четырех нейронов в брюшном ганглии.

Далее следует участок неполной гомологии с генами *A* и *B*, за которым имеется сайт расщепления, указывающий начало пептида ГОЯ, состоящего из 36 аминокислот. На конце этого пептида, как и в пептидах *A* и *B*, имеется сигнал расщепления и трансаминирования. Между концом пептида ГОЯ и стоп-кодоном, на котором прекращается трансляция, расположено еще 27 аминокислот. Эта последовательность не что иное, как кислый пептид, который выделяется пазушными клетками вместе с ГОЯ; мишень его действия еще не установлена.

Итак, перед нами три гена, в которых имеются три области гомологии: область *A* или *B*, область ГОЯ и область кислого пептида. Более того, отдельные участки в этих трех областях почти идентичны. Значит, вполне вероятно, что все три последовательности происходят от одного и того же короткого предкового гена, который утроился, в результате чего возник более длинный белок, построенный по крайней мере из трех пептидов. Нуклеотидная последовательность, кодирующая этот белок, в свою очередь также утроилась, и появились три независимых гена, которые затем дивергировали по мере того, как специализировались на выполнении различающихся функций. Позже в них могли происходить дупликации отдельных небольших участков, на что указывает почти полная идентичность соседних пептидов β и γ. По-видимому, благодаря подобным событиям эволюция создает новые варианты пептидов, не меняя существенно исходный ген. Различающиеся гены могли в результате транспозиции попасть в далеко отстоящие участки генома и даже в другие хромосомы.

Располагая клонированными генами ГОЯ, мы получали возможность обратиться к вопросу о том, экспрессируются ли эти гены помимо пазушных клеток и железы преддверия и в других частях нервной системы *Aplysia*, а также проследить развитие нейронов, в которых экспрессируется тот или иной ген. В экспериментах, которые мы проводили в сотрудничестве с Мак-Аллистер и Кэнделом, использовались два подхода: гибридизация in situ и иммуноцитохимический метод. Гибридизация in situ основана на том, что в тех местах, где экспрессируется соответствующий ген, обнаруживается специфическая матричная РНК. Мы делали тонкий срез ткани, помещали его на предметное стекло и обрабатывали таким образом, что РНК в клетках среза становилась доступной для молекулярной гибридизации. Если ДНК с генами ГОЯ пометить радиоактивным изотопом и меченую ДНК нанести на препарат, произойдет ее гибридизация с матричной РНК, локализацию которой легко определить радиоавтографически. Иммуноцитохимический метод нужен для того, чтобы выявлять белки. На препарат наносили антитела против пептида ГОЯ, и они связывались с ним. Затем на тот же срез наносили антитела против первой антисыворотки. Ко вторым антителам был присоединен флуоресцентный краситель, благодаря чему, рассматривая препарат в люминесцентном микроскопе, можно было определить локализацию пептида в клетках.

Мы исследовали таким путем всю центральную нервную систему улитки. Даже в ганглиях, содержащих по нескольку тысяч клеток, в которых ген ГОЯ не функционирует, были обнаружены отдельные нейроны, в которых ген ГОЯ экспрессируется. Пазушные клетки и железа преддверия — места наиболее активной экспрессии генов ГОЯ, однако опыты показали, что мРНК ГОЯ и сам пептид синтезируются также в других нервных клетках, ко-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

торые образуют обширную сеть как в брюшном, так и в трех других ганглиях. Штрумвассер и А. Чиу также нашли нейроны, продуцирующие ГОЯ, вне скоплений пазушных клеток. По-видимому, ГОЯ является медиатором во всей нервной системе *Aplysia*.

Поскольку клетки, синтезирующие ГОЯ, рассеяны по всем четырем ганглиям, возникает вопрос, как образуются такие клетки при развитии организма. Методом гибридизации in situ мы установили, в каких участках нервной системы улитки гены ГОЯ впервые начинают экспрессироваться и где появляются нейроны, синтезирующие этот пептид. У всех животных нервная система формируется в результате специализации эктодермы, или наружного зародышевого слоя клеток. Гены ГОЯ активны уже на очень ранних стадиях развития улитки в зоне тех примитивных клеток стенки тела, которым предначертано стать нейронами. В дальнейшем эти клетки мигрируют из стенки тела вдоль волокон соединительной ткани к месту своей окончательной локализации, которое им отведено в нервной системе взрослого организма. Возможно, один примитивный нейрон делится и дает начало группе клеток, способных синтезировать ГОЯ, которые мигрируют не только к месту расположения пазушных клеток, но и по всей нервной системе.

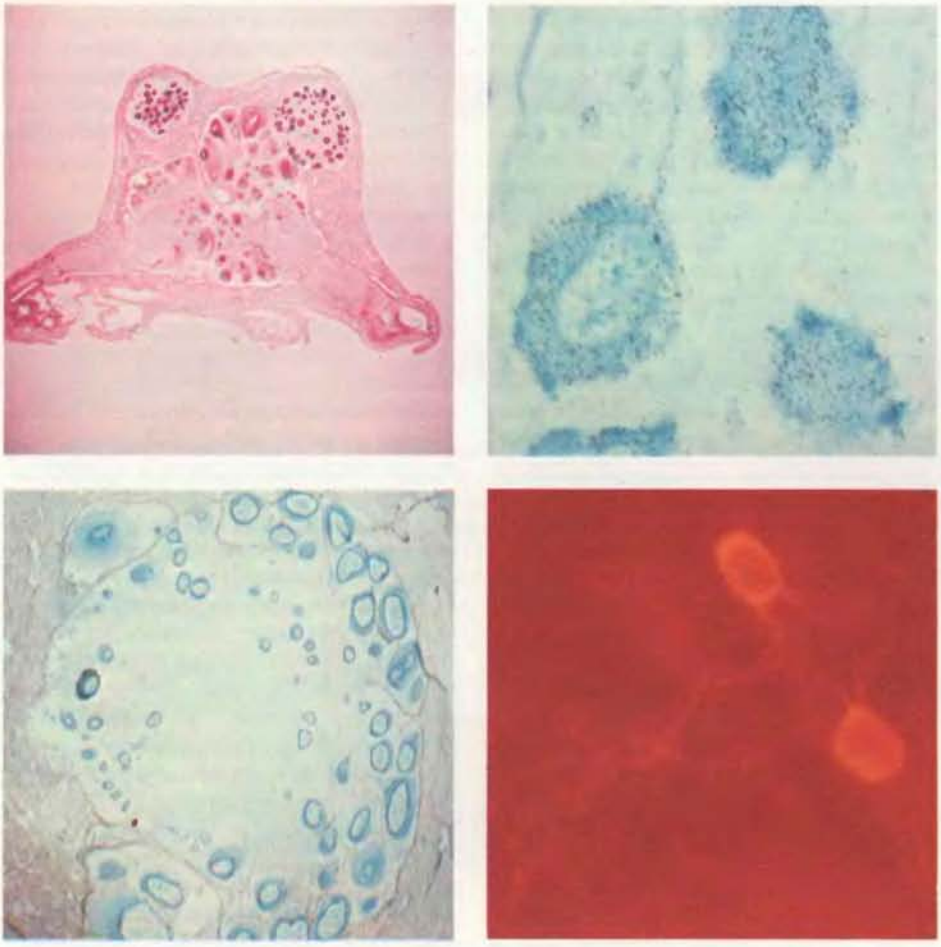
У *APLYSIA* по меньшей мере три гена кодируют нейропептиды, играющие роль в механизмах управления сложным стереотипным поведением. В мозгу млекопитающих также было обнаружено несколько пептидов, которые, по-видимому, опосредуют некоторые типы поведения (см. "Neuropeptides", by Floyd E. Bloom; "Scientific American", October, 1981). Какие свойства нейропептидов, в частности, какие особенности синтеза обусловливают их роль в поведении?

Поведенческие возможности животного определяются, по крайней мере частично, сложившейся в ходе развития сетью вставочных нейронов, связи между которыми фиксированы. Взаимодействие между нейронами локально и опосредуется нейромедиаторами — например, ацетилхолином и норадреналином, — которые выделяются из нейронов в синапсах. Молекулы медиатора диффундируют через узкую синаптическую щель от одной нервной клетки к другой, осуществляя тем самым межнейронный контакт. Нейропептиды тоже могут играть роль медиаторов в определенных локусах нервной системы. Помимо этого, однако, они секретируются в кровоток и функционируют в качестве гормонов, воздействуя на находящиеся в других тканях различные мишени и вызывая таким образом одновременно несколько эффектов. То есть пептиды создают еще одну систему связи, дополняющую жестко организованную сеть нервных клеток.

Множественность мишеней, возможно, позволяет нейропептидам обеспечивать координацию особенностей поведения с физиологическим состоянием. Например, введение позвоночным ангиотензина II, воздействующего на нейроны гипоталамуса, вызывает питьевую мотивацию. Этот пептид косвенно влияет также на почечные клетки, способствуя активному переносу воды и ионов натрия в кровоток, тогда как в норме они, наоборот, удаляются в почках из крови. Два совершенно разных эффекта направлены на достижение одной цели — обеспечить организм водой.

Другой пример — ГОЯ. У *Aplysia* он действует локально, возбуждая в ганглиях специфические нейроны, что вызывает определенные элементы поведения (движения головы назад и вперед) и физиологические изменения (увеличение частоты сердцебиений и др.). В то же время он действует как гормон, заставляя мускулы протока гермафродитной железы сокращаться и выталкивать яйца.

Как уже говорилось, у *Aplysia* из одного полипротеина выщепляется несколько пептидов, управляющих откладкой яиц. Известно, что подобным образом синтезируются и некоторые другие нейропептиды. Такой путь образования пептидов, по-видимому, дает организму ряд преимуществ. Во-первых, появляется механизм, регулирующий как синтез пептидов, так и их выделение: все пептиды, закодированные в данном гене, синтезируются од-



МЕСТА СИНТЕЗА ГОЯ обнаружены с помощью двоякого подхода: гибридизации in situ с мРНК пептида и иммунофлуоресценции. На срез брюшного ганглия наносили ДНК гена ГОЯ, меченную радиоактивным изотопом (*слева вверху*). ДНК-проба гибридизовалась с мРНК ГОЯ, локализацию которой определяли путем радиоавтографии. Темные точки—это свидетельство гибридизации, они видны в пазушных клетках (округлые скопления клеток в верхней части ганглия), а также в одном нейроне, расположенном в средней части ганглия (увеличение × 17). *Справа вверху* мРНК ГОЯ локализована в цитоплазме пазушных клеток (увеличение × 400). мРНК ГОЯ обнаружена также в одной из клеток, принадлежащих к другой группе нейронов—плевральному ганглию (*слева внизу*). При изучении иммунофлуоресцентным методом (*справа внизу*) на срез брюшного ганглия наносят антитела против ГОЯ. Затем наносят антитела против анти-ГОЯ антител, связанные с флуоресцентным красителем. Ярко-оранжевая флуоресценция выявляет локализацию ГОЯ в двух клетках брюшного ганглия.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

новременно под контролем одного регуляторного фактора. Кроме того, различные короткие пептиды, на которые расщепился их общий предшественник, могут войти затем в состав одной и той же везикулы, благодаря чему в ответ на единичный стимул они будут выделяться из клетки одновременно.

Представление об образовании множества нейропептидов из одного предшественника позволяет также справиться с чисто количественной проблемой: в геноме животного число генов не настолько велико, чтобы охватить все разнообразие элементов поведения, характерных для данного вида. Если же белок — продукт гена может расщепляться по-разному в разных клетках или в ответ на разные стимулы, то потенциальная информационная емкость гена существенно увеличивается. Случай альтернативного процессинга предшественника был обнаружен Э. Гербертом (Орегонский университет) и Дж. Робертсом (Колледж терапии и хирургии Колумбийского университета), а также Р. Мэйнсом и Б. Эйпер (Медицинская школа Университета Джонса Гопкинса). Они установили, что из одного и того же белка-предшественника в передней доле гипофиза образуется адренокортикотропный гормон (АКТГ), а в задней доле — эндорфиноподобный пептид. В клетках *Aplysia* мы столкнулись только с одним способом расщепления предшественника ГОЯ. Но, если учесть все найденные потенциальные сайты расщепления, этот полипептид может быть разрезан многими способами, что дает более 2 тыс. различных комбинаций пептидов, а каждая комбинация могла бы активировать свою форму поведения. В действительности возможности разнообразия еще больше, поскольку гены семейства ГОЯ экспрессируются в разных тканях.

ОБРАЗОВАНИЕ набора пептидов из одного полипротеина-предшественника создает предпосылки и для временных эффектов, если разные пептиды сохраняют активность в течение разного времени. На стабильность пептида могут влиять определенные посттрансляционные модификации, например трансаминирование. Имеет значение даже размер самого пептида: очень короткие пептиды не способны сворачиваться в компактные структуры и, по-видимому, из-за этого деградируют быстрее, чем длинные. Действительно, спектр аминирования и размеры пептидов откладки яиц согласуются с их функциональной ролью. Пептиды *A*, *B* и ГОЯ, действующие как гормоны, аминированы и сравнительно длинные, что обеспечивает им большее время жизни; α и β-факторы пазушных клеток, которые, по-видимому, играют роль только нейромедиаторов, короче и не аминированы. Вероятно, подобно большинству других медиаторов, они деградируют довольно быстро.

Существование генов, кодирующих полипротеины-предшественники, открывает удивительные возможности для эволюционной гибкости. Благодаря тому, что в одном и том же гене чередуются последовательности, кодирующие набор активных пептидов и нефункциональные участки, новые активные пептиды могут возникать без изменения уже сложившегося набора. Например, в гене ГОЯ имеется последовательность длиной 240 нуклеотидов, которая отсутствует в гомологичных генах, экспрессирующихся в клетках железы преддверия. Эта вставка кодирует три пептида, причем участки, соответствующие двум из них, возникли, по-видимому, в результате небольшой внутригенной дупликации. Так, не затрагивая синтез активного ГОЯ, расширился набор сопряженных с ним пептидов.

Наконец, один и тот же пептид может входить в состав разных предшественников, кодируемых разными генами. Вспомним характерные движения головы у *Aplysia* — они наблюдаются не только при откладке яиц, но и во время питания. Допустим, что один и тот же элемент поведения (движение головой назад и вперед) даже в совершенно различных ситуациях индуцируется одним и тем же пептидом (или пептидами). В данном случае пептид (или пептиды), вызывающий движение головой, может кодироваться помимо гена ГОЯ еще и другим геном, например каким-то геном, связанным с поведением при питании.

Итак, сложное поведение складывается из простых элементов, каждый из которых опосредуется одним или несколькими пептидами.

Издательство **МИР** *предлагает:*

ОСНОВЫ СЕНСОРНОЙ ФИЗИОЛОГИИ

Перевод с английского

Книга специалистов из ФРГ, выдержавшая 3 издания на немецком языке и 2 на английском, посвященная одному из самых интересных разделов нейрофизиологии. Рассмотрены общие вопросы сенсорной физиологии, строение и функции соматовисцеральной, зрительной, слуховой, вкусовой, обонятельной систем, механизмы, лежащие в основе чувств равновесия, голода и жажды. Материал изложен на вполне современном уровне, компактно и четко.

Для студентов и аспирантов университетов и медицинских институтов, а также для специалистов в области нейрофизиологии.

1984, 23 л. Цена 3 р. 80 к.

ТРЕБОВАНИЯ И СПЕЦИФИКАЦИИ В РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММ

Перевод с английского

Сборник посвящен важному этапу разработки программ — определению общих требований к программе и точному описанию задачи, которую она должна решать. Он содержит работы по универсальным языкам спецификаций, языкам описания систем баз данных и методологии разработки спецификаций. Представлены как широко признанные методики, так и новые экспериментальные. В числе авторов — известные американские специалисты Д. Росс, К. Хенингер, Ф. Бауэр и др.

Для программистов и математиков, интересующихся проблемами программирования.

1984, 20 л. Цена 1 р. 60 к.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Происхождение гоминоидов и гоминид

Находки последних пяти лет позволяют с большей точностью проследить за расхождением ветвей человекообразных и низших узконосых обезьян, а также за последующей дивергенцией человека и человекообразных обезьян

ДЭВИД ПИЛБИМ

ЗА ПРОШЕДШУЮ четверть века и даже за последние 5 лет неизмеримо возросло наше понимание эволюции человека. Начиная с 60-х годов, например, палеоантропология перестала быть наукой, интересующей только специалистов-антропологов и узкий круг связанных с ними палеонтологов, и превратилась в обширную мультидисциплинарную отрасль, которая использует знания исторической геологии, экологии, молекулярной биологии, зоологии, этологии, а также химии и физики.

По линнеевской классификации живых организмов человеческие существа относятся к отряду приматов, в который входят также человекообразные обезьяны, низшие обезьяны и полуобезьяны, такие, как лемуры. Существующее внутри отряда надсемейство Hominoidae объединяет только людей и человекообразных обезьян. В пределах этого надсемейства в свою очередь существует семейство Hominidae, куда входят только люди и их более близкие по сравнению с антропоидами вымершие родственники.

Вкратце расскажу о том, как представлял себе процесс эволюции гоминоидов и гоминид около 5 лет назад Ш. Л. Уошберн, ведущий антрополог Калифорнийского университета в Беркли [см. статью Sherwood L. Washburn, "The Evolution of Man" в журнале «Scientific American», September, 1978]. Затем сравним его взгляды с теми, которые получили распространение в наши дни. Открытия в области геологии и молекулярной биологии, сделанные за годы, предшествующие статье Уошберна, существенно изменили прежние представления о географии и сроках эволюции гоминид, а также о характере родственных связей между людьми и другими высшими приматами. Данные молекулярной биологии, например, значительно упростили задачу реконструкции родословного древа приматов. Однако многие антропологи скептически относились к утверждениям молекулярных биологов, будто африканские человекообразные обезьяны (шимпанзе и гориллы) — близкие родственники человека, а азиатские (орангутаны и гиббоны) — нет. Но самым большим сюрпризом было заявление, что человеческая ветвь отделилась от ствола африканских антропоидов менее 10 миллионов лет назад.

В статье Уошберна также высказывалось предположение, что *Ramapithecus*, один из гоминоидов миоцена, широко распространенный на территории Старого Света, мог быть предковой формой для всех ныне живущих крупных антропоморфных обезьян и человека. Далее, открытие в Эфиопии *Australopithecus afarensis* (наиболее известного по находке неполного скелета женской особи, названной Люси) и обнаруженные в Танзании, в Лаэтоли, знаменитые следы показали, что более 3,5 млн. лет назад в Африке существовали примитивные гоминиды с небольшим мозгом, которые жили на земле, ходили на двух ногах и имели относительно небольшие и не выступающие из зубного ряда клыки. Открытия в Эфиопии и Танзании отчетливо продемонстрировали, что бипедия (двуногое хождение) была первой и наиболее существенной адаптацией в эволюции гоминид. По аналогии с шимпанзе эти первые гоминиды использовали палки и другие встречающиеся в природе предметы в качестве орудий. В самом деле, контраст между их небольшими клыками и сильно выступающими клыками шимпанзе наводит на мысль, что у гоминид зубы не являются больше органами защиты и нападения и эту роль выполняют орудия.

По прошествии еще одного миллиона лет в Африке, согласно представлениям Уошберна, появляются гоминиды с более крупным мозгом. Они изготовляют каменные орудия и сосуществуют с массивными австралопитеками — *Australopithecus robustus*, которые характеризовались мощным костяком и крупными зубами и вымерли около миллиона лет спустя. Но еще до этого, скажем 1,5 млн. лет назад, возникает более продвинутый тип гоминид: *Homo erectus*. Изготовленные ими каменные орудия находят вместе с костями животных, и это, по всеобщему признанию, свидетельствует, что охота становится отличительной чертой образа жизни гоминид задолго до того, как их мозг достигает своих теперешних размеров.

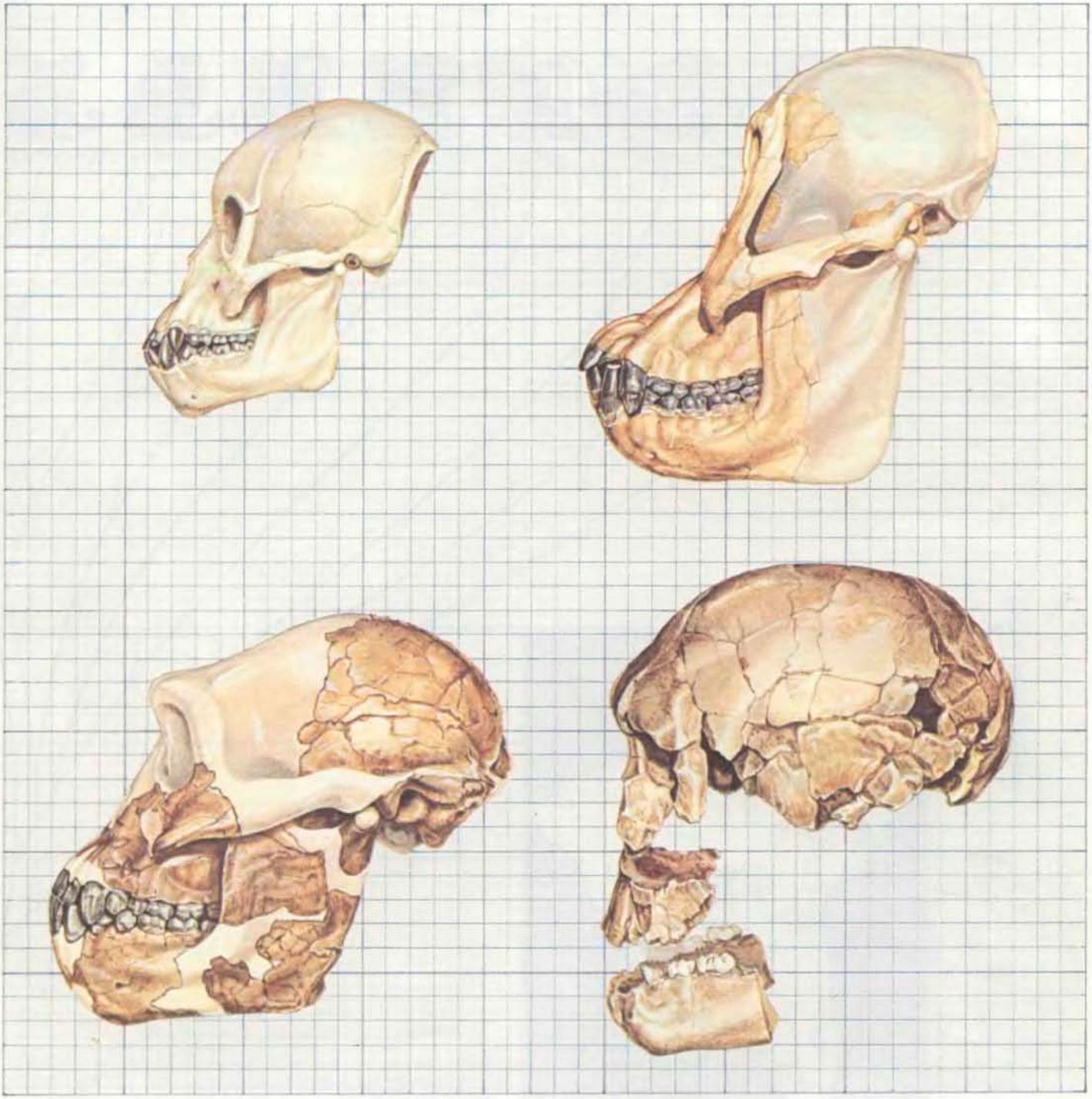
На протяжении последующих 100 тыс. лет происходит лишь крайне незначительное увеличение размеров мозга и усложнение каменных орудий. Так продолжается вплоть до появления еще более продвинутого в эволюционном отношении вида гоминид — *Homo sapiens*. Увеличение объема мозга и усложнение каменных орудий могут служить косвенными доказательствами структурной перестройки мозга гоминид. С появлением *H.sapiens* скорость изменения типов каменных орудий начинает стремительно нарастать. Анатомические эволюционные изменения прослеживаются в основном в строении черепа. Около 40 тыс. лет назад появляется человек, морфологически неотличимый от современного, и быстро распространяется по всему Старому Свету. В то же время скорость изменения типа поведения, если судить по изменению каменных орудий и других продуктов человеческой деятельности, была приблизительно такой же, как и у сегодняшнего «нормального» культурного человека. Завершая свой обзор, Уошберн высказал предположение, что вполне сформировавшаяся человеческая речь, которая, вероятно, не существовала до возникновения человека современного типа, ускорила эволюцию поведения, хотя прямых анатомических доказательств на этот счет не существует.

За пять лет, прошедших со времени опубликования статьи Уошберна, были сделаны новые важные открытия ископаемых остатков, причем не только в палеоантропологических экспедициях. Были опубликованы более подробные описания ранее сделанных находок. При интерпретации данных па-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

леоантропологи стали успешнее пользоваться результатами этологических исследований и достижениями других смежных естественнонаучных дисциплин. Эти тенденции привели к более тесной интеграции палеоантропологии с остальными отраслями биологической науки.

В то же время значительно возросли сомнения в достоверности многих теорий эволюции гоминид. Насколько подробными и правдоподобными могут быть эти описания? Серьезные проблемы возникают тогда, когда интерпретация древних гоминид ведется с позиций современных гоминид. В конце концов ранние гоминиды значительно отличались от всех ныне существующих. Однако во многих случаях эти различия игнорировались, и древние гоминиды оказывались чрезвычайно похожими на современных. Вкратце рассмотрим эти проблемы, для начала остановившись на эволю-



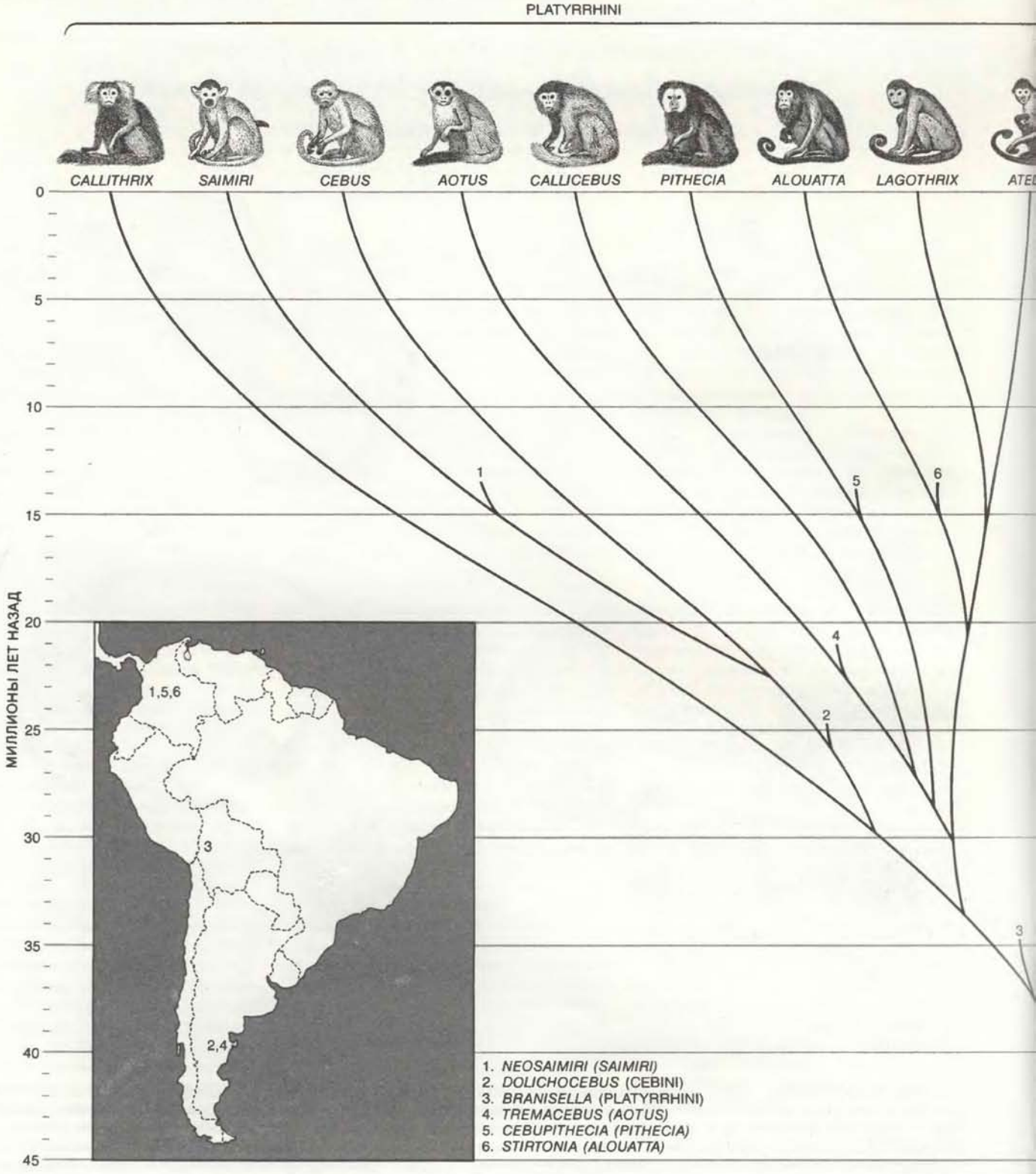
ЧЕТЫРЕ ИСКОПАЕМЫХ ЧЕРЕПА, изображенные на этом рисунке в профиль, иллюстрируют основные этапы в процессе отделения гоминоидов от предкового ствола низших обезьян Старого Света и последующего отделения гоминид от предкового гоминоидного ствола. Вверху слева—самая известная из ранних человекообразных обезьян миоцена *Proconsul africanus*, которая по размерам не превышала павиана и, возможно, напоминала общего предка всех человекообразных обезьян и человека. Вверху справа—более крупный позднемиоценовый антропоид *Sivapithecus*, зубы и фрагменты челюстей которого были впервые обнаружены в предгорьях Гималаев в начале нашего столетия. Возможно, эта обезьяна была предком единственного ныне живущего крупного гоминоида Азии—орангутана. Внизу слева—самый древний из известных африканских плиоценовых гоминид—*Australopithecus afarensis*. Представители этого вида передвигались на двух ногах и просуществовали от 4 до 2 млн. лет назад. Внизу справа—гоминид с более крупным мозгом *Homo habilis*, впервые найденный в Кении в 1972 г. Существа этого типа появились около 2 млн. лет назад и бродили по просторам Южной и Восточной Африки в течение нескольких сотен тысячелетий.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

ции гоминоидов, т.е. той группы, из которой возникают гоминиды.

Эволюция гоминоидов

Прежние споры между антропологами и молекулярными биологами относительно характера и сроков эволюции гоминоидов в настоящее время практически улеглись. Большинство палеонтологов (и специалистов в области сравнительной анатомии) пришли к согласию относительно выводов, сделанных на основе анализа молекулярных структур, свидетельствующих о поразительной генетической близости человека с африканскими антропоидами и его почти вдвое большем отличии от азиатских человекообразных обезьян. По мнению ученых, это означает, что предок, общий для гоминид, шимпанзе



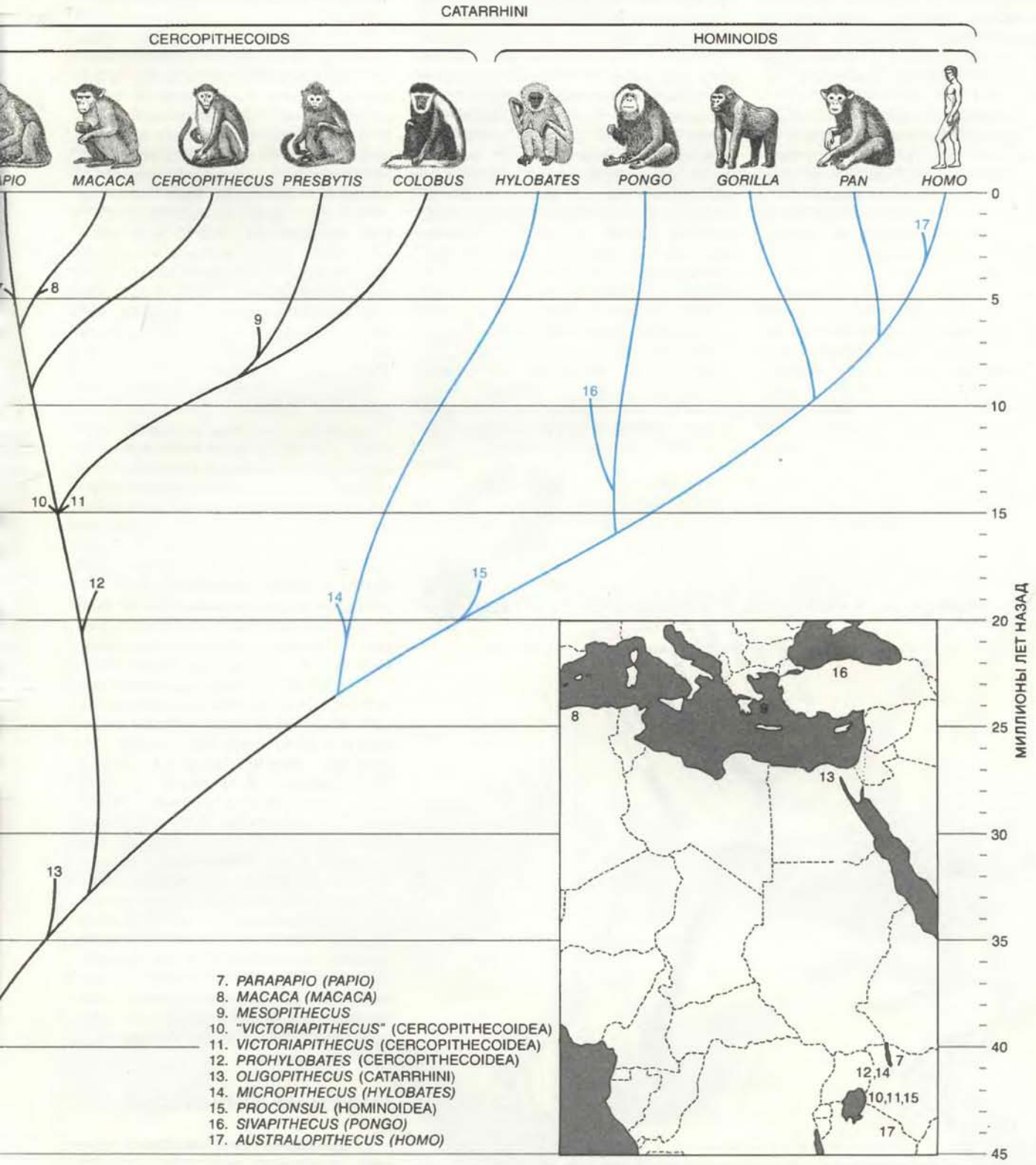
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОТХОЖДЕНИЯ ВЕТВЕЙ высших приматов, начиная с 45 млн. лет назад и до настоящего времени, продемонстрирована для двух больших групп обезьян: широконосых (*Platyrrhini*), или обезьян Нового Света (*слева*), и узконосых (*Catarrhini*), или обезьян Старого Света (*справа*). Ветви гоминоидов и гоминид (*крайние справа*) обозначены красным цветом. Очередность отхождения ветвей определена на основании таких биохимических данных, как небольшие различия в последовательности аминокислот одних и тех же белков у различных современных видов

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

и гориллы, был по времени существования вдвое моложе, чем последний прародитель всех крупных гоминоидов.

Как показывают детальные сравнительно-анатомические исследования, характер морфологического сходства ныне живущих гоминоидов подтверждает данные молекулярной антропологии. Крупные антропоиды и гоминиды не образуют так называемой монофилетической группы: после отделения ветви, ведущей к человеку, у них не было последнего общего предка. Но по отношению к азиатским человекообразным обезьянам африканские антропоиды и человек — монофилетическая группа. (В действительности эту идею высказывали некоторые ранние анатомы.)

Значит, черты, присущие всем чело-



приматов. Датировка ветвей основана на возрасте ископаемых остатков и других геохронологических данных. На картах слева и справа показано, где были обнаружены самые первые представители того или иного рода. Название, приведенное в скобках справа от наименования рода ископаемых приматов, указывает на их связь с современными формами. Так, *Sivapithecus* ассоциируется с *Pongo*, а *Proconsul*—со всеми гоминоидами.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

векообразным обезьянам, как, скажем, отсутствие хвоста, могли сохраниться от последнего, общего для всех крупных гоминоидов предка или развиться самостоятельно в различных линиях антропоморфных обезьян. В свете результатов молекулярных исследований морфологи пересматривают анатомические черты сходства гоминоидов и обращают более пристальное внимание на процессы эмбрионального развития и генетический контроль над ними.

Этот новый, «молекулярный» характер ветвления родословного древа не противоречит тому, о чем свидетельствуют ископаемые образцы. Прошло то время, когда многие палеонтологи относили возникновение гоминид к середине миоцена — 16-15 млн. лет назад, а многие молекулярные биологи считали, что вся радиация (разветвление стволов) гоминоидов протекала на протяжении последних 10 млн. лет, а дивергенция гоминид произошла всего лишь 4 млн. лет назад. Согласно еще не установившемуся, но уже достаточно распространенному мнению, радиация всех крупных антропоидов от предкового ствола имела место в середине миоцена, а отделение гоминид от ветви африканских человекообразных обезьян — в конце миоцена, должно быть 8 или 7 млн. лет назад.

Почему же были неправильно истолкованы ископаемые находки — свидетельства эволюции гоминоидов — по крайней мере некоторыми, не слишком дальновидными палеонтологами, вроде меня? На то есть несколько причин. Во-первых, таким находкам как источнику информации о последовательности разветвления эволюционного древа придавалось чересчур большое значение. Сейчас уже ясно, что данные молекулярного анализа могут больше рассказать о характере отделения ветвей гоминоидов, чем факты палеонтологической летописи. (Ископаемые остатки, однако, — это по-прежнему единственный источник наших знаний о предыдущих ступенях эволюции). Во-вторых, неверное истолкование было связано также и с тем, что костные остатки гоминоидов, возрастом свыше 4 млн. лет, на протяжении которых происходила эволюция гоминид, вплоть до недавнего времени были крайне фрагментарны и плохо датированы. В основном это были зубы и небольшие кусочки челюстей, т.е. такие части скелета, которые вряд ли можно считать очень информативными для таксономии. Во всяком случае, по аналогичным частям скелета у живущих млекопитающих, как правило, не удается выделить виды или объединить виды в более крупные таксономические единицы.

Третья причина заключалась в очень большом разнообразии средне- и позднемиоценовых гоминоидов. Ныне живущие крупные гоминоиды не столь разнообразны: сохранилось всего пять их родов. Если суммировать все ископаемые остатки древних гоминоидов, то возникшая в результате такого объединения группа будет явно гетерогенной, а каждый вид во многих отношениях уникальным. Эти-то факторы и осложняли задачу построения эволюционного древа. На основании ископаемых остатков было трудно установить последовательность отхождения ветвей ныне живущих гоминоидов, но еще труднее было связать тот или иной ископаемый вид с современным.

Обнаружение совершенно новых ископаемых остатков, принадлежащих гоминоидам миоцена, изменило положение дел. Такие части скелета, как лицевые кости, черепные крышки, кости конечностей, которые раньше были неверно определены, а также впервые открытые костные остатки, способствовали созданию более четкой и подчас поразительной картины, освещающей природу ранних гоминоидов и их эволюционные взаимоотношения. Можно получить даже некоторое представление о том, как они, должно быть, жили и каковы были их экологические связи.

В то же время новейшие молекулярные исследования продолжают расширять и уточнять наши взгляды на характер и сроки эволюции гоминид. Для примера можно привести работу Ч. Д. Сибли и Д. Алквиста из Йельского университета, которые производили гибридизацию ДНК различных видов приматов с целью установления различий и сходства в последовательности нуклеотидов. Постепенно палеоантропология выходит из того состояния, когда ископаемые материалы не способствовали пониманию филогенетических взаимосвязей, и приближается к тому, что они будут одним из компонентов синтеза, сочетающим в себе данные всех видов: палеонтологические, анатомические, молекулярные и эмбриологические.

ЧАСТИ СКЕЛЕТА ПРОКОНСУЛА, впервые найденные Т. Уитвортом в 1951 г., выделены на этой реконструкции серым цветом. Дополнительные части скелета, обнаруженные недавно в коллекциях различных музеев авторами реконструкции А. Уокером и М. Пикфордом, обозначены красным цветом. Те кости, которые не были найдены — таз, бóльшая часть позвоночного столба, фрагменты черепа и челюсти, — оставлены незакрашенными.

Радиация гоминоидов

Современные представления о радиации гоминоидов могут быть суммированы следующим образом. Прежде всего остается неясным, когда человекообразные обезьяны отделились от своих родственников — низших обезьян Старого Света (обезьяны Нового

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Света не играли никакой роли в эволюции гоминоидов). Можно почти наверняка утверждать, что это разделение произошло между средним олигоценом (около 30 млн. лет назад) и ранним миоценом (около 20 млн. лет назад). Не исключено, однако, что радиация гоминоидов происходила в раннем или среднем миоцене (от 20 до 15 млн. лет назад) и отдельные линии этой относительно процветающей группы вымерли лишь в позднем миоцене (от 8 до 6 млн. лет назад).

Не ясно также, когда мелкие гоминоиды — азиатские гиббоны — отделились от более крупных. Возможная датировка этого события основывается на некоторых раннемиоценовых ископаемых остатках приматов, но представляется крайне спорной. Разделение крупных антропоидов на азиатские и африканские виды лучше документировано и датируется средним миоценом — приблизительно 16 млн. лет назад. Орангутан — единственный выживший представитель группы среднее- и позднемиоценовых азиатских человекообразных обезьян, которые раньше были более многочисленны и шире распространены.

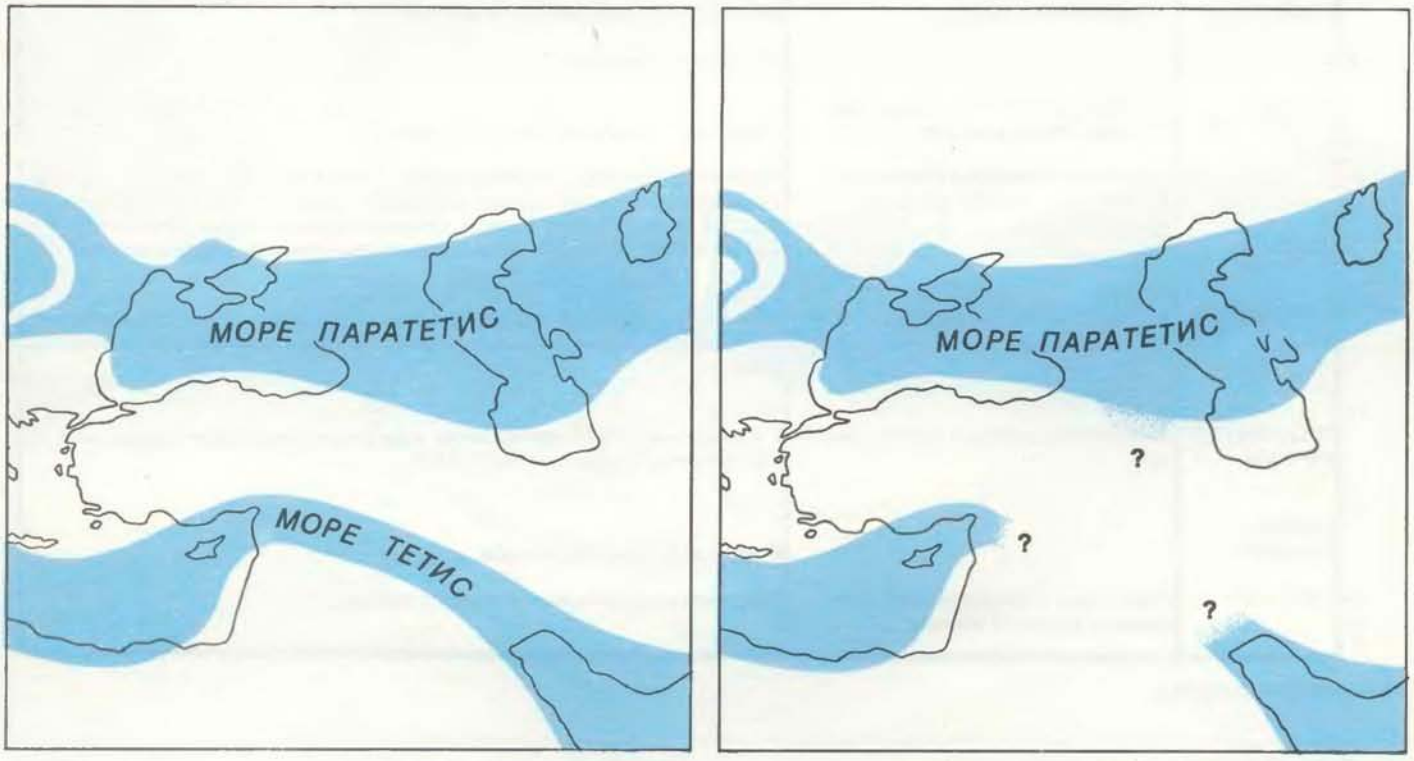
К сожалению, на протяжении большей части миоцена африканская гоминоидная ветвь, по существу, не представлена ископаемыми остатками. Однако молекулярные данные говорят о том, что в позднем миоцене произошло отделение сначала горилл, а затем шимпанзе и гоминид (между 10 и 6 млн. лет назад). Известно также, что двуногие гоминиды жили в Восточной Африке по меньшей мере 4 — 3,5 млн. лет назад. До тех пор пока в Африке не будут обнаружены более убедительные ископаемые находки (в частности, остатки африканских человекообразных обезьян), можно будет только гадать о сроках и точной последовательности отделения ветвей этих линий гоминоидов, а также об особенностях их ранних представителей, в том числе и самых первых гоминид.

Если обратиться к олигоцену, то число находок ископаемых приматов, относящихся к этому периоду, сравнительно велико. Э. Л. Саймонс из Университета Дьюка начиная с 1961 года успешно охотится за окаменелостями приматов в Фаюме (Египет). С 1977 года он и его коллеги — Д. Д. Флигл из Нью-Йоркского университета в Стоуни-Брук и Р. Ф. Кей из Университета Дьюка — сделали несколько замечательных находок. Теперь в распоряжении ученых имеются существенные части скелета *Apidium* и *Aegyptopithecus*, который был ранее известен только по черепу, обнаруженному Саймонсом. Даже скудно представленные *Parapithecus* и *Propliopithecus* теперь могут быть охарактеризованы намного лучше.

Эти ископаемые остатки принадлежат разнообразной группе неспециализированных древесных форм, которые достигли биологического статуса низших обезьян, как минимум, в середине олигоцена, 30 млн. лет назад. Это не были примитивные приматы типа лемура, но походили в целом на современных обезьян Нового Света. Поскольку они были все же слишком примитивны и слишком отличны от ныне живущих высших обезьян Старого Света, трудно сказать, относились ли они к тому времени, когда гоминоидная ветвь уже отделилась от ствола низших обезьян Старого Света, или к тому времени, когда это разделение еще не произошло.

Раннемиоценовые восточноафриканские формы представляют собой счастливое исключение. В целом Африка бедна ископаемыми остатками. Работы по сбору окаменелостей в Кении и Уганде, проводимые на протяжении последних 50 лет, дали около 1000 ископаемых остатков высших приматов древностью от 17 до 22 млн. лет, которые почти наверняка относятся к гоминоидным линиям после их отделения от низших обезьян Старого Света. Благодаря трудам П. Эндрюса из Британского музея естественной истории мы хорошо знаем палеоэкологию этого периода. Ландшафт представлял собой смесь лесов, открытого редколесья и лугов. Леса преобладали и были заселены по меньшей мере 6 видами гоминоидов. Один из них — *Proconsul africanus* — был в течение некоторого времени самым известным из миоценовых антропоидов, а сейчас, пожалуй, стал еще более популярным.

Небольшое животное величиной с павиана, *Proconsul* играл центральную роль в гипотезах об эволюции гоминоидов. Вплоть до недавнего времени



СОЕДИНЕНИЕ МАТЕРИКОВ АФРИКИ И ЕВРАЗИИ произошло около 20 млн. лет назад. До этого два континентальных массива разделяло море Тетис, как показано на рисунке слева. В раннем миоцене, приблизительно 17 млн. лет назад, море пересохло (*рисунок справа*), вследствие чего образовался «мост суши», по которому начали мигрировать животные. Среди мигрантов в Евразию были и некоторые африканские гоминоиды.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

этот вид был представлен почти полным скелетом передней конечности, челюстью, фрагментами черепа и несколькими костями стопы, принадлежавшими одному индивиду, почти полным черепом от другого индивида, а также отдельными фрагментами костей конечностей, зубами и челюстями. Затем А. С. Уокер из Университета Джонса Хопкинса и М. Пикфорд из Национального музея Кении обнаружили (в музеях и лабораторных коллекциях) много новых костных фрагментов, принадлежавших «первому» индивиду, так что теперь восстановлена большая часть его скелета.

До недавнего времени интерпретация проконсула отличалась крайней противоречивостью подходов. Некоторые ученые впадали в одну крайность, утверждая, что эта форма была слишком специализированной и поэтому не могла быть предком кого-либо из ныне существующих гоминид и, вероятно, не была даже гоминоидом. Другие считали проконсула неспециализированным ранним гоминоидом, а третьи видели в нем предка шимпанзе. Вновь открытые дополнительные материалы внесли некоторую ясность в эту проблему. Согласно общепринятому мнению, проконсул — это гоминоид, хотя и неспециализированный и примитивный. Это была «формирующаяся» человекообразная обезьяна, которая жила на деревьях и питалась плодами. Разнополые особи этого вида сильно отличались по размерам тела. По своему строению она не походила ни на одну из ныне живущих высших обезьян. Ее стопы, локтевой и плечевой суставы были как у шимпанзе, запястья — как у низшей обезьяны, поясничные позвонки — как у гиббона. Она обладала многими другими уникальными чертами и редкостным их сочетанием. Проконсул дает хороший урок всем, изучающим эволюцию: генеалогические связи, которые устанавливали ученые, целиком зависели от того, какую часть скелета они рассматривали. Если находки ископаемого животного фрагментарны и растянуты во времени, то даже сам порядок их обнаружения будет воздействовать на филогенетические построения, в особенности когда речь идет о «мозаичном» виде, подобном проконсулу.

Дриоморфы и рамаморфы

Конец раннего миоцена (около 17 млн. лет назад) был отмечен геологическим событием первостепенной важности: континентальный дрейф соединил Африку и Аравию с материковой Евразией. Тем самым африканские гоминоиды (и другие млекопитающие) получили возможность мигрировать в другие области Старого Света. Соединение континентов послужило началом формирования основных горных хребтов: в Европе поднялись Альпы, в Тур-

	ЭПОХА	ПРЕДСТАВЛЕНИЯ 1978 г.	ПРЕДСТАВЛЕНИЯ 1984 г.
	ПОЗДНЕЙШИЙ ПЛЕЙСТОЦЕН	Появляется анатомически современный *H.sapiens*.	Появляется анатомически современный *H.sapiens* (существенно отличный от архаичного *H.sapiens*, как в отношении черепа, так и посткраниального скелета). Обилие орудий из камня и кости, а также других изделий.
0,045			
	ПОЗДНИЙ ПЛЕЙСТОЦЕН	Незначительные отличия от предыдущих фаз	
0,125		Появляется *H.sapiens*.	Новые типы орудий и приемов обработки камня; значительное усложнение поведения.
	СРЕДНИЙ ПЛЕЙСТОЦЕН	Постепенное эволюционное продвижение гоминид.	Каменные орудия несколько усложняются. Появляется архаичный *H.sapiens* (мало отличающийся от *H.erectus*).
0,7			Использования огня?
	РАННИЙ ПЛЕЙСТОЦЕН	Появляется *H.erectus*; массивные австралопитеки вымирают.	Каменные орудия несколько усложняются.
1,6		Грацильные двуногие гоминиды в Танзании и Эфиопии (включая *A.afarensis*).	Появляется *H.erectus*. Сначала *H.habilis*, затем *A.boisei* и *A.robustus* вымирают. Древнейшие каменные орудия; *A.africanus*, *A.robustus* обитают в Южной Африке. Разнообразие гоминид; сосуществование *A.boisei* и *H.habilis*. Следы в Лаетоли. Двуногие австралопитеки обитают в Восточной Африке.
	ПЛИОЦЕН		
5			
	ПОЗДНИЙ МИОЦЕН	Разделение африканских человекообразных обезьян и африканских протогоминид.	7,5—4,5 млн. лет назад: основные климатические/фаунистические изменения; разнообразие африканских гоминоидов (по данным молекулярной биологии).
11			
	СРЕДНИЙ МИОЦЕН	*Ramapithecus* признан протогоминоидом.	Расхождение ветвей африканских и азиатских гоминоидов. *Sivapithecus* (*Ramapithecus*)—родственник *Pongo*?
17			
	РАННИЙ МИОЦЕН		Начало радиации гоминоидов.
24	ОЛИГОЦЕН	Гоминоиды отделяются от ствола низших узконосых обезьян.	Начало радиации низших узконосых обезьян.

МИЛЛИОНЫ ЛЕТ НАЗАД

ИЗМЕНЕНИЕ ВЗГЛЯДОВ НА ЭВОЛЮЦИЮ гоминоидов и гоминид демонстрируется на этой схеме, охватывающей период времени от олигоцена (*внизу*) до сравнительно недавнего плейстоцена (*вверху*). Цифры между геологическими периодами означают конечную датировку их в миллионах лет (или долях миллиона) до настоящего времени. Левая часть схемы отражает представления, характерные для 1978 г.; приведены также ископаемые находки и археологические данные, на которых основывались эти взгляды. Сегодняшняя точка зрения отражена в правой части схемы.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

ции — горная система Тавр, в Иране — Загрос. Море Тетис исчезло, изменились циркуляционные процессы в океане и атмосфере, вызвав тем самым широкомасштабные климатические и экологические сдвиги.

Климат Евразии в среднем и позднем миоцене — с 17 до 5 млн. лет назад — характеризовался сменой сезонов. Правда, зимы были теплее, чем сегодня. Бóльшая часть областей, занятых ныне степями и даже пустынями, была в то время покрыта лесами. Фауна млекопитающих соответствовала этим условиям: степные травоядные были немногочисленны, зато листоядные лесные виды процветали.

Ископаемые остатки гоминоидов этого периода с территории Евразии представлены в основном зубами и челюстями, так что их филогенетическое значение пока трудно оценить. В первом приближении гоминоидов можно разделить на две большие группы. Одной из них я бы дал неофициальное название «дриоморфы», использовав наименование рода *Dryopithecus*, в который входили виды приматов с многими примитивными гоминоидными чертами, найденные преимущественно в Европе. Другую группу можно назвать «рамаморфами», вслед за *Ramapithecus* и соответствующим родом. Рамаморфы были распространены главным образом в Азии. Некоторые признаки отличают их от других миоценовых гоминоидов и сближают с более поздними гоминоидами.

Э. Льюис, выпускник Йельского университета, впоследствии работавший в Геологической службе США, дал название *Ramapithecus* фоссилизированному фрагменту верхней челюсти примата, который был найден им в Индии в 1932 г. Сейчас мы знаем, что возраст этой окаменелости немногим больше 7 млн. лет. К 60-м годам в Индии, Пакистане и других частях Старого Света были обнаружены новые находки челюстей и зубов приматов, отнесенные к этому же роду. Считалось, что *Ramapithecus* отличается от его предположительно более обезьяноподобных современников — *Dryopithecus* и *Sivapithecus*; окаменелости последнего были также найдены в Индии. Как показывали костные остатки, челюсти рамапитека были массивными, а коренные зубы крупными и покрыты толстым слоем эмали. Эти и некоторые другие признаки сближали его с более поздними африканскими гоминидами из рода *Australopithecus*. Это сходство привело многих специалистов, в том числе и меня, к утверждению, что рамапитек — в действительности ранний гоминид, что гоминиды отделились от гоминоидов Африки по крайней мере 15 млн. лет назад и, следовательно, цифра 4 млн. лет, основанная на данных молекулярной биологии ужасающе неправдоподобна.

В 1973 г. я принял участие в исследованиях, проводимых совместно с Геологической службой Пакистана. Цель их заключалась в том, чтобы найти дополнительные остатки рамапитека. Богатые окаменелостями формации, разработка которых еще не окончена, — это продукт эрозии вздымающихся Гималаев. Их называют Сиваликскими холмами, они тянутся вдоль великой горной гряды от Афганистана до Бирмы. Возраст их разный — от 1 млн. до 17 млн. лет. В той части Сиваликских формаций, которая находится в Пакистане, нам посчастливилось найти много новых гоминоидных остатков, относящихся как к *Ramapithecus*, так и к родственному ему *Sivapithecus*. Были обнаружены также тысячи костных фрагментов других млекопитающих.

Наша обширная исследовательская группа, в состав которой входят представители разных специальностей, теперь располагает датированной последовательностью фаунистических изменений в этом районе на протяжении 16 млн. лет. Был сделан также значительный прогресс в воссоздании животного мира того времени. Благодаря новым приматологическим материалам стало ясно, что рамапитек и сивапитек гораздо больше походят друг на друга, чем мне казалось, и, возможно, относятся даже к одному роду.

В любом случае вновь найденные остатки *Sivapithecus*, включающие неполный череп и кости конечностей, демонстрируют такие черты, в особенности в строении лица и нёба, которые сближают их с единственными из ныне живущих крупных азиатских человеко-

В ПОЗДНЕМ МИОЦЕНЕ в результате горообразования Средиземноморский бассейн оказывается отрезанным от Атлантического океана и пересыхает. Это событие, случившееся 15,5 млн. лет назад, должно быть, привело к существенным изменениям климата и экологии Африки. Мы не можем в точности оценить степень влияния этого события на млекопитающих животных, в том числе и на гоминоидов, но около 1,5 млн. лет спустя появляются первые гоминиды.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

образных обезьян — орангутанами (*Pongo pygmaeus*), а не австралопитеками, как считалось раньше. Правда, зубы и челюсти по-прежнему обнаруживают черты сходства с австралопитековыми, но им не следует придавать филогенетического значения: либо эти черты развились в результате параллельной эволюции, либо были унаследованы всеми ныне живущими гоминоидами от последнего общего предка. По крайней мере, таково мое мнение и мнение моего коллеги С. Уорда из Кентского университета. Некоторые ископаемые остатки гоминоидов из Пакистана, возраст которых, как минимум, 12 млн. лет, обнаруживают сходные черты. Если наши рассуждения правильны, разделение африканских и азиатских гоминоидов должно быть не менее, а может быть, и более древним. Не исключено, что это разделение почти совпало по времени с объединением Африки и Азии в результате континентального дрейфа и последующим смешением фаун, которое имело место 17 или 16 млн. лет назад. Теперь я полагаю, что расхождение ветвей произошло примерно 16 млн. лет назад.

Ранние гоминиды

Первые гоминиды, принадлежность которых к этой группе приматов бесспорна, возникли, по-видимому, 4 — 3,75 млн. лет назад в Танзании и Эфиопии. Как происходила эволюция гоминид до этого времени, мы пока не знаем. Изменения фауны и среды обитания в период от 7,5 до 4,5 млн. лет назад отражают ряд климатических и географических событий, наиболее поразительным из которых было неоднократное пересыхание Средиземного моря около 5,5 млн. лет назад. Существовала ли связь между этими событиями и эволюцией гоминоидов в Африке, мы тоже не знаем. Тем не менее отпечатки стоп прямоходящих гоминид, найденные Мэри Лики и ее коллегами в Лаетоли (Танзания), имеют точную датировку — 3,75 млн. лет назад. Более того, почти наполовину целый скелет Люси, а также другие остатки *Australopithecus afarensis*, найденные Дональдом Джохэнсоном и его коллегами в Хадаре (Эфиопия), также датированы, хотя и с меньшей степенью точности, в 4 — 3 млн. лет. Вокруг таксономического положения Люси и других хадарских находок гоминид идет спор: относятся ли они к одному виду — *Australopithecus afarensis* — или представляют собой северный подвид *A.africanus*? А может быть, это остатки двух или нескольких видов? Не намереваясь углубляться в рассмотрение этих вопросов, я даю здесь только одну версию, оговаривая при этом, что проблема еще далека от разрешения.

A.afarensis характеризуется примитивностью большинства признаков. Взрослые самцы были, вероятно, наполовину или вдвое крупнее самок. Вес особей составлял от 25 до 50 кг или немногим больше. Мозг их по величине был таким же, как у крупных африканских антропоидов, но в связи с большой изменчивостью веса тела взрослых особей не ясно, были ли относительные размеры их мозга больше или меньше. По некоторым признакам лица и нёба эти ранние гоминиды напоминали шимпанзе. Однако в целом реконструированный череп больше похож на череп самки гориллы: *A.afarensis* массивнее и имеет более крупные зубы, чем шимпанзе.

В строении зубной системы обнаруживается ряд явно примитивных черт, хотя клыки у особей обоего пола имеют низкую коронку и не выступают вперед, как у обезьян. Коренные зубы относительно крупные и покрыты толстым слоем эмали, что, по-видимому, связано с адаптацией к пережевыванию большого количества фруктов, семян, стручков, корней, клубней, часть из которых была достаточно твердой.

Хотя нельзя доказать, что следы в Танзании были оставлены гоминидами, сходными по типу с хадарскими, морфология бедренной кости, коленного и голеностопного суставов Люси и ее сородичей отчетливо свидетельствует в пользу их двуногого хождения. Кости стопы также обнаруживают черты приспосабливания к бипедии в сочетании с одной удивительной особенностью: фаланги пальцев и метатарзальные кости у *A.afarensis* были длинными и искривленными. По сравнению с пропорциями тела представителей рода *Homo* руки у афарских австралопитеков были длинными, а ноги короткими. Кисти были способны к силовому захвату. Судя по пропорциям костей кисти и морфологии ее суставов, манипуляторные движения у *A.afarensis* были, вероятно, точнее, чем у современных шимпанзе.

Хадарские гоминиды жили в лесистой местности и саванне, а не в густых плиоценовых лесах. Они были частью сообщества млекопитающих, мало чем отличающегося от более поздних сообществ плейстоцена. Такие сообщества начали формироваться в Восточной Африке в конце миоцена, и не исключено, что в них входили еще не известные нам виды гоминид. По аналогии с ныне живущими млекопитающими маловероятно, чтобы хадарские гоминиды были моногамными.

При находках костных остатков хадарских гоминид вместе с ними не было обнаружено камней, видоизмененная форма которых свидетельствовала бы об их использовании в качестве орудий. Однако этому не следует придавать столь уж большого значения. Допустим, *A.afarensis* употребляли те же орудия, что и современные шимпанзе, — стебли, листья, куски дерева, камни, слегка приспосабливая их для сбора пищи, ее обработки, демонстрирования угроз и т.д. Предположим далее, что они делали это чаще, чем шимпанзе. Даже если бы произошло чудо и такие орудия сохранились, распознать их по прошествии 4 млн. лет было бы невозможно.

Использование орудий подобного типа, хотя оно не доказывается, а постулируется, было, наверное, важным компонентом того типа поведения, который стимулировал прямохождение и редукцию клыков. Вокруг этой и подобных ей точек зрения бушуют споры. Были ли хадарские гоминиды примитивными охотниками, довольствовались они падалью или были скромными вегетарианцами? Развивалась ли моногамия параллельно с прямохождением? Приносили ли самцы пищу своим партнершам, которые все время оставались на одном и том же месте? Делились ли гоминиды из Хадара и Лаэтоли со своими собратьями пищей (животной или растительной) или каждый из них добывал себе пропитание в одиночку? Любой ответ на каждый из этих вопросов, не говоря о множестве других, имеет своих приверженцев. В настоящее время, однако, невозможно представить себе, какими были эти гоминиды на самом деле, пока мы не придем к согласию относительно характера их основных адаптаций. Но и этого мало. Самое главное — мы должны избегать соблазна рассматривать их как современных людей, всего-навсего отнесенных в прошлое.

Разногласия по поводу Homo

В промежутке между 2,5 и 2 млн. лет назад произошла умеренная адаптивная радиация африканских гоминид. По крайней мере, к концу указанного периода существовало, как минимум, два, скорее, три, а может быть, и больше видов гоминид. Правда, ни в одной части Африки не обнаружено следов более чем трех видов. В Восточной Африке вид австралопитековых — *A.boisei*, очень массивный и крупнозубый, жил одновременно с гоминидом, отличавшимся большими размерами мозга; образцом его черепа может считаться зарегистрированный в каталоге Кенийского музея череп под номером ER-1470. Этот вид ныне известен как *Homo habilis*. Впервые такое название было предложено в 1964 г. Л. С. Лики, Ф. В. Тобайесом, Д. Р. Нейпье. Позднее первооткрыватели ER-1470 — Р. Лики и его коллеги — отнесли череп к этому виду. В Восточной Африке одновременно существовал, вероятно, и третий вид гоминид — с мелкими зубами и небольшим мозгом. Кроме того, в Южной Африке был еще один вид —

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

A.robustus, и, вероятно, там же жили *H.habilis*. Около 1,75 млн. лет назад *H.habilis* исчезает и вместо него появляется гоминид с еще более крупным мозгом — *H.erectus*. Постепенно у нас начинает складываться более ясное представление о том, какими были эти существа. Конечно, картина никогда не станет слишком отчетливой, и нужно избегать чересчур пристального взгляда на нее, чтобы ее содержание вовсе не исчезло в хаосе беспорядочных мазков.

Рассмотрим вид *A.boisei*. Представители этого вида были крупнее и *A.afarensis*, и южноафриканских видов австралопитековых. Мозг у них был небольшим. Самцы заметно превосходили по размерам самок. *A.boisei* возник свыше 2 млн. лет назад и существовал на протяжении 1 млн. лет без видимых морфологических изменений. Возможно, эти гоминиды пользовались палками и камнями, чтобы раскопать или разбить что-нибудь, но доказательств в пользу интенсивного употребления орудий не найдено.

Хотя *A.boisei* был крупнее других видов австралопитековых, по типу поведения он мог быть похожим на них. Исследования жевательной поверхности зубов различных австралопитековых, проведенные А. Уокером и Ф. Грайном из Нью-Йоркского университета в Стоуни-Брук, показали, что все они были в основном вегетарианцами, наподобие человекообразных обезьян, и ели такую пищу, которая требовала длительного пережевывания. Возможно, их диета включала больше корней, клубней и меньше фруктов, чем диета обитателей лесов — человекообразных обезьян.

Почему возник *A.boisei* и от кого он развился, была ли его эволюция результатом изменения климата, условий окружающей среды и, может быть, имеющихся в наличии видов растительной пищи, почему *A.boisei* вымирает после миллиона лет явно стабильного существования? Ни на один из этих вопросов нельзя ответить. Однако охота за окаменелостями в Восточной Африке ведется столь интенсивно, что можно надеяться на то, что *A.boisei*, его предки и переходные формы между ними будут в конце концов должным образом истолкованы.

Понять, как был совершен переход к *Homo habilis* от его предка (который может оказаться также предком *A.boisei*), — это еще одна проблема. Нам трудно представить себе различные типы австралопитековых в виде существ из плоти и крови, потому что ничего похожего на них в наши дни не существует. Пожалуй, их можно не очень точно охарактеризовать как своеобразную разновидность человекообразных обезьян. Представить *H.habilis* еще труднее. По ряду признаков, например по строению лица и зубов, он похож на австралопитека, но объем мозга у него значительно больше и в среднем достигает 700 куб. см. Хотя между черепом *H.habilis* и другими частями скелета этого гоминида не установлено четких связей, будто бы принадлежащие ему кости конечностей отличаются от соответствующих костей австралопитековых и сближаются с аналогичными костями более поздних представителей рода *Homo* (за исключением современного человека — *H.sapiens*). Было высказано предположение, что это сходство обусловлено изменениями в способе локомоции, а также перестройкой таза у самок в связи с необходимостью рождения крупных детенышей.

Приблизительно в то же время, когда появились *A.boisei* и *H.habilis*, в Африке появляются и скопления камней (часто принесенных издалека) со следами обработки или использования. Их часто находят вместе с останками животных. Обычно орудия приписывают *H.habilis*. Предполагается, что у этого гоминида происходят сдвиги в диете за счет увеличения доли мясной пищи. Изменения в рационе и увеличение мозга также взаимосвязаны. Но на этом наши сколько-нибудь определенные выводы кончаются. Был ли *H.habilis* охотником и собирателем, который приносил пищу в свой «дом», где занимался ее дележом? Существовало ли у этих гоминид разделение труда, при котором самцы охотились, а самки собирали пищу? Иными словами, мы должны спросить: был ли *H.habilis* «современным» по своему типу поведения или он все еще оставался преимущественно вегетарианцем и добавлял в свое меню мясную пищу в основном за счет поедания падали?

Археологические данные могут быть истолкованы двояко. Сходным образом разбросанные орудия и кости могут свидетельствовать как о поедании падали в целях индивидуального насыщения, когда переноса и дележа пищи вообще не происходило (или, если они и имели место, то крайне незначительное), так и об интенсивных социальных взаимосвязях. Короче говоря, ситуация в отношении *H.habilis* продолжает оставаться неясной. Нужны новые ископаемые остатки, новые археологические местонахождения. Но и тогда переход от *Australopithecus* к *Homo* вряд ли станет более понятным. Оба эти существа слишком отличаются от тех, кто сегодня населяет Землю. Что случилось с *H.habilis*? Просуществовав несколько сотен тысячелетий, он уступает место более выносливому виду — *H.erectus*. Был ли *H.habilis* предком *H.erectus*? Хотя, согласно общепринятому мнению, предполагается, что это так, в действительности дело могло обстоять совершенно иначе.

Осваивая Землю

Homo erectus — это первый широко распространенный вид гоминид. Насколько известно, он раньше всего появляется в Африке, должно быть, возникнув там около 1,6 млн. лет назад. Так или иначе, около 1 млн. лет назад представители этого вида уже встречаются в Юго-Восточной и Восточной Азии. Они просуществовали в этом районе по меньшей мере до срока, отстоящего от нас на 300 тыс. лет. За этот промежуток времени, превышающий 1 млн. лет, морфологическое строение *H.erectus* характеризуется удивительной стабильностью.

H.erectus напоминает более поздние виды *Homo* (за исключением современного *H.sapiens*) своими размерами тела и крепостью строения. По сравнению с *H.habilis* у *H.erectus* мозг был крупнее (более 800 куб. см), передние зубы такие же большие, как и у ранних гоминид, а коренные зубы и лицо — гораздо меньше. Археологические данные свидетельствуют, что некоторые популяции *H.erectus* изготовляли крупные, симметрично обработанные каменные орудия — бифасы, или ручные рубила, а некоторые даже пользовались огнем. Поздние группы *H.erectus*, по-видимому, овладели более сложной техникой обработки каменных орудий, но общее впечатление все же таково, что для *H.erectus* характерна стабилизация как типов поведения, так и морфологической структуры. А. Джелинек из Аризонского университета предложил назвать этот тип поведения «палеокультурным», чтобы подчеркнуть его отличие от быстрых изменений, свойственных культуре современного человека.

Палеоантропологи, рассуждая об эволюции человека за последние 1,5 млн. лет, часто того не замечая, переключаются на разные скорости. Проблемы эволюции гоминоидов и гоминид, которые я здесь изложил, в основном связаны с макроэволюцией: адаптацией в широком смысле, эволюционными сдвигами, видообразованием. Гоминиды, известные как *H.erectus*, «архаичные» формы *H.sapiens* (в том числе и неандертальцы) и «современные» формы *H.sapiens*, вероятно, представляют собой континуум — непрерывный поток. Поэтому всякие изменения внутри этих линий будут по контрасту носить микроэволюционный характер. Тем не менее в некоторых наиболее интересных палеоантропологических работах рассматривается последний крупный шаг в эволюции человека, приведший 45-40 тыс. лет назад от архаичных к современным *H.sapiens*.

Э. Тринкаус из Университета Нью-Мексико показал, что неандертальцы (а также их современники в других частях Старого Света) были, вероятно, столь же непохожи на нас в отношении поведения, как и в отношении физического типа. Скелеты неандертальцев гораздо массивнее, а следы прикрепления мускулатуры на костях свидетельствуют, что эти гоминиды были

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

куда сильнее нас. Зубы их, также более крупные, были сильно истерты, вероятно (по аналогии с современными эскимосами), вследствие использования их в самых различных целях, совсем не связанных с процессом пищеварения, — например, для жевания шкур животных с целью их размягчения. С переходом к современному *H.sapiens* утрачивается свойственная неандертальцам массивность скелета, лица, зубной системы. Происходят также изменения в морфологии женского таза, в результате чего прежде довольно легкие роды становятся более тяжелыми. Предполагают также, что продолжительность беременности, возможно составлявшая 11 мес. (эта величина согласуется с прогностическими расчетами, основанными на общих для всех млекопитающих соотношениях между размерами тела матери, плода и сроками беременности), теперь сократилась до нынешних 9 мес.

О важных поведенческих сдвигах свидетельствуют и археологические данные. К ним относятся быстрый рост числа совершенных каменных и костяных орудий, изменения в характере охоты, в использовании и контролировании огня, в употреблении одежды, в типах жилищ, в величине популяции, экологических возможностях, в произведениях искусства и других формах ритуальной деятельности. Все это указывает на возникновение вида, обладающего вполне современными поведенческими способностями (в том числе и потенциальными), из предкового вида, у которого отсутствовали, с точки зрения современного человека, некоторые важные человеческие характеристики.

В таком кратком обзоре нельзя охватить ту богатейшую и сложную информацию, которая накоплена в отношении этого самого последнего, хотя бы и микроэволюционного, перехода. Он остается лучше всего документированным и потенциально наиболее понятным среди всех переходов, имевших место за прошедшие 30 млн. лет. Будучи специалистом в той области, где промежуток в 100 тыс. лет вообще может характеризоваться полным отсутствием окаменелостей, я испытываю жгучую зависть к тем, кто занимается изучением другого, совсем недавнего периода. Это как бы глазурь на кексе. И все-таки только глазурь! Сам кекс — многие более ранние стадии эволюции человека — пока еще слишком тверд, чтобы его можно было съесть.

50 и 100 лет назад

SCIENTIFIC AMERICAN

МАРТ 1934 г. Не мешало бы с бóльшим вниманием отнестись к недостаточно признанному «небесному кораблю», называемому блимпом. Последнее слово является уменьшительным от официального названия «Б-лимп», принятого в британском аэрофлоте для небольших дирижаблей, которые не имеют жесткого каркаса, позволяющего им сохранять свою форму. Начиная с 1925 г. дирижабли типа блимп фирмы Goodyear перевезли примерно 100 тыс. пассажиров и налетали полтора миллиона миль над территорией США. Блимпы используются в различных целях, в том числе для спасения людей, находящихся в местах, где не может приземлиться ни один самолет, доставки людей на крыши небоскребов, в зоны отдыха и на палубы морских кораблей, доставки научных сотрудников и оборудования в горные районы, совершения длительных и экономичных полетов, связанных с наблюдениями за лесными массивами с целью своевременного обнаружения пожаров, перевозки пассажиров на регулярно действующих линиях, не имеющих специальных площадок для приземления, и, наконец, для воздушного патрулирования в военное время.

Э. Петтит и С. Б. Николсон, сотрудники обсерватории Маунт-Вилсон, сообщили о результатах проведенных ими многочисленных измерений теплового излучения с помощью термопар. Как выяснилось, более холодные звезды излучают бóльшую часть своей энергии в инфракрасном диапазоне и лишь незначительная доля приходится на видимую область. Таким образом, если бы мы могли видеть тепловое излучение, то самые холодные звезды казались бы намного ярче и знакомые нам очертания созвездий сильно изменились бы. Бетельгейзе, например, была бы гораздо ярче Сириуса, а альфа Геркулеса, не очень яркая звезда третьей звездной величины, соперничала бы по блеску с Канопусом. У долгопериодических переменных наблюдались бы еще более сильные изменения блеска. Мира Кита, которая при наблюдении невооруженным глазом имеет четвертую звездную величину, в инфракрасном диапазоне по своему блеску была бы близка к Веге.

Правильная выдержка — одно из важных условий получения хороших фотографий. Чтобы выбрать нужную экспозицию, приходится учитывать так много факторов, что даже опытные фотографы, которые могут похвалиться высоким качеством своих снимков, признают невозможность точной оценки освещенности объекта при различных условиях. Теперь фотографы избавлены от необходимости полагаться на собственную оценку освещенности и полностью могут сосредоточить свое внимание на композиции. Устанавливать правильную выдержку им помогает экспонометр Уэстона. Неутомимый «электрический глаз» прибора работает уверенно — он измеряет освещенность фотографируемого объекта независимо от того, где производится съемка — на солнце или в тени. За счет использования этого прибора экономится пленка, и фотографы больше не будут испытывать разочарование от неудачи при изготовлении ценных снимков.

SCIENTIFIC AMERICAN

МАРТ 1884 г. Прежде малярию считали болотной лихорадкой, полагая, что ею болеют лишь там и тогда, где и когда растительные вещества подвергаются разложению под действием влаги и тепла, т.е. во влажные сезоны и в болотистой местности. Раньше Новая Англия не знала этой болезни. Единственный, и то не достоверный, случай заболевания был зарегистрирован лишь у самой юго-западной границы штата Коннектикут, но практически малярия оставалась неизвестной здесь вплоть до 1860 г., когда она начала распространяться на восток и север. До настоящего времени этот процесс шел бесконтрольно и в конце концов перевернул бытовавшее представление о болезни. Появившись в 1860 г. в Лонг-Айленд-Саунде в Саутпорте, болезнь охватила и другие районы, достигнув в 1864 г. Нью-Хейвена, в 1872 г. — Хартфорда, а к 1882 г. — и северо-восточной части штата. С тех пор эпидемия не прекращается, и ее масштабы не уменьшаются. Она бушует по всему штату, в котором не осталось ни одного города, где бы не было случаев заболевания малярией. Она уже проникла в Бостон, и, судя по всему, под угрозой находятся Новая Шотландия и Ньюфаундленд.

Профессор Принстонского университета Чарлз А. Янг в своей недавней лекции задает вопрос: «Имеется ли какая-либо связь между максимальным числом солнечных пятен и различными возмущениями, наблюдаемыми на Земле?» В среднем периодичность максимумов солнечных пятен равна 13,11 или 9,11 года. В 1870 г., как сообщали, наблюдался максимум солнеч-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

ной активности и было необычайно жаркое лето. Но не следует забывать, что для убедительных выводов наблюдения должны охватывать всю территорию земного шара, а не отдельные его районы. В том же году, кстати, когда у нас было жаркое лето, в противоположных районах нашей планеты, в Новой Зеландии, отмечалась исключительно холодная для тех мест зима. И все же связь между максимальным числом солнечных пятен и отклонением магнитной стрелки была установлена. Убедительно доказано, что периодичность таких максимумов находится в тесной связи с периодичностью наиболее сильных аномалий магнитного поля Земли.

В последние годы было установлено, что в крови млекопитающих содержатся мельчайшие частицы неизвестного прежде типа, морфологически отличающиеся от красных и белых телец и обладающие иными свойствами. Они играют исключительно важную роль в свертывании крови. Вновь открытые клетки Ж. Гайем назвал гематобластами, исходя из предположения, что они в конечном счете превращаются в красные тельца. Поскольку эта точка зрения пока что не подтверждена, то лучше называть их кровяными пластинками, как предложил Дж. Бищоцеро.

Мексиканский корреспондент пишет: «По телефонным каналам г. Мехико передаются сообщения на многих языках. Повелительное "Алло, алло! Дайте мне 1299!" никогда не допускают те, кто говорит на кастильском языке. Вежливость общения необходимо соблюдать даже тем, кто в разговоре не видит друг друга, поэтому непристойная раздражительность и нетерпеливость, которые телефон вызывает у людей с англо-саксонским темпераментом, недопустимы здесь в разговоре. Обычно на центральной станции телефонистки отвечают на вызов: "Mande usted!", что означает "Вас слушают!". Затем связь устанавливается после нескольких фраз, произносимых примерно в следующей форме: "Благодарю. Я вас слушаю", "Будьте добры, окажите мне услугу, соединив меня с г-ном таким-то, номер 777", "С большим удовольствием!" и т.д., и когда абоненты соединены, то после вежливых приветствий они переходят к деловому разговору».

Издательство **МИР** *предлагает:*

Ф. Гудман, Г. Вахман

ДИНАМИКА РАССЕЯНИЯ ГАЗА ПОВЕРХНОСТЬЮ

Перевод с английского

Введение в методы исследования рассеяния газов поверхностями — одного из наиболее актуальных и перспективных направлений механики разреженных газов. В монографии описывается экспериментальная методика молекулярных пучков, излагаются классическая и квантовая теории рассеяния на кристаллической решетке, систематизируются результаты, полученные за последние пятнадцать лет.

Книга рассчитана на математиков-прикладников и инженеров различных специальностей (по аэродинамике и космонавтике, химической и вакуумной технологии, атомной и химической физике); она может быть использована как пособие для студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

Монография включает следующие разделы: 1. Введение. 2. Элементарная кинетическая теория газов вблизи поверхности. 3. Потенциалы и взаимодействия и режимы взаимодействия. 4. Упрощенные модели решетки для динамики атомов поверхности твердого тела; классическая теория рассеяния газа поверхностью. 5. Молекулярные пучки. 6. Неупругое рассеяние; структурный режим. 7. Квантовая теория рассеяния газа поверхностью. 8. Квантовомеханические явления при рассеянии. 9. Коэффициент аккомодации энергии. Дополнение: классические представления в задаче взаимодействия газа с поверхностями.

1980, 27 л. Цена 4 р. 10 к.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Экситонное вещество

В полупроводнике электрон проводимости может объединиться с положительно заряженной «дыркой» и образовать экситон. Экситоны в свою очередь могут сливаться в молекулы и конденсироваться в жидкую фазу, в результате чего достигается новое состояние вещества

АНДРЕ МИЗИРОВИЧ, ДЖЕЙМС П. ВОЛЬФ

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ света с твердым веществом — явление принципиальной важности при изучении квантовомеханического фундамента природных процессов. Открытие Альбертом Эйнштейном того факта, что световая энергия переносится квантованными порциями излучения, называемыми теперь фотонами, базировалось на наблюдении только одного вида таких взаимодействий: фотоэмиссии электрона из вещества. Позже было показано, что в твердом теле распределение электронов по квантованным энергетическим состояниям может различным образом изменяться под действием энергии падающих фотонов. Детальное понимание этих эффектов имеет большое значение для науки и техники. В частности, фотоэлектрические свойства полупроводниковых кристаллов, которые теперь выращиваются искусственно с очень высокой степенью чистоты при производстве микроэлектронных схем, уже используются при создании таких приборов, как твердотельные оптические приемники, светодиоды и солнечные батареи. Дальнейшее изучение взаимодействий фотонов с электронами в твердом теле будет способствовать созданию более совершенных конструкций таких приборов.

Один из наиболее интересных вопросов в физике твердого тела связан с эффектным явлением поглощения света в полупроводниковом кристалле. Например, когда зеленый свет лазера освещает поверхность кристаллического полупроводника оксида меди (Cu_2O), кристалл как бы накаляется и испускает красное свечение, частота которого ниже, чем у зеленого света. Энергия фотона пропорциональна его частоте, так что энергия падающего «зеленого» фотона больше энергии испущенного «красного» фотона. Возникает вопрос: как энергия «зеленых» фотонов преобразуется в энергию «красных» фотонов?

Почти 30 лет назад было установлено, что энергия падающих фотонов может быть преобразована внутри кристалла в короткоживущие нейтральные образования, получившие название экситонов. Проще говоря, экситон есть квант электронного возбуждения в кристалле, который рождается при поглощении фотона. Красный свет, о котором мы говорили выше, — это энергия, выделяющаяся при снятии электронного возбуждения. Особенно интересно то, что это возбужденное состояние можно трактовать как некую частицу. Действительно, экситон напоминает атом водорода: он состоит из двух носителей заряда противоположного знака, связанных электростатическим притяжением. В атоме водорода положительный заряд несет протон, который «окружен» отрицательно заряженным электроном. В экситоне положительный заряд имеет массу, в 1000 раз меньшую чем масса протона.

Чтобы оценить значение открытия экситона, представим себе мир внутри полупроводникового кристалла, в котором чрезвычайно легкий экситон играет роль атома водорода. Из такой аналогии возникает много вопросов. Может ли экситон свободно распространяться по кристаллу подобно свободному атому водорода в газе? Могут ли два или более экситонов объединиться, чтобы образовать молекулу? Могут ли экситонные «атомы» или «молекулы» образовывать жидкую или твердую фазы? Могут ли появиться более экзотические фазы конденсированного экситонного вещества? Ответы на эти вопросы дает изучение экситонов в кристаллах.

КАК СВЕТ порождает в кристалле экситоны? Или более общий вопрос: почему вообще кристалл поглощает свет? Чтобы ответить на него, рассмотрим кратко, почему электроны в кристалле реагируют на падающее излучение. Вместо того чтобы принимать четко отделенные друг от друга значения энергии, как это имеет место в изолированном атоме, электроны в кристалле занимают широкие полосы (зоны) разрешенных энергий. Эти зоны разделены интервалами энергий, которые не доступны для электрона. Каждая зона состоит из дискретных состояний, которые расположены так тесно, что не могут быть различимы. Число состояний в зоне, грубо говоря, равно числу атомов в кристалле; для кристалла макроскопических размеров это число порядка 10^{23}. Следовательно, можно считать, что внутри зон энергии электронов распределены по некоторому континууму состояний.

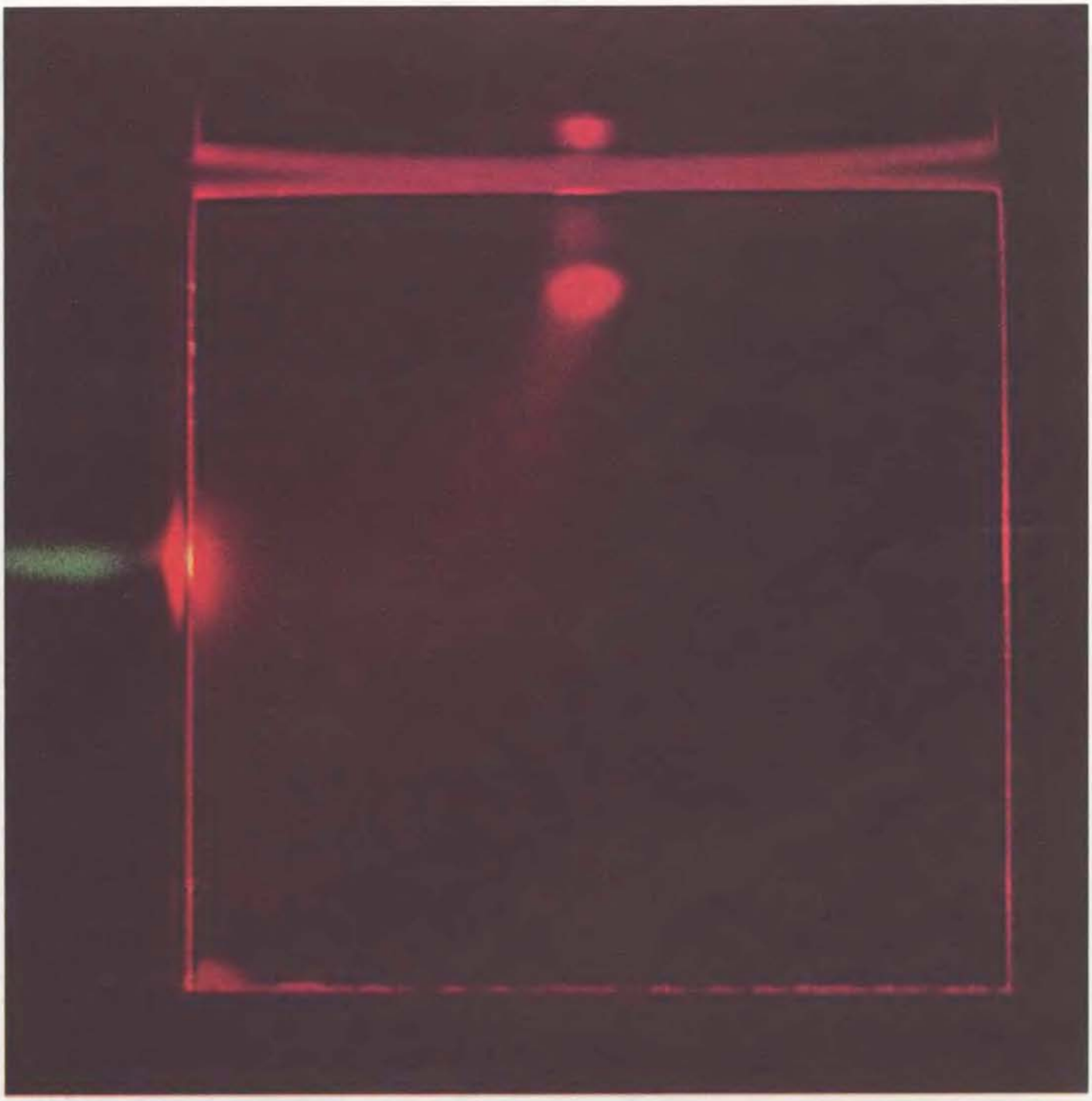
Электроны заполняют разрешенные состояния в энергетической зоне снизу вверх (подобно тому как вода заполняет бутылку). В твердом теле распределение электронов между энергетическими зонами определяет, будет ли оно металлом, полупроводником или изолятором. В металле самая высокая из занятых зон заполнена электронами только частично. Электрический ток легко течет по металлу потому, что изменение кинетических энергий электронов, которое для этого необходимо, легко достигается путем сдвига распределения электронов в частично заполненной зоне. Однако в полупроводнике или изоляторе при низких температурах самая высокая из занятых зон, которая называется валентной зоной, полностью заполнена электронами. Следующая энергетическая зона называется зоной проводимости, при низких температурах она пуста. Зона проводимости отделена от валентной зоны интервалом «запрещенных» энергий, или запрещенной зоной. В связи с полным заполнением этой зоны электронами электрический ток в таком случае существовать не может. В полупроводнике запрещенная зона уже, чем в изоляторе, и, если несколько валентных электронов будет переброшено через запрещенную зону (за счет теплового движения), то в чистом полупроводнике возникнет электрическая проводимость. Однако при низких температурах любой полупроводник обладает очень хорошими изолирующими свойствами.

Когда фотон поглощается полупроводниковым кристаллом, электрон из заполненной валентной зоны перебрасывается в пустую зону проводимости. В этом процессе должна сохраняться

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

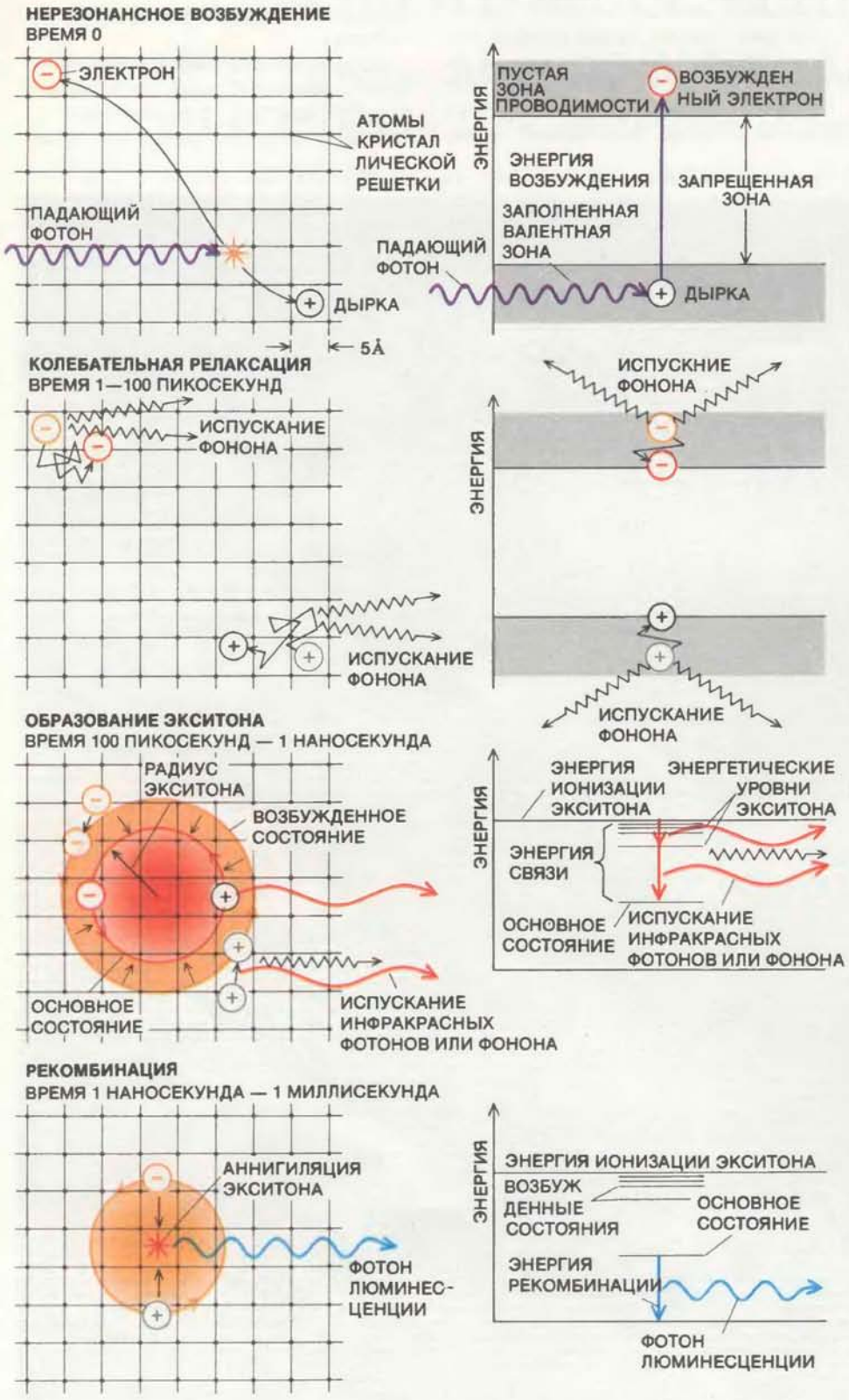
энергия, а сохранение энергии требует, чтобы энергия фотона (чтобы быть поглощенной) была равна или превышала энергетическую ширину запрещенной зоны. Если энергия фотона ниже этого порогового значения, то ни один валентный электрон не сможет поглотить свет, так как, чтобы сделать это, он должен был бы занять место в запрещенной зоне. В отсутствие других эффектов фотон, энергия которого меньше ширины запрещенной зоны, распространяется по кристаллу без ослабления.

Когда электрон переброшен фотоном из валентной зоны, он оставляет за собой «пустое», незаполненное состояние (так же как образуется пузы-



ЭКСИТОННЫЙ ГАЗ создается в монокристалле оксида меди (Cu_2O) интенсивным лучом зеленого света, испускаемого аргоновым лазером. Электроны, которые были связаны с атомами кристалла, возбуждаются и свободно движутся по кристаллу. Дырки, или области положительного заряда, оставшиеся после возбужденных электронов, также свободно распространяются подобно положительно заряженным электронам. Кристалл, грань которого была размером 2 мм, а толщина 1,5 мм, погружался в сосуд с жидким гелием, поддерживавшимся при двух градусах выше абсолютного нуля. При такой температуре каждые свободные электрон и дырка могут образовать короткоживущее связанное состояние, называемое экситоном. Красный свет, испускаемый кристаллом, свидетельствует о присутствии экситонов; он вызывается рекомбинацией электронов и дырок через несколько микросекунд после образования ими связанного состояния. *Вверху*—круглый стержень нажимает на поверхность кристалла, что уменьшает энергию экситонов точно под точкой нажима. Экситоны, возникающие на левой грани кристалла, быстро стекают в область пониженной энергии, которая видна в виде яркого красного пятна, потому что здесь собираются экситоны. Пятно отражается стержнем, и это отражение видно как раз над кристаллом. Фотография получена Д. Трауэрнихтом и авторами статьи в Иллинойсском университете в Эрбана-Шампейн.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU



НЕРЕЗОНАНСНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ может создавать экситоны в полупроводнике, если энергия возбуждения выше, чем энергия запрещенной зоны. *Слева* схематически показано движение частиц, а *справа* — энергетические переходы, связанные с каждым из этих движений. Начальное состояние каждого этапа жизни экситона показано оранжевым и серым цветом, а конечное — красным и черным цветом. После первоначального возбуждения свободные электрон и дырка быстро релаксируют к энергии, равной ширине запрещенной зоны, испуская фононы. Затем они могут связаться друг с другом и образовать экситон, находящийся на одном из дискретных энергетических уровней, разрешенных законами квантовой механики. Экситон, образованный в возбужденном энергетическом состоянии, может перейти в более низкое состояние до того, как электрон и дырка рекомбинируют. Переходы с низкой энергией, сопровождающиеся испусканием фотонов низкой частоты, показаны красным цветом, а переходы с высокой энергией, дающие высокочастотные фотоны, — синим и фиолетовым цветом. Расстояния между энергетическими уровнями экситонов для наглядности увеличены.

рек, когда капля жидкости удаляется из заполненной бутылки). Такое состояние, т.е. отсутствие электрона в валентной зоне, называют дыркой. Дырку можно представить как область положительного заряда в кристаллической решетке, и многие ее свойства подобны свойствам обычной частицы. Например, электрон из соседней области решетки может перейти в указанную область и сделать ее электрически нейтральной, но при этом оставленная им область приобретает избыточный положительный заряд. Таким образом, область положительного заряда может распространяться по решетке.

Появившиеся в соответствующих им зонах электрон и дырка стремятся достичь состояний с минимальной энергией. Возбужденный электрон «падает» на дно зоны проводимости, а дырка поднимается (как пузырек в бутылке с водой) к верхней границе валентной зоны. Дырка поднимается потому, что электроны, оставшиеся в валентной зоне, вытесняют ее, «падая» в самые низкие доступные для них состояния. Затем за время порядка нескольких наносекунд (1 нс = 10^{-9} с) электрон и дырка могут еще уменьшить свою полную энергию, связываясь друг с другом и образуя экситон.

Известно, что в атоме водорода электрон и протон могут принимать одно из серии значений энергии. Аналогично имеется ряд разрешенных энергий для экситона, соответствующих различным возбужденным состояниям связанной электронно-дырочной пары. Энергетические уровни экситона сближаются по направлению к верхнему энергетическому пределу, который равен энергии запрещенной зоны полупроводника. Однако энергия связи экситона обычно в 100—1000 раз ниже, чем энергия связи атома водорода.

Слабая связь означает, что среднее расстояние между электроном и дыркой может быть на один или два порядка больше, чем диаметр атома водорода. Например, энергия связи экситона, образующегося в таком полупроводнике, как германий, составляет только 0,0041 эВ, а его радиус — 130 Å. (Для сравнения: энергия связи атома водорода — 13,6 эВ, а его радиус — 0,5 Å; типичные расстояния между атомами в кристалле составляют от 3 до 5 Å.) При нормальных температурах тепловые колебания решетки достаточно сильны, чтобы разорвать слабую экситонную связь. Поэтому для получения экситонов в значительном количестве обычно приходится охлаждать полупроводник до температуры несколько десятков кельвинов.

Как можно детектировать экситонные энергетические уровни? Один из способов — измерять количество света, которое прошло через полупроводник, для каждого из цветов падающего света. В спектре излучения, про-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

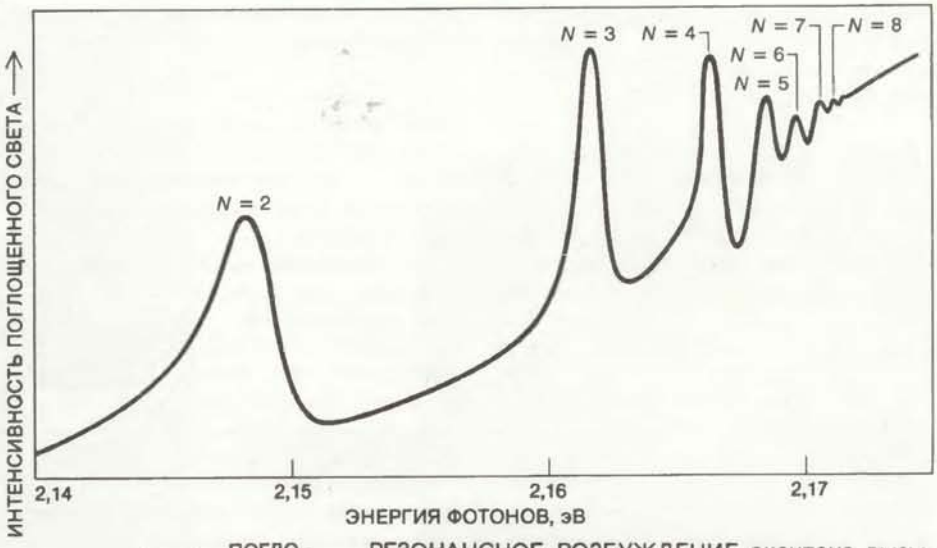
шедшего через кристалл, наблюдается множество темных линий. Каждая линия вызывается поглощением света экситонами, находящимися в разных энергетических состояниях. Фотоны, которые вызывают эти переходы, поглощаются кристаллом, так что по положению темных линий в спектре прошедшего света можно определить энергию поглощенных фотонов.

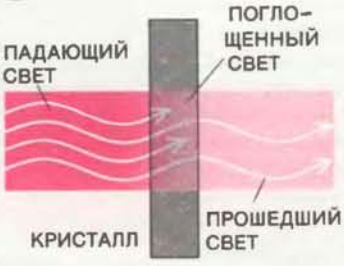
Классическим примером спектра поглощения, из которого видна энергетическая структура экситонов, служит спектр оксида меди. Наблюдаются восемь различных линий экситонного поглощения, которые, подобно линиям в спектре атомарного водорода, образуют сходящиеся серии. Из спектра поглощения можно получить энергию связи экситона в оксиде меди; она равна 0,14 эВ, что соответствует радиусу экситона 10 Å.

Другой способ получения информации об экситонах — это регистрация излучения, которое они испускают. Образовавшийся экситон имеет небольшое время жизни. В конце концов электрон падает обратно в дырку, испуская фотон, а экситон исчезает. Такой процесс называют рекомбинацией. Вероятность рекомбинации сильно изменяется от кристалла к кристаллу в зависимости от конкретных характеристик валентной зоны и зоны проводимости. В чистых кристаллах время жизни экситона колеблется от нескольких наносекунд до нескольких миллисекунд.

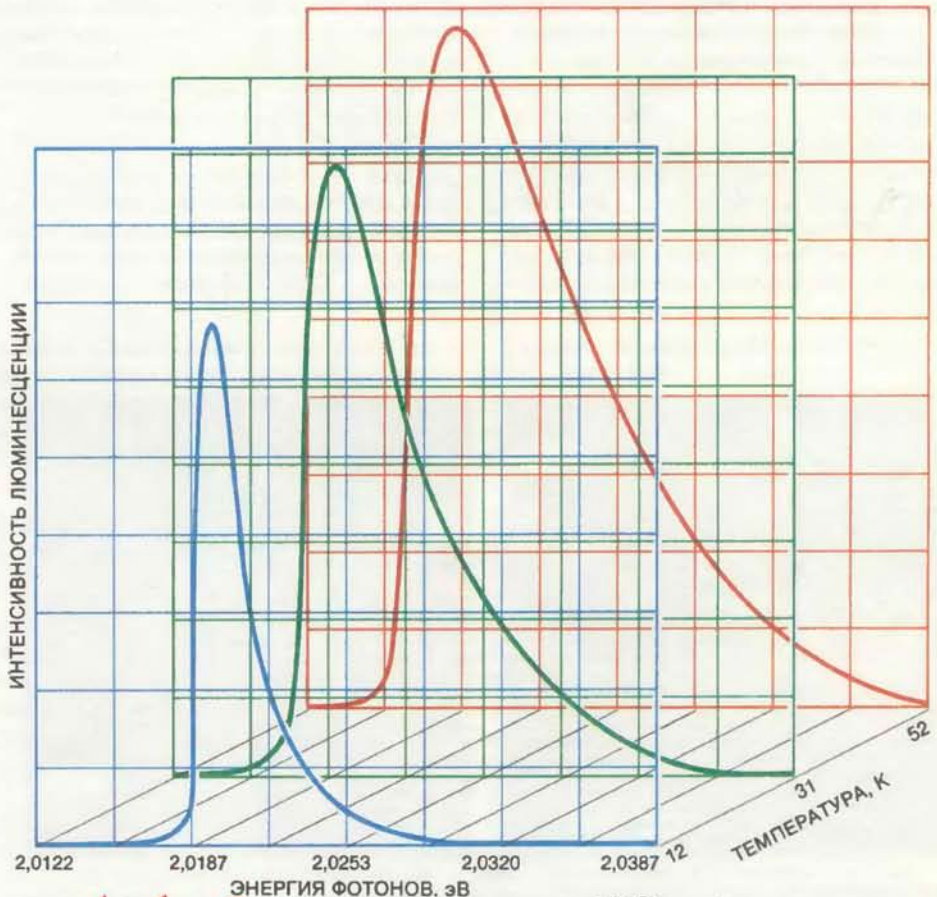
Анализируя спектр люминесценции фотонов, испущенных при рекомбинации, можно реконструировать распределение по энергиям совокупности экситонов. Допустим, например, что кристалл оксида меди освещается зеленым светом, энергия которого превышает ширину запрещенной зоны. Напомним, что в этом случае кристалл излучает характерный красный свет. Это излучение вызывается переходом экситонов в основное состояние — состояние экситона с самой низкой энергией. Однако свет испускается не на одной частоте; он занимает некоторый диапазон частот, ширина которого увеличивается, когда повышается температура кристалла. Диапазон испускаемых частот соответствует диапазону энергий экситонов, существующих в кристалле в момент рекомбинации. Так как полная энергия экситона определяется шириной запрещенной зоны, энергией связи и кинетической энергией, соответствующей движению центра масс экситона, диапазон испускаемых частот дает распределение кинетических энергий, а следовательно, и скоростей экситонов.

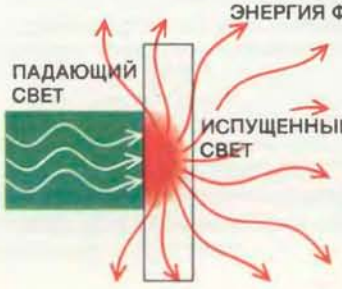
Спектр люминесценции оксида меди однозначно показывает, что внутри кристалла экситоны находятся в движении. Распределение экситонов по скоростям хорошо описывается распределением по скоростям обычных атомов в разреженном газе. Другими





РЕЗОНАНСНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ экситона вызывается поглощением фотона, энергия которого точно соответствует одному из энергетических уровней экситона. Здесь изображен спектр поглощения кристаллического оксида меди. Пики на спектре, обозначенные номерами *N*, соответствуют энергетическим уровням экситонов, создаваемых в кристалле фотонами падающего света. Эксперименты такого рода впервые выполнены Е. Ф. Гроссом в Ленинградском университете и Сержем Никитиным в Страсбургском университете.





СПЕКТР ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ, испускаемой, когда экситоны рекомбинируют из своего основного состояния в оксиде меди, позволяет сделать выводы об их распределении по кинетическим энергиям перед рекомбинацией. Энергия рекомбинации равна сумме энергии основного состояния и кинетической энергии экситонов. Ширина спектра уменьшается при снижении температуры кристалла, следовательно, распределение по кинетическим энергиям также сужается. Данные Д. Хулин, А. Антонетти и одного из авторов (Мизировича) из Парижского университета.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

словами, при низких плотностях совокупность экситонов можно рассматривать как газ частиц, заключенных внутри кристалла.

ЧТОБЫ понять движение газа экситонов, представим себе газ, который можно наблюдать визуально, такой, как пар, вырывающийся из носика кипящего чайника. Пар диффундирует из носика в окружающий воздух и рассеивается. Аналогично и экситоны, созданные фотонами на поверхности кристалла, мигрируют внутрь кристалла и в конце концов рекомбинируют. Мигрирующие экситоны не несут электрического заряда, так как они нейтральны, но они переносят энергию, которая выделяется, когда электрон и дырка рекомбинируют. Следует отметить, что экситоны наблюдаются также и в живой материи. Вполне возможно, что миграция экситонов является важным механизмом переноса энергии при фотохимических реакциях, таких, как фотосинтез.

На что похоже движение экситонного газа в микроскопическом масштабе? Спектр экситонной люминесценции показывает, что в кристалле экситоны находятся в тепловом равновесии с атомами. Чтобы достичь равновесия, экситонам нужно передать свою кинетическую энергию колебаниям решетки. Другими словами, каждый экситон должен рассеяться на колеблющемся (за счет теплового движения) атоме, так что можно ожидать, что экситоны будут находиться в состоянии броуновского движения. Можно показать, что среднее радиальное расстояние, которое пересекает такая частица за время t, пропорционально корню квадратному из t; следовательно, средняя площадь поперечного сечения газового облака, расширяющегося из центральной точки, пропорциональна времени диффузии t. Коэффициент пропорциональности носит название диффузионной константы.

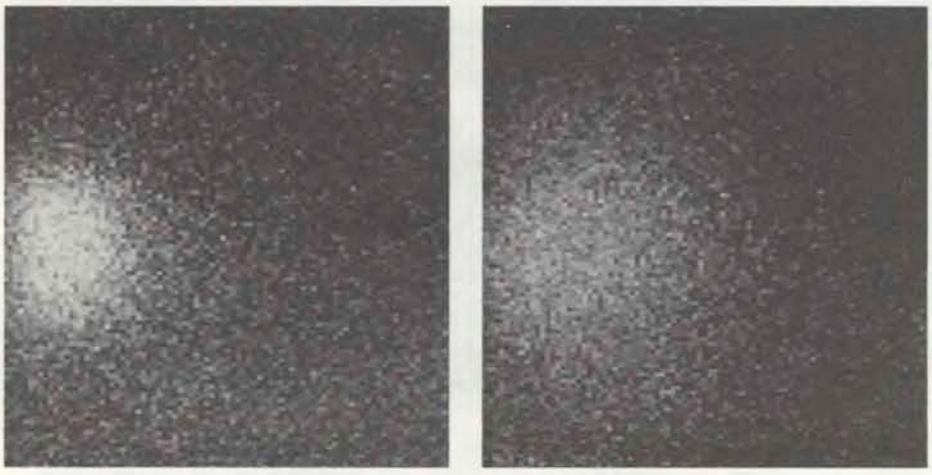
Как измерить диффузионную константу для экситонного газа? Основная идея эксперимента — создать экситоны в какой-либо точке на поверхности кристалла с помощью импульса лазерного излучения длительностью, например, 100 нс, а затем сделать «моментальные снимки» люминесценции экситонов в различные моменты процесса расширения газа. Эффективная скорость затвора, требуемая для таких снимков, примерно в 10 000 раз больше, чем самая высокая скорость затвора обычного фотоаппарата, а количество света, испускаемого экситонами за это время, ничтожно мало. Таким образом, чтобы сделать такой моментальный снимок, нужно считать отдельные фотоны люминесценции с помощью фотоумножителя.

Для регистрации импульсов фотонов с помощью соответствующей электронной схемы выбираются интервалы длительностью 100 нс, начинающиеся в различные моменты времени после каждого лазерного импульса. Такая процедура повторяется примерно миллион раз; каждый лазерный импульс создает новое облако экситонов, которое диффундирует и распадается до того, как генерируется следующий импульс. Для каждого импульса компьютер записывает число фотонов, испущенных из малой области кристалла, и так, область за областью, «рисуется картина» люминесценции от различных областей кристалла.

РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕЕ изображение экситонной люминесценции в данный интервал времени может быть передано на телевизионный экран. Построив зависимость площади поперечного сечения области люминесценции от времени, можно определить, что эта площадь увеличивается прямо пропорционально времени, прошедшему после импульса. Это соотношение показывает, что экситоны диффундируют подобно разреженному газу атомов. Однако константа диффузии для экситонного газа намного больше, чем для обычного атомарного газа. В оксиде меди, например, константа диффузии при температуре 1,2 К составляет 1000 $см^2$ в секунду, тогда как для молекул азота в воздухе при комнатной температуре она равна примерно 0,2 $см^2$ в секунду. Чрезвычайно быстрая диффузия экситонов — это результат их малой массы и сравнительно редкого рассеяния на других частицах при низких температурах.

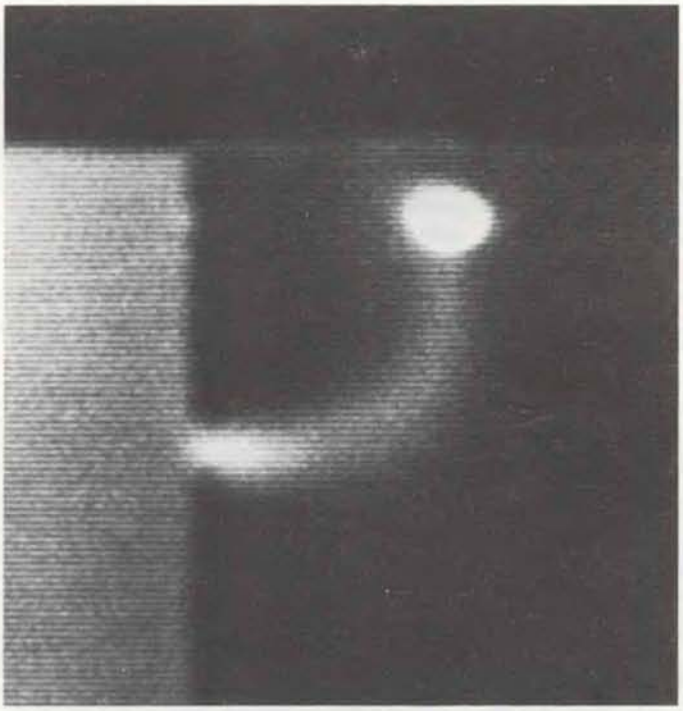
Другой величиной, характеризующей движение экситона, является его подвижность. Если к экситону приложена сила, то по второму закону Ньютона он должен ускоряться при движении по кристаллу, причем величина этого ускорения обратно пропорциональна его эффективной инерционной массе. Однако соударения между экситоном и колеблющимися вследствие теплового движения атомами решетки постоянно изменяют направление его движения. Следовательно, экситону приходится разгоняться снова каждый раз после того, как он рассеялся. Можно показать, что в заданном силовом поле экситон должен приобрести некоторую среднюю скорость дрейфа в направлении поля, величина которой пропорциональна напряженности поля. Таким образом, подвижность непрерывно рассеивающейся частицы определяется как отношение скорости дрейфа к приложенной силе. Подвижность обычно измеряется для заряженной частицы — такой, как электрон в электрическом поле, а сила, приложенная к такой частице, выражается в вольтах на сантиметр. Так что размерность подвижности — квадратный сантиметр на вольт в секунду.

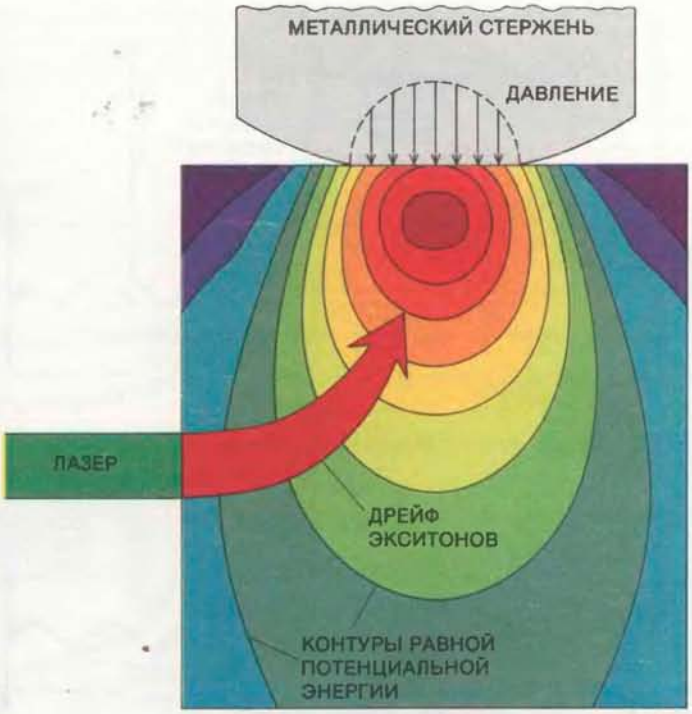
Чтобы измерить подвижность экситона, следует определить его скорость под действием приложенной силы. Очевидно, что эта сила не может быть электрического происхождения, так как экситон нейтрален. Выход заключается в приложении к полупроводниковому кристаллу внешнего давления. Давление уменьшает ширину запре-



ДИФФУЗИЯ ЭКСИТОНОВ, созданных вблизи поверхности кристалла оксида меди, показана на двух стадиях. Когда экситонный газ расширяется в кристалле, некоторые экситоны рекомбинируют и дают характеристическую люминесценцию. Интенсивность люминесценции измерялась фотоумножителем для каждого элемента этих двух изображений. *Слева* — расширение через 200 нс после возбуждения лазерным излучением левого края кристалла; *справа* — картина расширения спустя 600 нс. По этим изображениям может быть определена диффузионная константа. Вследствие низкой массы экситонов диффузионная константа для них выше, чем для любого известного атомарного или молекулярного газа. Изображения получены Трауэрнихтом.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU





ЭНЕРГИЯ ЭКСИТОНОВ может изменяться в разных участках кристалла путем надавливания на его поверхность закругленным концом металлического стержня. Возникающий градиент энергии (т.е. изменение энергии экситона на единицу расстояния в кристалле)—сила, которая заставляет экситон двигаться в области с пониженной энергией. На фотографии слева, которая выполнена П. Гурлеем и одним из авторов (Вольфом) в Иллинойсском университете, стержень давит на центр верхней грани кристалла кремния. Потенциальная яма, область пониженной потенциальной энергии экситона, находится как раз под этой точкой, как и в оксиде меди. Люминесценция, которая свидетельствует о течении и скоплении экситонов, происходит, однако, в инфракрасной области спектра; она регистрировалась телевизионной камерой, чувствительной к инфракрасным лучам, а затем преобразовывалась в видимое изображение на экране катодно-лучевой трубки. Частота рекомбинации экситонов уменьшается при движении их к областям пониженной энергии. На схеме справа показаны контуры постоянной потенциальной энергии, вычисленные Р. Маркевичем из Калифорнийского университета в Беркли. Области понижающейся потенциальной энергии экситона для кристалла, изображенного на фотографии, показаны разным цветом: от фиолетового через голубой, зеленый, оранжевый до постепенно темнеющих оттенков красного, что соответствует уменьшающимся частотам инфракрасного излучения испускаемого при рекомбинации электронно-дырочных пар.

щенной зоны кристалла и тем самым энергию экситона. Если постепенно увеличивать давление, приложенное поперек кристалла, экситон сможет понижать свою энергию, двигаясь из области низкого в область высокого давления. Градиент энергии, т.е. изменение энергии экситона на единицу расстояния, и есть сила, приложенная к экситону.

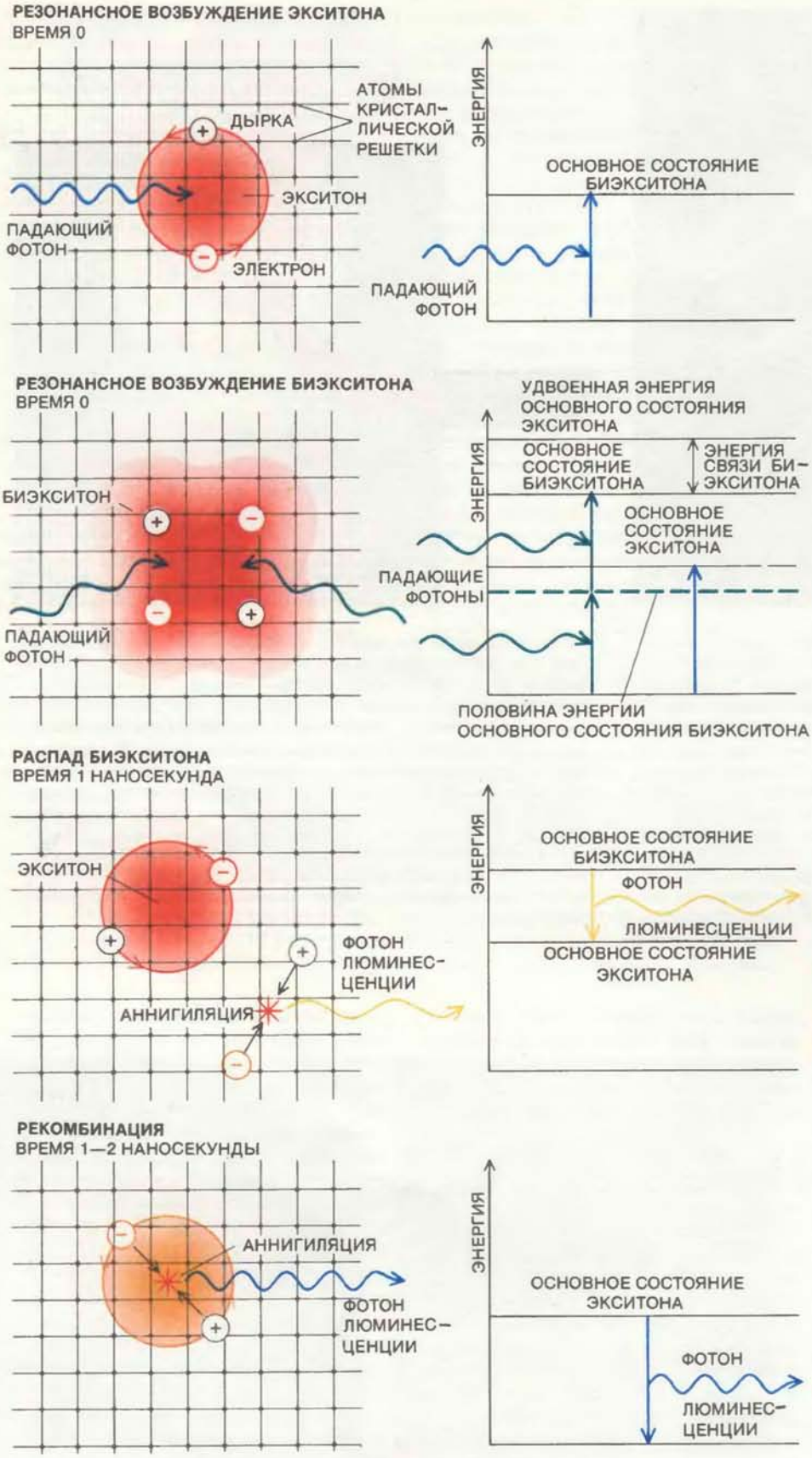
Вызываемые давлением градиенты энергии используются для измерения подвижности экситонов в кремнии, германии и оксиде меди. На кристалл надавливают в центре одной из его полированных поверхностей закругленным на конце стержнем. Давление в материале максимально внутри кристалла, на расстоянии нескольких десятых миллиметра от его поверхности. Экситоны, создаваемые светом, который освещает соседнюю поверхность кристалла, устремляются в направлении области высокого давления, и часть из них рекомбинирует. Силу, приложенную к экситону, можно определить, построив график зависимости сдвига частоты света, испускаемого экситонами, от их положения в кристалле. Спектральный сдвиг на единицу расстояния эквивалентен изменению энергии запрещенной зоны при таком смещении, а это отношение и есть сила, действующая на экситон.

Наглядный пример дрейфа экситонов показан на фотографии кристалла кремния (см. рисунок вверху). Этот кристалл охлаждался примерно до 10 К, а затем возбуждался непрерывным лазерным излучением. Видиконная телекамера, чувствительная к инфракрасному излучению, регистрировала экситонную люминесценцию на длине волны 1,2 мкм, что соответствует примерно удвоенной длине волны желтого света. Отчетливо наблюдается траектория дрейфа экситонов, вызванного градиентом напряжения, который в кремнии может быть очень крутым. Чтобы получить эту фотографию, к кристаллу кремния на площади 1 мм^2 была приложена сила, соответствующая примерно 100 кг; такое давление разрушило бы многие другие полупроводниковые кристаллы, в которых могут создаваться экситоны, например оксид меди.

Скорость дрейфа экситонов определяют, возбуждая их лазерными импульсами и затем наблюдая максимум распределения экситонов в различные моменты из дрейфа по кристаллу. В очень чистом кристалле, поддерживаемом при температуре 1,5 К, скорость дрейфа экситонов изменяется от 100 до 1000 м/с; вычисленная отсюда подвижность получается порядка 10^6—10^7 см^2/(В · с). (Для сравнения: скорость дрейфа электронов, которые переносят электрический ток силой 1 А в медной проволоке диаметром 1 мм, меньше 0,1 мм/с. Другими словами, если бы электроны могли дрейфовать в этой проволоке с той же скоростью, что и экситоны в кристалле, они создали бы в ней ток примерно в 10 млн. ампер. При комнатной температуре подвижность электронов в такой проволоке составляет около 40 см^2/(В · с), что примерно на пять порядков меньше, чем подвижность экситона.)

Для всех исследованных до сих пор полупроводников подвижность экситонов в кристалле очень сильно увеличивается при понижении температуры. Такое соотношение между подвижнос-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NARODU



БИЭКСИТОН, или экситонная молекула, рождается, если два лазерных луча, которые имеют одинаковую частоту, сходятся в тонкой кристаллической пленке. Каждый луч проходил бы через кристалл практически без ослабления, но взаимодействие двух лучей с кристаллом может привести к поглощению на частотах, равных сумме частот этих лучей. Поглощение происходит, когда частота каждого луча составляет ровно половину полной энергии биэкситона. Биэкситон—это связанное состояние двух электронов и двух дырок, которое возникает, поскольку его энергия меньше, чем энергия двух свободных экситонов. Он распадается, когда одна электронно-дырочная пара рекомбинирует, а вторая образует обычный экситон. Вторая пара вскоре также рекомбинирует. Обозначения на схеме те же, что и на рисунке на с. 52.

тью и температурой дополнительно подтверждает, что экситоны рассеиваются на кристаллической решетке: когда температура кристалла понижается, уменьшается амплитуда колебаний решетки, т.е. должны возрастать интервалы времени между актами рассеяния. Таким образом, измерения скорости дрейфа могут дать информацию о движении экситонов. Например, экситон в оксиде меди при 1,5 К должен пролетать расстояние 30 мкм между двумя актами рассеяния — огромное расстояние в атомном масштабе. Это означает, что экситон — чрезвычайно подвижная частица.

КАК ЭКСИТОНЫ реагируют на присутствие других экситонов? Вероятность их взаимодействия можно увеличить, поднимая мощность возбуждающего лазера, т.е. увеличивая плотность экситонного газа. В связи с этим вновь полезно обратиться к аналогии между экситоном и атомом водорода. Хотя атомы водорода электрически нейтральны, в газообразной фазе они имеют сильную тенденцию объединяться и образовывать молекулярный водород (H_2). Каждый атом действует подобно электрическому диполю, а два электрических диполя притягиваются точно так же, как два магнитных диполя, и поэтому энергия молекулы водорода ниже, чем двух отдельных атомов.

Аналогично энергия двух экситонов уменьшается, если они образуют экситонную молекулу, или биэкситон. Поскольку биэкситон состоит из четырех частиц примерно одинаковой массы, сначала предполагалось, что такая молекула находится на грани стабильности. Тем не менее биэкситоны обнаружены в таких кристаллах, как кремний, германий, хлорид меди, бромид серебра и сульфид кадмия.

Обычный метод получения биэкситонов — создание экситонов в таких больших количествах, чтобы они связывались вместе. Существование биэкситонов часто обнаруживается по возникновению новой линии люминесценции. Энергия фотонов, которые дают новую линию, ниже, чем энергия, связанная с рекомбинацией одиночных экситонов. Следовательно, эта линия может появиться, когда одна электронно-дырочная пара в биэкситоне рекомбинирует и остается свободный экситон. Более того, в кремнии и германии интенсивность новой линии люминесценции увеличивается как квадрат интенсивности экситонной люминесценции. Этот рост совпадает с ожидаемым, поскольку вероятность рождения биэкситонов растет как квадрат плотности экситонов.

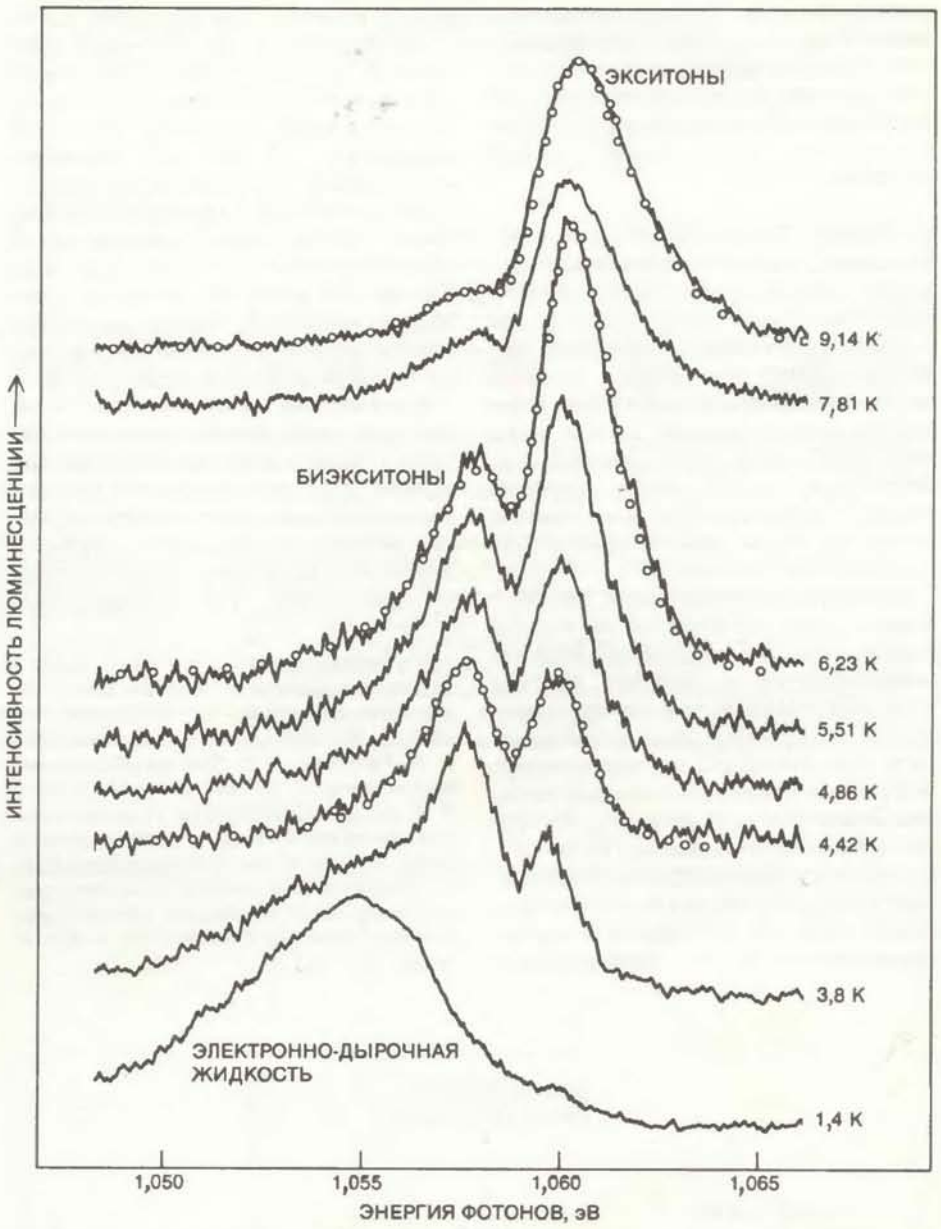
Хотя чаще всего биэкситоны получают, просто увеличивая плотность экситонов, они могут также возникать при прямом оптическом возбуждении. При таком методе требуется одновремен-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

ное поглощение двух фотонов, энергия каждого из которых составляет ровно половину энергии биэкситона. Так как биэкситон состоит из двух связанных электронно-дырочных пар, полная энергия двух фотонов должна быть равна энергии двух свободных экситонов минус энергия связи биэкситона (см. рисунок на с. 56). Когда путем настройки частоты лазера это условие резонанса выполняется, наблюдается сильная линия поглощения. Эта линия очень специфична: она появляется только при высокой интенсивности падающего света. Чтобы вызвать 10%-ное поглощение фотонов в кристалле хлорида меди толщиной 1 мкм, требуется лазерный луч мощностью 1 МВт. По сравнению с другими процессами в твердом теле, связанными с поглощением двух фотонов, это очень сильный оптический эффект.

ЧТО ИЗВЕСТНО о других фазах экситонного вещества, аналогичных жидкому и твердому состояниям молекулярного водорода, найденным при низких температурах? До сих пор ни молекулярная жидкость, ни какая-либо твердая фаза экситонного вещества не наблюдались. Однако во многих кристаллах найдена новая фаза, не наблюдающаяся в водороде. Когда температура кристалла уменьшается до нескольких градусов выше абсолютного нуля, возникает люминесценция в широкой полосе частот. Ни экситонная, ни биэкситонная рекомбинация не могут быть связаны с этим диапазоном частот или с частотой наиболее интенсивного света внутри этой полосы. Более того, найдено, что плотность частиц, которые вызывают это излучение, намного выше, чем в экситонном газе.

Элегантный способ экспериментально продемонстрировать такой рост плотности основан на методике, аналогичной применяемой для измерения скорости дрейфа экситонов. Напомним, что, когда на кристалл нажимают закругленным концом стержня, область максимального напряжения возникает внутри кристалла. Аналогичный эффект хорошо известен конструкторам шарикоподшипников: при экстремальном напряжении подшипник ломается изнутри, потому что точка наивысшего напряжения находится внутри шарика. Так как ширина запрещенной зоны уменьшается с ростом давления, для экситона в кристалле образуется «потенциальная яма», или область минимальной потенциальной энергии. Потенциальная яма захватывает экситонное вещество и удерживает его. В экспериментах с кремнием было найдено, что появление нового пика люминесценции, испускаемой из потенциальной ямы, сопровождается резким уменьшением объема излучающей области. Другими словами, плотность частиц, находящихся в потенциальной яме, возрастает.



БИЭКСИТОНЫ В ГАЗОВОЙ И ЖИДКОЙ ФАЗЕ, состоящие из электронов и дырок, могут быть обнаружены по спектру люминесценции экситонного вещества, удерживаемого в потенциальной яме кристалла кремния. Потенциальная яма — это область пониженной энергии, созданная под действием давления, как показано на рисунке на с. 55. При самых высоких температурах, при которых снимались изображенные спектры, в потенциальной яме преобладают экситоны. При понижении температуры появляется отчетливый пик люминесценции биэкситонов, сдвинутый относительно энергии экситонов на величину, равную энергии связи биэкситона. При самых низких температурах наблюдается широкий максимум, который свидетельствует о конденсации экситонов и биэкситонов в жидкую фазу. Светлыми кружками обозначены теоретические значения интенсивности. Данные получены Гурлеем и Вольфом.

Почему энергии частиц в конденсированной фазе распределены в таком большом диапазоне? Чтобы понять это явление, нужно более подробно рассмотреть статистические свойства экситонов. Все частицы в природе в соответствии с их спином могут быть разделены на два фундаментальных класса. Согласно квантовой механике, спин может принимать только дискретные значения; частицы, спин которых равен целому числу, называют бозонами, а частицы со спином, равным целому плюс 1/2, — фермионами.

И электрон, и дырка имеют спин 1/2, так что оба они — фермионы. Экситон, который состоит из двух частиц с полуцелым спином, имеет целочисленный спин, следовательно, он относится к бозонам. При высоких плотностях квантовомеханические свойства совокупностей фермионов и бозонов совершенно разные. Согласно принципу исключения, который был сформулиро-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NARODU.RU

ван Вольфгангом Паули, в одно и то же время одно и то же квантовомеханическое состояние может занимать только один фермион. С другой стороны, нет каких-либо ограничений на число бозонов, которые могут занимать данное состояние.

РАЗНИЦА между фермионами и бозонами особенно существенна при низких температурах, когда частицы стремятся занять самые низкие из доступных энергетических состояний. Если понижается температура совокупности фермионов, эти состояния занимаются ими по одному. То есть даже при абсолютном нуле совокупность фермионов должна иметь широкий диапазон энергий; какое самое высокое состояние будет занято, зависит от плотности фермионов.

Таковы фермионные свойства электронов и дырок, которые объясняют широкую полосу низкотемпературной люминесценции в кремнии. Ширина этой спектральной полосы при понижении температуры лишь слегка сужается, что указывает на диссоциацию экситонов на электроны и дырки, которые заполняют все состояния, доступные им согласно принципу Паули. Измерение ширины спектральной полосы дает плотность частиц в конденсированной фазе; для электронов и дырок, удерживаемых на дне потенциальной ямы в кремнии, эта плотность равна $3 \cdot 10^{17}$ частиц в 1 см^3, или одной миллионной доли атомной плотности кристалла. Эта жидкость из фермионов называется электронно-дырочной жидкостью*. В кристалле германия наблюдались и исследовались различными способами отдельные большие капли чистой электронно-дырочной жидкости диаметром вплоть до 1 мм. Так как эта жидкость состоит из свободных носителей заряда, она имеет электрическую проводимость, сравнимую с проводимостью меди.

В отсутствие внешнего давления на кристалл электронно-дырочная жидкость собирается во множество мелких капелек. Размеры этих капелек в германии оценивались путем измерения рассеяния ими инфракрасного лазерного излучения. Они имеют примерно 5 мкм в поперечнике, что соответствует 100 млн. электронно-дырочных пар в капле. Обычно капли образуют облако, окружающее точку возбуждения на поверхности кристалла, и находятся внутри экситонного газа.

Облако из капель похоже на туман из жидких частиц, но оно не остается в покое. Эти капли могут сливаться друг с другом, как капли воды в атмосфере; они имеют слабое, но конечное поверхностное натяжение, равное примерно миллионной доле поверхностного натяжения воды. Более того, они могут «продуваться» через кристалл фононным «ветром» (фононы — кванты колебательной энергии атомной решетки). Например, неоднородный ветер возникает в кристалле в точке падения лазерного луча и «сдувает» облако электронно-дырочных капель, причем в некоторых направлениях дальше, чем в других. Исследование взаимодействия фононов с электронно-дырочными каплями приводит к лучшему пониманию законов распространения фононов при низких температурах.

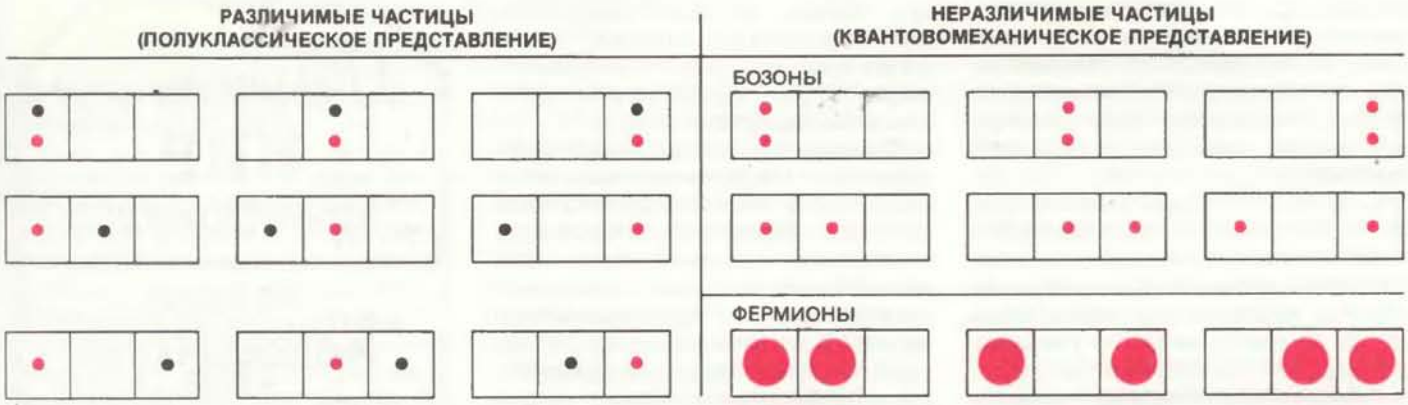
НЕ ВСЕ экситоны в полупроводниках могут конденсироваться в электронно-дырочную жидкость. Например, в оксиде меди экситоны, согласно расчетам, остаются в газовой фазе даже при высоких плотностях, и здесь не наблюдаются ни биэкситоны, ни электронно-дырочная жидкость. В хлориде меди могут образовываться биэкситоны, но жидкость не наблюдается. Если экситоны в этих кристаллах остаются в газовой фазе, то ширина спектральной полосы, которая связана с рекомбинацией экситонов, должна сужаться при понижении температуры, так как экситоны — это бозоны, а бозоны стремятся заполнить состояния с минимальной энергией. Действительно, если концентрация бозонного газа превышает критическую величину, которая зависит от их температуры и массы, все остальные частицы, добавляемые в газ, должны, согласно теории, конденсироваться в почти неподвижное состояние с минимальной энергией. Этот эффект, который основан на теории, разработанной в 1924 г. индийским физиком Ш. Бозе для не обладающих массой фотонов и впоследствии обобщенной Эйнштейном на частицы с ненулевой массой покоя, называют бозе-эйнштейновской конденсацией.

Пока еще нельзя безоговорочно утверждать, что бозе-эйнштейновская конденсация действительно наблюдается. Многие полагают, что такая конденсация объясняет внезапное падение вязкости и другие свойства сверхтекучести — состояния, наступающего в жидком гелии при температурах вблизи абсолютного нуля. Однако из-за сильных взаимодействий между частицами в жидкости трудно теоретически объяснить, как возникает бозе-эйн-

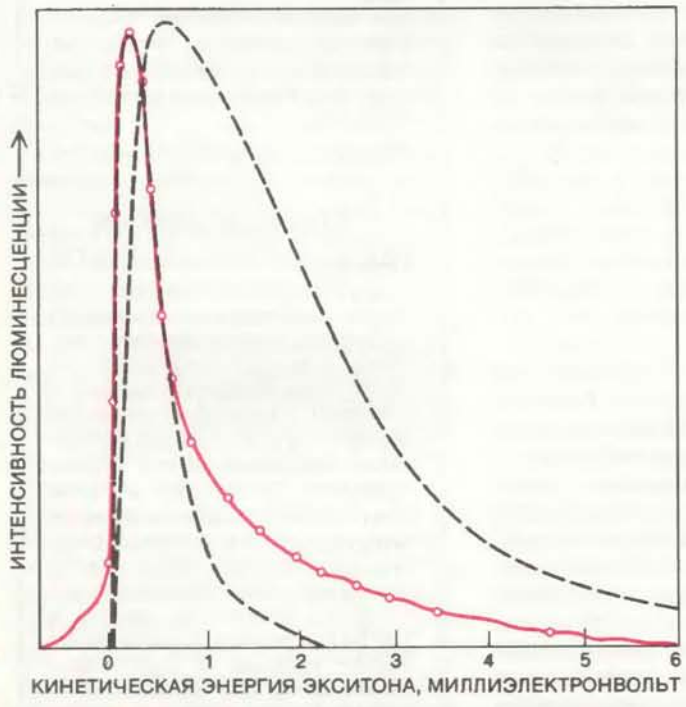
* Явление конденсации экситонов в электронно-дырочную жидкость было теоретически предсказано Л. В. Келдышем в 1968 г. В 1975 г. советским физикам Л. В. Келдышу, В. С. Багаеву (Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР) и Я. Е. Покровскому (Институт радиотехники и электроники АН СССР) и французскому физику М. Воосу (Высшая нормальная школа, Париж) за исследования по конденсации экситонов была присуждена премия Европейского физического общества. — *Прим. перев.*

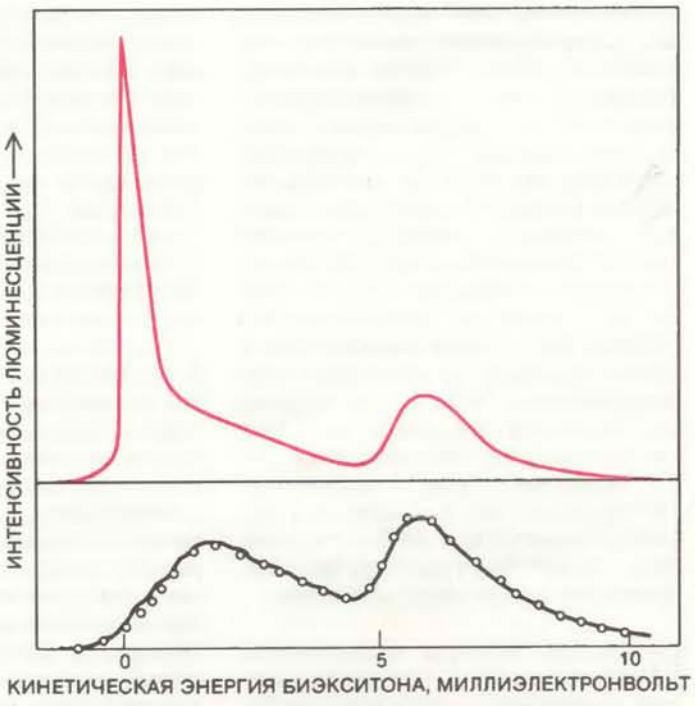
ОБЪЕМЫ ИСПУСКАЮЩИХ СВЕТ ОБЛАСТЕЙ, которые связаны с каждым пиком в спектрах люминесценции, показанных на с. 57, подтверждают наличие биэкситонного газа и электронно-дырочной жидкости. Из кривых видно, что люминесценция экситонов происходит в самом большом объеме. Поскольку биэкситон вдвое тяжелее экситона, предполагается, что люминесценция при биэкситонном распаде (*цветные кружки*) должна происходить в области, диаметр которой составляет $\sqrt{2}/2$, или примерно 0,7 области, где происходит экситонный распад (*черные кружки*). Из кривых видно, что полученные результаты хорошо согласуются с предсказанными. Объем области, которая испускает излучение, характерное для электронно-дырочной жидкости, еще меньше (*пунктирная кривая*), что указывает на конденсацию из газа в плотную жидкую фазу. Данные получены Гурлеем и Вольфом.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU



НЕРАЗЛИЧИМОСТЬ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ объясняет разницу между квантовомеханическим и полуклассическим, т.е. неквантовым, распределением частиц по разрешенным энергетическим состояниям. При полуклассическом подходе каждая частица должна занимать одно из нескольких квантованных энергетических состояний, но, поскольку частицы различимы, они могут распределяться по этим состояниям большим числом способов, чем в квантовом случае. Например, если для каждой из двух различимых частиц подходит любое из данных трех состояний, то они могут быть расположены девятью разными способами. Если в одном состоянии может находиться только одна частица, то таких способов имеется шесть (*слева*). При квантово-механическом рассмотрении все частицы данного сорта неразличимы. Для бозонов, которые могут занимать одно и то же энергетическое состояние, такая возможность имеется в трех из шести случаев (*вверху справа*). При низких температурах, когда число частиц сравнимо с числом разрешенных энергетических состояний, это свойство квантового распределения бозонов эффективно удерживает в состояниях с минимальной энергией бóльшую долю частиц, чем соотношение, предсказываемое полуклассическим распределением. В случае фермионов, которые могут занимать только разные состояния, имеется три способа распределения частиц по трем состояниям, вместо шести, предсказываемых полуклассической теорией (*внизу справа*).





БОЗЕ-ЭЙНШТЕЙНОВСКАЯ КОНДЕНСАЦИЯ может объяснять аномальную форму двух представленных здесь спектров люминесценции. Такая конденсация возникает вследствие квантовомеханического распределения экситонов и биэкситонов, которые являются бозонами, по разрешенным энергетическим состояниям при низких температурах. *Слева* — спектр люминесценции плотного экситонного газа в оксиде меди. Распределение частиц по скоростям, которое может быть получено их этого спектра (*цветная кривая*), хорошо совпадает с распределением, предсказываемым статистикой Бозе—Эйнштейна (*светлые кружки*). Полуклассическое распределение, показанное для двух возможных температур (*черные кривые*), может объяснить часть спектра, но в целом совпадение здесь гораздо хуже, чем в предположении статистики Бозе—Эйнштейна. Данные Д. Хулин, Клода Бенуа а ля Гийома и Мизировича из Парижского университета. *Справа* показан спектр люминесценции биэкситонного газа в хлориде меди (CuCl). Черная кривая—спектр, полученный для относительно разреженного биэкситонного газа, создаваемого лазером с небольшой мощностью; он хорошо согласуется с распределением биэкситонов по скоростям, основанным на полуклассическом подходе (*светлые кружки*). Цветная кривая—спектр, полученный при большей мощности лазера; виден большой рост биэкситонной люминесценции при низкой энергии. Спектральный пик достаточно острый, это указывает на то, что все биэкситоны имеют приблизительно одинаковую кинетическую энергию. Такой спектр должен иметь бозе-эйнштейновский конденсат. Данные получены в Университете шт. Индианы Л. Чейзом, Н. Пейгамбаряном, Г. Гринбергом и Мизировичем.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

штейновская конденсация в гелии-4, изотопе гелия, который становится сверхтекучим при 2,17 К. Многие исследователи стараются вместо этого наблюдать указанный эффект в разреженном газе, для которого теоретическая модель гораздо яснее.

Бозе-эйнштейновский конденсат, если он существует, представляет собой качественно новое состояние вещества, и его свойства могут быть весьма необычны. Например, он должен отличаться от пространственно конденсированных состояний вещества — твердой и жидкой фазы; термин «конденсация» на самом деле относится только к объединению бозонов в состояния с минимальной энергией. Поведение частиц должно быть когерентно (согласованно) на макроскопических расстояниях аналогично когерентному движению электронных пар, которые без сопротивления переносят электрический ток в сверхпроводящих металлах.

При данной плотности газа, чем меньше частицы, тем выше температура бозе-эйнштейновской конденсации. При плотности газа 10^{19} атомов в 1 $см^3$ критическая температура атомарного водорода, самого легкого элемента в периодической таблице, несколько меньше 0,1 К. При такой плотности бозе-эйнштейновская конденсация для водорода, вообще говоря, невозможна, так как атомы водорода стремятся объединиться с образованием двухатомных молекул. Тем не менее предпринимаются успешные попытки получения атомарного водорода с высокой плотностью путем магнитного упорядочения спинов атомов. Почти все другие элементы затвердевают прежде, чем будут достигнуты экстремальные значения температуры и плотности, необходимые для бозе-эйнштейновской конденсации. Однако для экситонов вследствие их малой массы бозе-эйнштейновская конденсация экситонного газа с плотностью 10^{19} частиц в 1 $см^3$, по-видимому, возможна примерно при 100 К — температуре, гораздо более высокой, чем ожидается для любых атомных систем.

Имеется несколько доказательств существования бозе-эйнштейновской конденсации экситонного или биэкситонного газа. Если при температуре 2 К постепенно увеличивать плотность экситонов в оксиде меди, то спектр люминесценции начинает отклоняться от спектра, предсказываемого классическим распределением частиц по скоростям. И наоборот, распределение скоростей, получаемое в предположении, что экситоны находятся на пороге бозе-эйнштейновской конденсации, очень хорошо согласуется с этими данными. Ученые из СССР сообщают, что с ростом плотности экситонов в кристалле германия сужается полоса экситонной рекомбинации*. Полученные результаты согласуются с предсказаниями о поведении бозонного газа вблизи порога бозе-эйнштейновской конденсации.

При высоких плотностях газа биэкситоны в хлориде меди также обнаруживают аномалии в спектре люминесценции. Биэкситоны создаются непосредственно в состоянии с минимальной энергией путем резонансного фотовозбуждения. При температурах ниже 30 К и плотностях выше 10^{18} частиц в 1 $см^3$ в спектре появляется резкая рекомбинационная линия, показывающая, что большинство экситонов распадается в состоянии с минимальной энергией. Если в такую систему добавлять «пробные» биэкситоны (путем нерезонансного возбуждения), то они попадают в занятые состояния с минимальной энергией. С другой стороны, если в системе уже нет резонансных биэкситонов, то пробные биэкситоны получают неквантовомеханическое распределение по скоростям.

Хотя этот результат является сильным аргументом в пользу предположения о существовании в кристалле бозе-эйнштейновского конденсата, его можно оспаривать, поскольку при таких эффектах все биэкситоны находятся в одном и том же состоянии с минимальной энергией под влиянием первоначального резонансного возбуждения. К сожалению, пока еще не наблюдалась бозе-эйнштейновская конденсация газа, который вначале был в тепловом равновесии. Однако не будет ничего удивительного в том, что первой физической системой, однозначно продемонстрировавшей такую конденсацию, станет экситонный газ.

Исследования взаимодействия экситонов проводятся в таких областях температур, давлений, интенсивностей излучения и масштабов времени, которые в настоящее время находятся на пределе возможностей эксперимента. Кроме того, экситоны наблюдаются в самых разнообразных материалах: помимо полупроводников и биологических систем, о которых мы упоминали, они обнаружены в изоляторах, органических кристаллах, а также в искусственно создаваемых периодических структурах, названных сверхрешетками. Недавно разработанные лазеры, способные генерировать очень короткие импульсы длительностью всего лишь в доли пикосекунд, позволят изучать динамику экситонов с еще более высоким разрешением во времени. Дальнейшие исследования в этой области должны привести к новым интересным результатам.

* Имеются в виду работы группы В. Б. Тимофеева из Института физики твердого тела АН СССР. — *Прим. перев.*

Издательство **МИР** *предлагает:*

МЕТОДЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ

Под редакцией У. Ли
В двух книгах
Перевод с английского

Рассматриваются акустические и фонетические методы распознавания речи, применяемые в настоящее время при автоматическом вводе речевой информации в автоматизированных системах проектирования, конструирования и технологической подготовки производства. Значительное внимание уделено коррекции ошибок при распознавании речи и нахождению оптимальных ошибок определения правильности вводимых в ЭВМ слов.

Для системотехников, инженеров — математиков и филологов, занимающихся автоматизацией проектирования и конструирования.

1983, 52 л. Цена 7р. 40к. за комплект

Г. Браун, А. Массет
НЕДОСТУПНАЯ ЗЕМЛЯ

Перевод с английского

Книга, написанная геохимиком Г. Брауном и геофизиком А. Массетом, знакомит читателя с современными представлениями о строении, развитии и динамике Земли. В единой последовательности рассматриваются происхождение Солнечной системы, планет, их эволюция и современное строение на основе последних достижений науки. Книга прекрасно иллюстрирована и достаточно популярна, вместе с тем она отличается высоким научным уровнем и охватывает практически все аспекты этой темы.

Монография предназначена для геологов, преподавателей, аспирантов и студентов геологических специальностей, а также для читателей, интересующихся вопросами образования, строения и развития Земли и других планет Солнечной системы.

1984, 21 л. Цена 3 р. 45 к.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Трудности атомной энергетики США

Во всех развитых странах, кроме США, наблюдается относительно устойчивое развитие атомной энергетики. В США же эта отрасль сейчас испытывает застой. Одна из причин — общественный протест против атомных электростанций, который повлиял на их экономический статус, что привело к приостановке строительства этих энергетических сооружений, а это в свою очередь сделало их более дорогостоящими и менее конкурентоспособными по сравнению с топливными (на нефти и угле) электростанциями. Но даже и без этих трудностей атомная энергетика США была бы вынуждена преодолевать растущую стоимость строительства, снижение темпов роста потребления электроэнергии, а также сложности, связанные с финансированием долгосрочных капиталоемких проектов при высоких нормах процента.

Начиная с 1975 г. энергопредприятия общего пользования США отказались от строительства 89 новых реакторов, что в общей сложности означает снижение объемов производства электроэнергии в будущем в размере 85 тыс. МВт. Только две атомные электростанции, на строительство которых были заключены контракты в последние 9 лет, не были исключены из планов заказчиков, и работы по их сооружению все же должны начаться. Прирост производства электроэнергии, вырабатываемой атомными реакторами, в ближайшие годы будет обеспечен теми электростанциями, договоренность о строительстве которых была достигнута десять и более лет назад. Согласно исследованию, проведенному фирмой Atomic Industrial Forum, Inc., 14 таких электростанций будут готовы к сдаче в эксплуатацию в 1984 г.; после их пуска общий объем производства электроэнергии атомными станциями в стране с учетом 81 уже действующей составит 81 тыс. МВт. Если же в строй войдет еще примерно 50 атомных электростанций, находящихся сейчас в стадии строительства или сооружение которых уже запланировано, то, как ожидается, производство электроэнергии атомными станциями удвоится к 1990 г. и составит около 20% общего объема вырабатываемой в США электроэнергии. При этом общее число атомных электростанций останется намного меньше запланированного ранее; в начале 70-х годов предполагалось, что к 2000 г. таких электростанций в стране будет 1200.

Означает ли это, что на атомную энергетику нельзя делать ставку при разработке планов по увеличению производства электроэнергии в США? Вовсе нет. По мнению Р. Лестера, инженера-ядерщика, сотрудника Массачусетского технологического института, отмечаемый в настоящее время застой в развитии атомной энергетики США может обернуться прогрессом в этой отрасли. Как утверждает Лестер, основная проблема заключается в том, что «конструкция атомных электростанций нынешнего поколения не отвечает современным требованиям».

В своей статье в газете «The Wall Street Journal» Лестер указывает на некоторые «зарубежные достижения», которые «могли бы помочь американской атомной энергетике продвинуться вперед». Особое внимание он уделяет опыту Японии — «самому недавнему ученику США в области атомной энергетики, который вышел на передовые рубежи по масштабам использования ядерной энергии в мирных целях». В противоположность США, где усилия улучшить базовую конструкцию реакторов на легкой воде — основной стержень ядерно-энергетической программы страны — «послужили причиной застоя», Япония придерживается «иной, собственной программы совершенствования ядерных энергетических установок и одновременно создает свою довольно мощную индустрию», основанную на производстве реакторов на легкой воде, первоначально разработанных в США. Более того, в будущем техническая модернизация реакторов на легкой воде «займет еще более солидное место в ядерной энергетической стратегии Японии».

Современные реакторы на легкой воде, отмечает Лестер, «значительно сложнее (и дороже) по сравнению с построенными десять лет назад, и в конструктивном плане требуют самых сложных вспомогательных устройств. Такая тенденция объясняется возрастающими требованиями по обеспечению безопасности этих реакторов. Однако техническому решению этой проблемы не хватает стратегической цели... Существующие в данной области пробелы вызывают необходимость основательного пересмотра конструкции и технических норм для реакторов на легкой воде. Следует стремиться к разработке более совершенных и в то же время простых в эксплуатации электростанций, обладающих такой же или более высокой безопасностью, причем стоимость этих электростанций должна быть существенно ниже.

Если в будущем сохранятся сложившиеся сегодня тенденции в экономике, то, как предсказывает Лестер, «большинство энергопредприятий общего пользования будут отдавать предпочтение строительству электростанций с наращиваемой мощностью. При этих условиях вполне возможно, что рынок будет испытывать потребность в «модульных» атомных электростанциях, представляющих собой комплекты небольших реакторов, скажем по 200 МВт каждый (для сравнения отметим, что многие реакторы, которыми оснащены современные электростанции, имеют мощность 1000 МВт)... Для этих целей лучше всего, пожалуй, подходят реакторы с газовым охлаждением».

Считая, что настало время «для серьезных исследований возможностей перспективных реакторов (будь то усовершенствованные реакторы на легкой воде или какие-либо принципиально новые разработки) в деле возрождения американской атомной энергетики», Лестер приходит к выводу, что «единственное наиболее важное требование заключается в том, чтобы энергопредприятия общего пользования сами проявили инициативу в обобщении коллективного опыта эксплуатации атомных станций и сформулировали свои технические требования на предстоящие десятилетия. Правительство же должно играть ключевую роль, и, безусловно, не в том, чтобы определять, кто преуспел больше других, а в том, чтобы стимулировать проведение испытаний на безопасность и осуществлять своевременное государственное регулирование в этой области». Для Лестера альтернатива новому техническому решению вполне очевидна: «Неудачи в деле принципиального улучшения современной конструкции реакторов на легкой воде сами по себе не могут остановить развитие в США ядерной энергетики. Это может сделать только наше нежелание всерьез заняться решением этой проблемы».

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Звуки мышц

Сокращающаяся мышца генерирует звуки, которые мы не слышим только потому, что ухо человека нечувствительно к низким частотам. Эти звуковые колебания сейчас изучают с целью использования их для научных и медицинских исследований

ДЖЕРАЛД ОСТЕР

В ТЕЛЕ бодрствующего человека непрерывно происходит сокращение и расслабление мышц. Может показаться странным, но при этом мышцы генерируют звуки. В обычных условиях мы не слышим эти звуки, поэтому вы можете усомниться в их существовании. Тогда проверьте сами: кончиками больших пальцев заткните уши, но несильно. Если теперь остальные пальцы вы сожмете в кулаки, то услышите слабый гул. И чем крепче сжаты кулаки, тем громче будет звук. То, что вы слышите, и есть звуковые колебания, генерируемые мышцами кисти и предплечья при их сокращении.

Звучание мышц обычно не слышно, потому что наше ухо нечувствительно к низкочастотным колебаниям. Основная частота мышечных звуков — 25 Гц, что близко к нижней границе слышимости. Они известны давно — уже несколько столетий, однако большинство физиологов и врачей рассматривали их как какую-то помеху. Современный уровень развития вычислительной техники и медицинского приборостроения позволил детально исследовать звуки, издаваемые мышцами. Результаты оказались необыкновенно интересными. Мои данные дают основания предполагать, что звуковые колебания генерируются в самих волокнах сокращающейся мышцы. Вполне возможно, что изучение этих эффектов многое даст для понимания физиологии и патологии мышц (в том числе сердечной мышцы) и даже некоторых способов коммуникации у животных.

О том, что можно услышать звучание мышц, приложив к ушам большие пальцы, впервые сообщил итальянский иезуит Франциско Гримальди в своей книге "Physicomatheis de lumine". Этот труд, опубликованный в 1663 г., спустя два года после смерти автора, представляет собой трактат о свете. Гримальди известен тем, что открыл явление дифракции света, однако он интересовался также и акустикой. Звуки мышц он приписал «возбуждающим движениям животных ду́хов». Еще со времен знаменитого древнегреческого врача Галена было принято считать, что произвольными движениями управляют некие флюиды, или животные духи, являющиеся эманацией мозга. После Гримальди звучание мышц в течение полутора веков не привлекало внимания исследователей.

В НАЧАЛЕ XIX в. этим феноменом заинтересовался английский физик, химик и врач Уильям Хайд Волластон. В 1810 г. на Круниановских чтениях в Лондонском Королевском обществе Волластон сообщил о том, что ему удалось оценить частоту мышечных звуковых колебаний. Волластон умудрился провести полуколичественное исследование. Он поручил кучеру своего экипажа ездить по улицам с различной скоростью, пока не добился соответствия производимого экипажем шума с тем, который он слышал через большие пальцы от сжатых кулаков и мышц предплечья. Наибольшее сходство достигалось при скорости экипажа около 13 км/ч.

Опытам Волластона существенно помогла стандартность покрытия лондонских улиц. В 1810 г. проéзжая часть была вымощена одинаково обтесанными камнями длиной 15 см. При скорости экипажа 13 км/ч его колеса соударяются приблизительно с 23 камнями в секунду. Исходя из этого Волластон заключил, что частота мышечных звуковых колебаний составляет приблизительно 23 Гц.

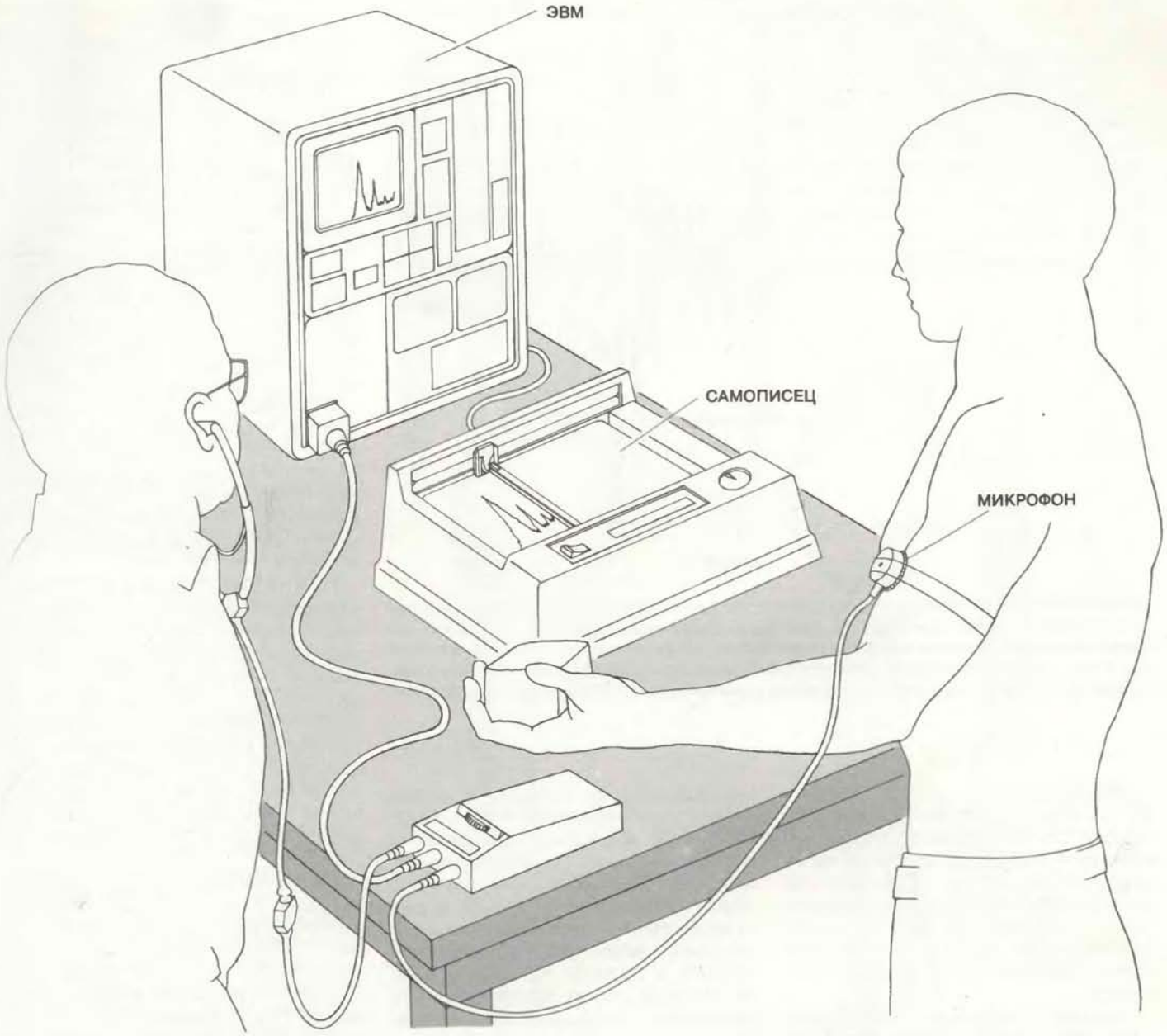
С помощью простого стетоскопа, представлявшего собой деревянную палочку с маленькой подушечкой на конце, которая прикладывалась к уху, Волластон сделал еще два наблюдения. Он отметил, что все мышцы тела независимо от их размеров испускают один и тот же гудящий звук. Кроме того, он обнаружил, что частота колебаний не зависит от силы, развиваемой мышцей, если только эта сила не слишком велика. Только при очень больших усилиях частота звука, испускаемого мышцей, немного возрастает.

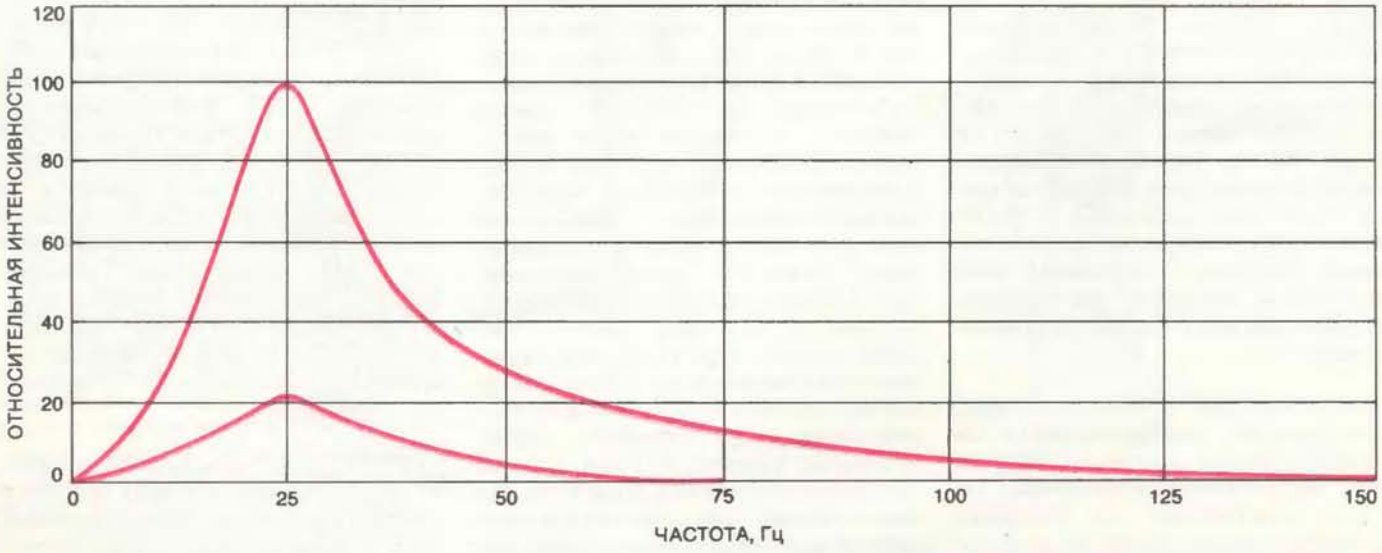
После 1810 г. звучанием мышц никто не интересовался еще 150 с лишним лет, если не считать случайных упоминаний в научных публикациях о том, что шум, исходящий от мышц, мешает прослушивать другие звуки живого организма. Мой интерес к колебаниям мышц возник при исследовании врожденных пороков сердца у крысят, матери которых во время беременности подвергались воздействию некоторых химических агентов. Для прослушивания сердца у крыс удобен так называемый электронный стетоскоп, который усиливает низкочастотные звуки. Крысам давали в небольших дозах транквилизаторы, чтобы было легче обращаться с ними, однако их конечности иногда подергивались. Когда это происходило, в головных телефонах прибора слышалось довольно громкое гудение, сопровождавшее мышечное сокращение.

Полагая вначале, что мышечные звуки широко известны, я обратился к научной и медицинской литературе, но обнаружил, что им по большей части не уделяли внимания. Я решил исследовать звучание мышц с помощью современной аппаратуры и привлек к этому Дж. Джеффи, в то время студента-практиканта Медицинской школы Маунт-Синай Нью-Йоркского университета.

Не удивительно, что врачи мало занимались мышечными звуками. Дело в том, что простые стетоскопы, которыми обычно прослушивают различные звуки в теле, непригодны в случае мышц. С их помощью неплохо прослушиваются сигналы в диапазоне частот 75 — 200 Гц, например сердечные шумы или легочные хрипы. Однако устройство простого стетоскопа таково, что он практически нечувствителен к звукам частотой менее 50 Гц. Кроме того, ту незначительную долю низкочастотных колебаний, которая все-таки доходит до уха, исследователь практически не слышит из-за крайне малой чувствительности человеческого органа слуха в области низких частот. Так, например, человек воспринимает звук с частотой 25 Гц в десять тысяч раз хуже, чем звук с частотой 250 Гц. Специалисты считают, что нижняя граница слухового восприятия — это примерно 20 Гц; начиная с частот ниже 30 Гц люди не различают тональность звука и описывают его просто как низкий гул.

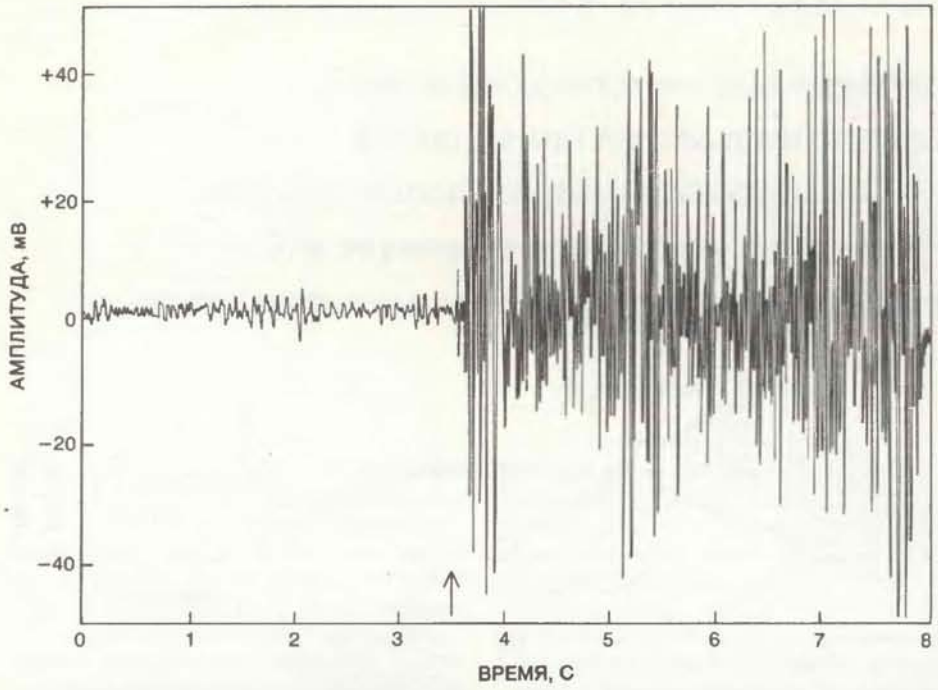
WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU





ЭЛЕКТРОННЫЙ СТЕТОСКОП для исследования низкочастотных звуков, испускаемых сокращающимися мышцами. *Вверху* изображено, как проводится эксперимент. Испытуемый (*справа*) держит на ладони груз; на его бицепсе прикреплен микрофон электронного стетоскопа. Исследователь (*слева*) прослушивает усиленные мышечные звуки через головные телефоны. Электрический сигнал от стетоскопа обрабатывается на ЭВМ по программе быстрого фурье-преобразования. Получается спектр мышечного звука, т.е. зависимость мощности звукового сигнала от его частоты. Спектр регистрируется самописцем на бумаге. *Внизу* приведены два спектра мышечных звуков; верхняя кривая при нагрузке 5 кг, нижняя — при нагрузке 2 кг. В обоих случаях интенсивность звука максимальна при частоте 25 Гц.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NARODRU



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СИГНАЛ от электронного стетоскопа при сокращении мышц руки изменяется. Здесь приведена запись сигналов от микрофона, укрепленного на предплечье над лучевым сгибателем запястья (m.flexor carpi radialis). Вначале (*левая часть кривой*) рука была расслаблена. Затем испытуемый сжал кисть в кулак, мышца сократилась (*отмечено стрелкой*) и амплитуда колебаний резко возросла.

Электронный стетоскоп — превосходное средство для преодоления этих трудностей. Его основной элемент — микрофон, который преобразует звук в электрические сигналы. В большинстве электронных стетоскопов применяются пьезоэлектрические микрофоны, которые непосредственно преобразуют волны давления в электрические импульсы.

Хорошие электронные преобразователи работают практически без искажений в полосе частот вплоть до 1000 Гц. Сигналы от пьезодатчика формируются с помощью интегральных схем для последующего усиления в интересующем диапазоне частот. Изучая звучание мышц в полосе частот от 15 до 100 Гц, мы воспользовались именно этим методом. Усиленный сигнал можно затем либо превратить обратно в звук и прослушать его с помощью головных телефонов, либо представить визуально на дисплее, подобно тому как это делается в осциллографе.

Электронный стетоскоп имеет, несомненно, ряд преимуществ перед простым стетоскопом, но уступает ему в одном. Электронный прибор настолько чувствителен, что усиливает не только звуки мышц, но также фоновые колебания — такие, как шум кондиционеров, проезжающих автомашин и даже звук шагов. Этот низкочастотный фон не так-то легко устранить. Длина волны колебаний обратно пропорциональна их частоте, а размер фильтра, необходимого, чтобы заглушить звук, возрастает с увеличением его длины волны. Высокочастотные колебания (например, речь, рев реактивного самолета, вой сирены) имеют относительно малую длину волны и довольно эффективно поглощаются стенами и другими частями зданий. Значительно труднее избавиться от звуков с частотой менее 100 Гц. Например, при частоте 20 Гц длина волны составляет примерно 15 м; чтобы звуковой сигнал такой длины волны не попал в электронный стетоскоп, понадобился бы фильтр величиной с дом.

Поскольку микрофон не удается оградить от низкочастотных посторонних колебаний, выходной сигнал электронного стетоскопа содержит случайную компоненту — шум, который накладывается на исследуемые звуки. Нужен был метод, позволяющий отделить полезную информацию от фона. Я обратился к математическому методу, известному под названием «автокорреляция». Метод автокорреляции случайных колебаний был разработан Дж. Тейлором (Кембриджский университет) для анализа турбулентного течения жидкостей. Не входя в неуместные здесь математические подробности, замечу лишь, что принцип метода заключается в сравнении выходного сигнала в данный момент времени с выходным сигналом спустя некоторый промежуток времени. Содержащаяся в сигнале полезная информация — в нашем случае о волнах давления мышечных звуков — выражается периодической функцией, в то время как фоновые шумы обычно не отличаются такой регулярностью. Поэтому при совмещении сдвинутых во времени сигналов усиливается полезная информация и устраняется шум.

С помощью метода автокорреляции удалось показать, что при звучании мышц преобладают колебания с частотой 25 Гц, причем мышечный звук представляет собой не чистый тон, а охватывает некоторый диапазон частот. Спектр такого звука, содержащего ряд колебаний различной частоты, можно охарактеризовать зависимостью мощности от частоты. В приближенном изображении спектр мышечного звука имеет максимум при 25 ± 2,5 Гц. Иначе говоря, мышечный звук эквивалентен случайному шуму, прошедшему через фильтр, срезающий все звуки с частотой ниже 22,5 и выше 27,5 Гц.

Естественно спросить, почему спектр мышечных звуков понадобилось определять с помощью метода автокорреляции, а не непосредственно по данным электронного стетоскопа. Дело в том, что еще недавно непосредственные расчеты спектра по данным регистрации колебаний, подобным звукам при мышечном сокращении, стоили слишком дорого, так как требовали много машинного времени даже при работе на самых быстродействующих ЭВМ.

Теперь же такие расчеты существенно упростились благодаря новой программе, которую разработали Дж. Кули из научно-исследовательского центра компании IBM и Дж. Тьюки из Bell Laboratories (он является также сотрудником Принстонского университета). Алгоритм, на котором основана программа, — это так называемое быстрое фурье-преобразование. Он позволяет делать всего 5000 операций вместо миллиона, которые требуются при обычном расчете, что экономит машинное время в 200 раз. Применительно к исследованиям звуков мышц программа давала точный спектр, а не приближенный, который получался по методу автокорреляции. В наших опытах ЭВМ, выполняющая быстрое фурье-преобразование, подключалась к электронному стетоскопу. При этом машина вычисляла спектр звуковых колебаний почти одновременно с мышечным сокращением.

В типичном эксперименте испытуемый (обычно эту роль исполнял Джеффи) держал на ладони свинцовый груз. К бицепсу прикреплялся микрофон. Когда рука неподвижна, сокращение мышц изометрическое и амплитуда мышечных звуковых колебаний, как оказалось, прямо пропорциональна величине удерживаемого груза.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Тот факт, что амплитуда звукового сигнала пропорциональна нагрузке, создает возможность оценивать интенсивность работы той или иной мышцы по силе испускаемого ею звука. В экспериментах с удерживанием груза на ладони амплитуда звукового сигнала от бицепса была минимальной, когда угол между предплечьем и плечом составлял 115°. Штангистам давно известно, что как раз при таком угле можно удержать наибольший вес.

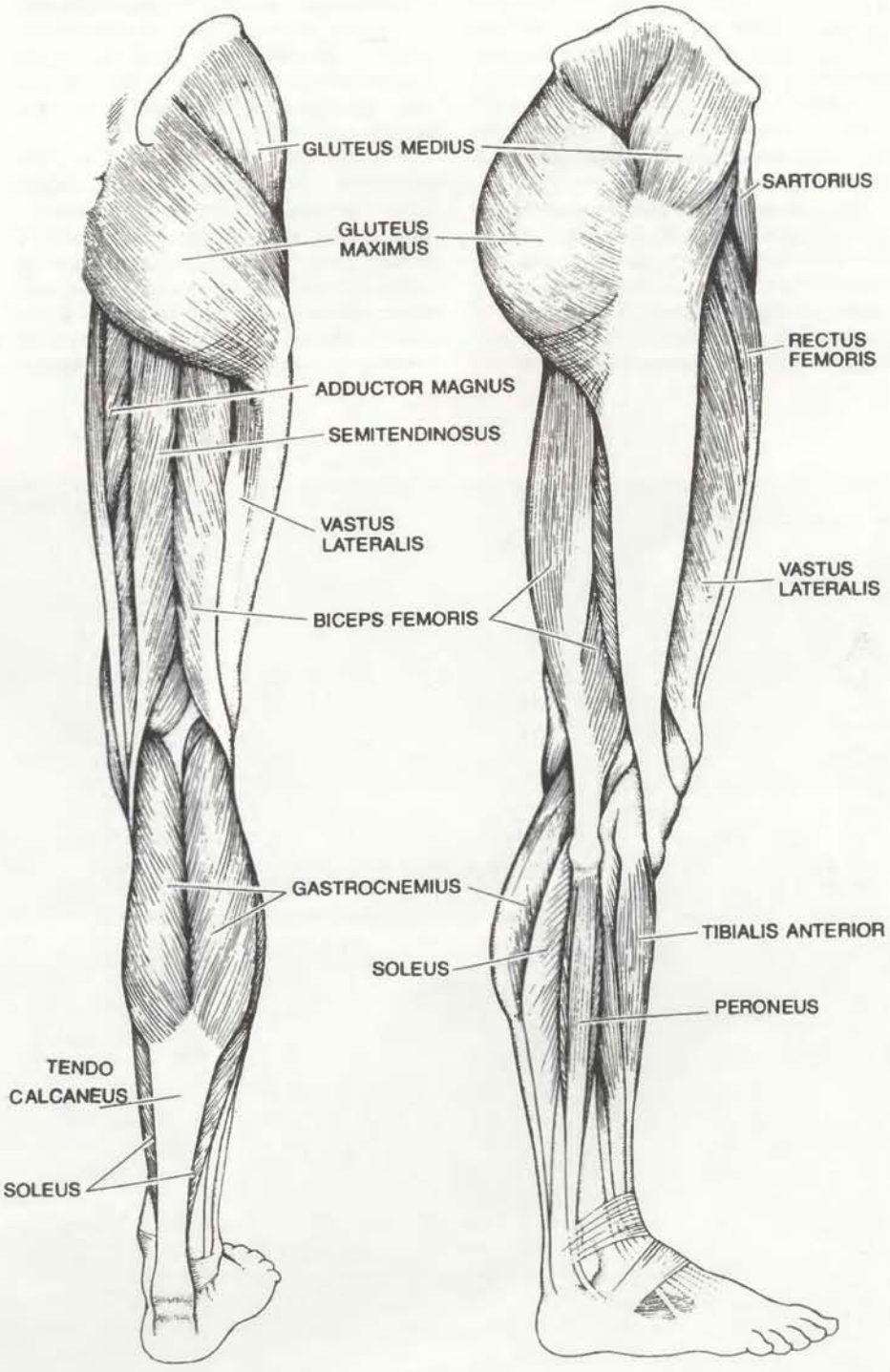
У лежащего ничком человека икроножная мышца (m.gastrocnemius) почти не звучит. Если человек стоит, звук от икроножной мышцы довольно громкий, а когда поднимается на носки, он становится весьма интенсивным. Когда Джеффи стоял на носках, интенсивность звука от икроножной мышцы была такая же, как от его предплечья при удерживании на ладони груза около 7 кг, а это был максимальный вес, который он мог держать долго.

Мы исследовали звучание мышц у профессиональной балерины. Оказалось, что она не может держать на ладони такой большой груз, как Джеффи. Когда же она стояла на носках, то звук от ее икроножной мышцы был гораздо сильнее, чем у Джеффи в той же позе. По-видимому, в результате постоянной тренировки на пуантах у нее выработался какой-то особый способ стоять на носках — не такой, как у Джеффи. Эти результаты наводят на мысль, что, измеряя силу звука от различных мышц, можно выявить, какие из них участвуют в выполнении той или иной физической работы.

Камбаловидная мышца голени (m.soleus) находится рядом с икроножной и отчасти прикрыта ею. Я исследовал эту мышцу с помощью миниатюрного микрофона, мембрана которого имела всего 5 мм в диаметре. Когда испытуемый стоял в привычной ему позе, камбаловидная мышца звучала почти в 10 раз сильнее, чем икроножная. Интенсивность звука в данном случае согласуется с физиологическими особенностями мышцы, а также с ее ролью в локомоции. M.soleus обеспечивает нужный угол между голенью и стопой и, следовательно, имеет большое значение для поддержания вертикального положения тела.

При стоянии, ходьбе или беге камбаловидная мышца в течение длительного времени многократно сокращается без утомления. В других скелетных мышцах утомление наступает быстрее, что связано с иной скоростью утилизации энергии: в камбаловидной мышце она меньше, чем в большинстве других скелетных мышц. Выносливость m.soleus обусловлена тем, что в ней много митохондрий — клеточных органелл, преобразующих энергию; в митохондриях с помощью окислительных ферментов осуществляется синтез аденозинтрифосфата (АТР), который служит в клетке универсальным «топливом».

Мышечные волокна, которые содержат много митохондрий, относят к медленным фазным волокнам; волокна же, которые содержат меньше митохондрий и могут сокращаться быстро, называют быстрыми фазными волокнами. Совершенно очевидно, что медленные волокна особенно важны для мышечной деятельности, требующей выносливости, а быстрые волокна — для активности, требующей хорошей реакции. Камбаловидная мышца, в которой преобладают медленные волокна, значительно более развита у бегунов на длинные дистанции, особенно у марафонцев, чем у спринтеров, так как бег на короткие дистанции не требует такой нагрузки этой мышцы. Регулярно измеряя силу звука от камбаловидной мышцы и сравнивая ее, на-



МЫШЦЫ НИЖНЕЙ КОНЕЧНОСТИ ЧЕЛОВЕКА—вид сзади и вид сбоку. Две основные мышцы голени—камбаловидная (m.soleus) и икроножная (m.gastrocnemius). Когда человек стоит, звук от камбаловидной мышцы почти в 10 раз громче, чем от икроножной. Камбаловидная мышца обеспечивает поддержание угла между голенью и стопой. Она состоит преимущественно из так называемых медленных фазных волокон, которые способны многократно сокращаться без утомления.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

пример, с икроножной, можно было бы контролировать эффективность тренировки бегуна на длинные дистанции.

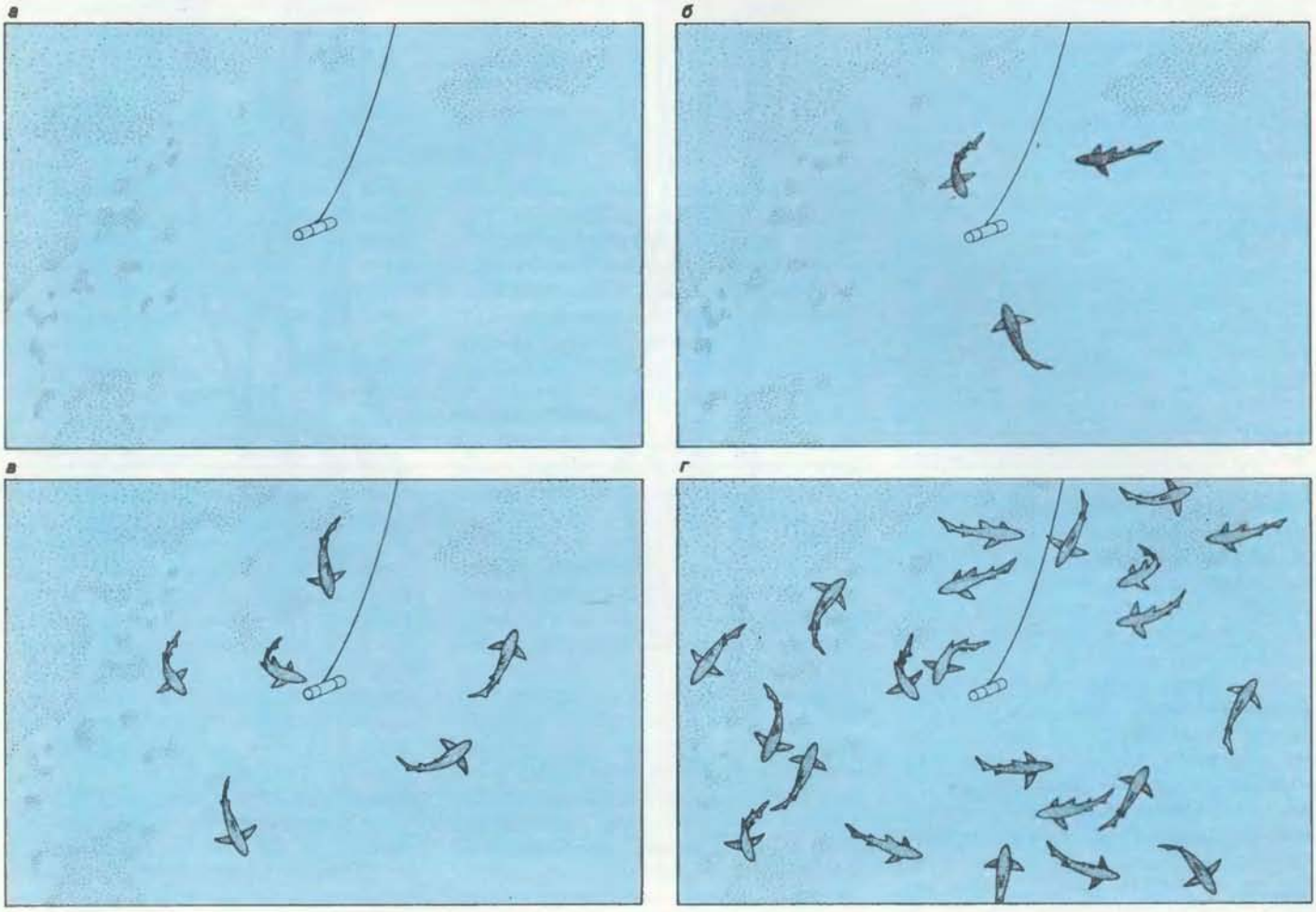
Мышечные звуки могут представлять интерес для изучающих поведение животных. Звучание мышц довольно хорошо прослушивается под водой. Если, погрузив голову в воду, вы поднесете сжатый кулак к уху, то услышите слабый, но отчетливый звук сокращающихся мышц. В воде он слышен лучше, чем в воздухе, потому что ткани человеческого тела в 1000 раз плотнее воздуха, а при значительной разнице в плотности звук плохо распространяется из одной среды в другую. Так как вода много плотнее воздуха, мышечные звуки передаются в воде более эффективно.

Одну из немногих рыб — карликового гурами (*Trichopsis vittatus*) — можно услышать, даже находясь над поверхностью воды; за это ее называют также урчащим гурами. Рыбы некоторых других видов генерируют звук благодаря вибрации плавательного пузыря — органа, обеспечивающего плавучесть. Гурами же издают звуки только тогда, когда совершают особо энергичные и быстрые движения, характерные для их поведения в период нереста. Звуки при этом, по-видимому, исходят не от плавательного пузыря и не вызваны турбулентностью струй воды. Вполне вероятно, что их источник — именно мышечное сокращение.

Некоторых акул привлекают низкочастотные звуки. В 1963 г. Д. Нельсон и С. Грабер из Скриппсовского океанографического института показали, что лимонные акулы плывут по направлению к источнику звука, если его частота находится в интервале 20 — 50 Гц. При частоте колебаний вне этого диапазона звук их не привлекает.

Нельсон (ныне он работает в Университете шт.Калифорния в Лонг-Биче) продолжил эти исследования и обнаружил, что акулы, обитающие у рифов Тихого океана, приплывают на прерывистые низкочастотные звуки репродуктора, погруженного в воду. Акулы скапливаются у репродуктора также и в том случае, когда воспроизводится запись звуков, которые издает рыба, бьющаяся на крючке или попавшая в зубы акуле. Представляется весьма правдоподобным, что сигналом для акул служат интенсивные звуки, испускаемые мышцами судорожно дергающейся рыбы.

Звуки мышц могут быть средством коммуникации даже между эмбрионами. Маргарет Винс (Совет сельскохозяйственных исследований Великобритании) зарегистрировала низкочастотные звуки, исходящие из насиженных яиц японской куропатки. С помощью преобразователя, специально разработанного для прослушивания яиц, Винс обнаружила, что звуки появляются приблизительно за четыре дня до проклевывания. Чтобы наблюдать зародыш, она делала отверстие в скорлупе и прикрывала его прозрачной пленкой. Сквозь такое «окошко» удалось увидеть, что гудящий звук сопровождает телодвижения эмбриона. Есть основания полагать, что звучание мышц одного эмбриона может стимулировать соседние эмбрионы к освобождению из скорлупы. Давно известно: цыплята из



АКУЛ, обитающих у рифов Тихого океана, привлекают низкочастотные звуки, исходящие из погруженного в воду репродуктора. Рисунки сделаны по кадрам из кинофильма, снятого Д. Нельсоном и Р. Джонсоном (Университет шт. Калифорния в Лонг-Биче) у атолла Иниуиток (Маршалловы острова). Репродуктор находился на глубине около 15 м. Звук включали, когда акул поблизости не было (*а*). В течение 30 с они собирались (*б, в*). Спустя 2 мин вокруг репродуктора плавало более 20 акул (*г*). Возможно, акулы воспринимают низкочастотные мышечные звуки как сигнал о появлении добычи.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

яиц, соприкасавшихся друг с другом, вылупляются раньше, чем из яиц, не находившихся в контакте. Это явление Винс объясняет стимулирующим влиянием мышечных звуков.

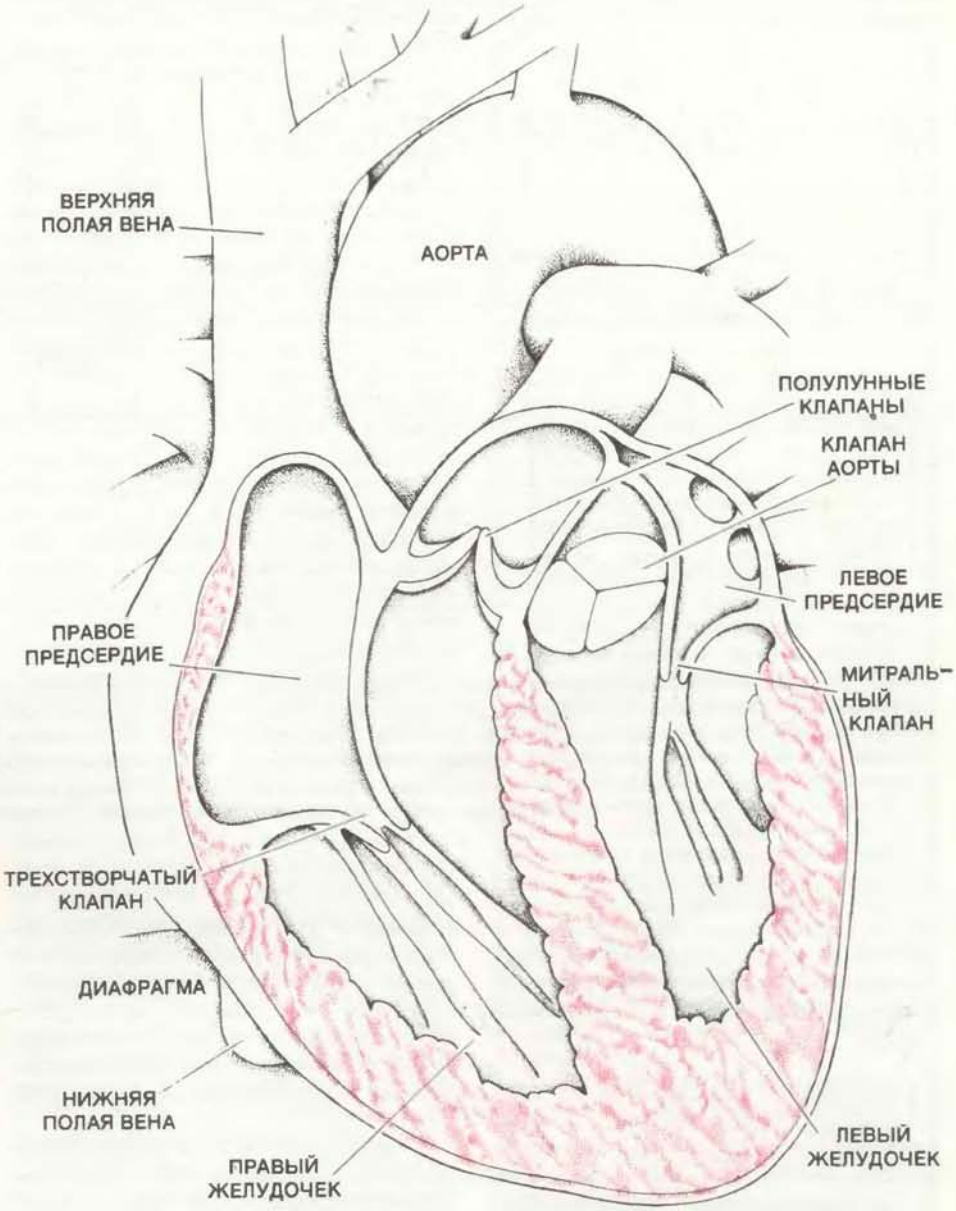
КАКОВ источник мышечных звуков? Создается впечатление, что гудящий звук возникает при сокращении отдельных мышечных волокон, прежде всего — быстрых волокон. Если изолированное быстрое фазное волокно закрепить в держателях, слегка растянуть и электрически стимулировать, то волокно разовьет усилие, передающееся к держателям. Волокно не может укоротиться, но, измеряя развиваемую им силу, можно исследовать его сократительную реакцию. В таких изометрических условиях реакция быстрых волокон развивается в течение приблизительно 40 мс, что составляет 1/25 секунды. Это соответствует, правда весьма приблизительно, времени обновления (от утилизации до ресинтеза) АТР. Считается, что реакции, протекающие с участием АТР, лежат в основе мышечного сокращения. Примечательно, что 1/25 секунды — как раз период мышечного звука частотой 25 Гц.

Было показано, что при небольшом изменении нагрузки мышечные волокна могут совершать колебательные движения*. К. Франчини-Армстронг, Э.Ф. Хаксли и Ф. Джулиан в Лондонском университетском колледже исследовали такие колебания изолированных волокон лягушки. К волокнам подвешивали груз, величину которого можно было менять с большой точностью. Когда груз несколько увеличивали или уменьшали, удавалось зарегистрировать колебания волокон с частотой 25 Гц. При этом изменения длины не превышают 1% от длины волокна и могут быть измерены лишь с помощью очень чувствительной аппаратуры.

Г. Голдспинк, Р. Ларсон и Р. Дэвис из Пенсильванского университета выбрали объектом одну из спинных мышц — широчайшую мышцу спины (m.latissimus dorsi)—24-дневной курицы. Эта мышца состоит из быстрых фазных волокон, как и все те мышцы курицы, которые мы называем белым мясом. (Темное мясо — это мышцы, состоящие из медленных фазных волокон.) С помощью совершенно иной методики, чем та, которой пользовались Э. Ф. Хаксли с коллегами, было обнаружено, что в волокнах широчайшей мышцы спины при изменении ее напряжения возникают колебания с частотой около 25 Гц.

Полученные результаты позволяют предполагать, что именно колебания быстрых фазных волокон генерируют звук. Однако в мышцах существует и другой тип вибраций, который мог бы иметь отношение к их звучанию. Речь идет об известном явлении физиологического тремора. Тремор — результат сложных неврологических явлений, происходящих с участием обратных связей. Попробуйте, держа руку на весу, указывать на что-нибудь пальцем, например на одно из слов этого текста. Через некоторое время палец начнет дрожать с частотой около 10 Гц.

Джеффи и я решили выяснить, участвует ли физиологический тремор в генерации мышечного звука. Испытуемый, держа в руке груз, погружал ее в ледяную воду, чтобы уменьшилось кровоснабжение мышц. В другом опыте с той же целью на руку надевали манжетку от сфигмоманометра. В та-



СЕРДЦЕ ЧЕЛОВЕКА испускает звуки нескольких типов. Первый сердечный тон соответствует началу систолы—фазы сокращения сердца. Считается, что этот звук возникает либо вследствие захлопывания митрального клапана, либо из-за резкого изменения давления в левом желудочке. Возможно, что первый тон сердца—это мышечный звук, испускаемый левым желудочком при его сокращении.

* Для скелетных мышц возможность колебательного приближения к стационарному режиму сокращения впервые предсказал советский биофизик В. И. Дещеревский на основе созданной им кинетической теории мышечного сокращения. Впоследствии он (совместно с В. Н. Буравцевым) экспериментально подтвердил колебательный переход в предсказанных теорией условиях (Биофизика, 1970, 15, № 3, 541-542). Эти и дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования обобщены в монографии Дещеревского «Математические модели мышечного сокращения» (М.: Наука, 1977). Выявлены, в частности, условия наименьшего затухания переходных автоколебаний, а также параметры, определяющие их частоту, которая в эксперименте варьировала от 10 до 70 Гц. — *Прим. перев.*

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

ЩЕЛЧОК слышен при возбуждении мышцы нервным импульсом. *Верхняя кривая*—запись звуков от медиальной широкой мышцы бедра (m.vastus medialis). *Нижняя*—электрическая активность той же мышцы. Испытуемого просили думать о сокращении мышц бедра, но при этом не двигаться. В результате была зарегистрирована серия всплесков электрической активности мышцы. Каждый пик сопровождался щелчком: пики на верхней и нижней кривых совпадают во времени. Щелчок исходит из нейромоторной единицы—группы волокон, активируемых одной нервной клеткой. Между щелчками зарегистрированы колебания с частотой 25 Гц, соответствующие низкому гудению.

ких условиях регистрировали звук, и оказалось, что, хотя тремор исчезал или значительно уменьшался, никакого изменения мышечного звука не наблюдалось.

ПОСКОЛЬКУ физиологический тремор как причина звучания мышц исключался, представлялось логичным сделать вывод, что звук с частотой 25 Гц создается только быстрыми фазными волокнами. Множество волокон, образующих мышцу, можно представить как набор осцилляторов, причем все осцилляторы имеют одинаковую частоту колебаний, но не обязательно совпадают по фазе. Некоторые волокна в мышце колеблются в фазе, другие в противофазе с ними, а остальные волокна могут иметь какие-то промежуточные фазы. Когда мышца напрягается, волокна укорачиваются и становятся толще, что и запускает колебания отдельных волокон. А эти колебания в свою очередь порождают волны давления, т.е. звук с частотой 25 Гц.

При сокращении мышцы непрерывный гудящий звук не всегда возникает сразу. Если мышца напряжена только слегка, можно услышать как бы щелчки, т.е. короткие «вспышки» звука — выбросы по амплитуде. По мере увеличения усилия, развиваемого мышцей, интервал между щелчками уменьшается, и в конце концов они сливаются в низкочастотное гудение.

Щелчки возникают в моменты включения в работу отдельных нейромоторных единиц мышцы. Нейромоторная единица — это группа мышечных волокон, иннервируемых одной нервной клеткой. Число волокон в нейромоторной единице и характер их сократительной активности значительно варьируют в зависимости от функциональных особенностей мышцы, в которую они входят.

В икроножной мышце каждая нейромоторная единица состоит приблизительно из 2000 волокон. При хождении или беге далеко не все единицы включаются в работу одновременно. Когда нужно развить небольшую силу, действует малое число нейромоторных единиц, а для увеличения усилия дополнительно мобилизуются все новые и новые единицы. Параллельно утомленные нейромоторные единицы «выходят из игры», и их метаболизм переключается на восстановление. Так нейромоторные единицы работают поочередно в течение всего сокращения целой мышцы.

В круговой мышце глаза m.orbicularis oculi в области века каждая нейромоторная единица содержит всего лишь около 20 мышечных волокон. При моргании активность этой мышцы развивается примерно за 50 мс (т.е. за 1/20 секунды), причем все нейромоторные единицы действуют одновременно — «залпом» и по принципу «все или ничего». Моргание — очень быстрое и точное движение, поэтому требуются небольшие нейромоторные единицы.

Щелчки, предшествующие слитному гудению, были впервые обнаружены именно в круговой мышце глаза в 1948 г. Г. Гордоном и Э. Холборном из Оксфордского университета, которые изучали работу глазного века с помощью миниатюрного микрофона. Активность нейромоторных единиц в этой мышце так отчетлива, что каждую единицу можно ощутить независимо от остальных: если слегка прикоснуться к веку кончиком среднего пальца, то чувствуется нерегулярная пульсация, — каждый толчок в данном случае соответствует сокращению одной нейромоторной единицы. Именно эта пульсация и создает щелкающие звуки, слышные в микрофон.

Д. Тиссен (Техасский университет в Остине) предположил, что у песчанок коммуникация осуществляется с помощью щелчков, издаваемых нейромоторными единицами век. Когда песчанок содержат по одной в клетке, они часто начинают совершать свой туалет одновременно, причем этому предшествует усиленное моргание. Была исследована возможность действия и других сигнальных механизмов, в том числе эффект запаха, однако ни один из них, видимо, не реализовался. Вполне вероятно, что сигнализация осуществляется «вспышками» звуков, исходящими из круговой мышцы глаза при моргании.

Связь между активацией нейромоторных единиц и щелкающими звуками подтвердилась при сопоставлении звуковой и электрической активностей. Для регистрации потенциалов действия в мышцу вблизи исследуемой ней-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

ромоторной единицы вкалывают отводящий электрод, имеющий вид тонкой иглы. При сокращении потенциал действия распространяется по мышечным волокнам, что проявляется в кратковременном увеличении потенциала, отводимого электродом.

Гордон и Холборн показали, что при моргании электрические импульсы наибольшей амплитуды в круговой мышце совпадают по времени с щелкающими звуками. Что касается мышц конечностей, то щелкающих звуков от них этим исследователям обнаружить не удалось . Такие звуки, исходящие из мышц ноги, недавно зарегистрировали Д. Бэри и С. Гайрингер (Мичиганский университет). Они исследовали одну из мышц бедра у человека в состоянии относительного покоя. Как и в опытах Гордона и Холборна, щелчки наблюдались одновременно с пиками электрической активности мышцы.

ИССЛЕДОВАНИЕ звучания сердечной мышцы могло бы принести пользу медицине. Насосная функция сердца связывается с несколькими звуками. Из них наиболее существенны два, которые называют первым и вторым тонами сердца. Первый тон возникает в начале систолы, или фазы сокращения; второй тон — в начале диастолы, или фазы расслабления. Я исследовал спектры тонов сердца: спектр первого тона имеет максимум при 22 Гц, спектр второго тона несколько сдвинут в область более высоких частот.

Вопрос о происхождении тонов сердца все еще не решен. Из предложенных гипотез об источнике первого тона наиболее приемлемы две. Согласно одной из них, звук обусловлен захлопыванием сердечного клапана, согласно другой, он вызван гидродинамическим ударом. Гипотезу захлопывающегося клапана сформулировал в 1830 г. нью-орлеанский врач Пьер Роне. Он приписал первый тон сердца реверберации после резкого захлопывания митрального клапана, которое приводит к разобщению полостей левого предсердия и левого желудочка. Ультразвуковые исследования показали, однако, что первый тон сердца возникает на самом деле чуть раньше того момента, когда митральный клапан захлопывается.

Согласно гипотезе гидродинамического удара, предложенной Р. Рашмером из Вашингтонского университета, первый тон сердца обусловлен явлением, которое нередко можно наблюдать в неудачно сделанной водопроводной системе: если слишком быстро закрыть кран, трубы начинают громко гудеть. (В хорошем водопроводе предусмотрены воздушные камеры, предотвращающие гидродинамический удар.) После закрывания митрального клапана кровяное давление быстро нарастает, в результате левый желудочек растягивается, что вызывает сильную реверберацию, которой и приписывается первый тон.

В обеих гипотезах самой сердечной мышце отводится весьма незначительная роль. Но громкость сердечного тона максимальна при наибольшей силе сокращений; это позволяет предполагать, что первый тон обусловлен самим сокращением сердечной мышцы, а вклад динамики митрального клапана или левого желудочка не так существен. В пользу такой точки зрения свидетельствуют результаты проведенных мною опытов. На изолированном сокращающемся сердце лягушки я устанавливал миниатюрный микрофон так, что он прямо контактировал с областью желудочка. Несмотря на большую разницу в массе между сердцем человека и сердцем лягушки, звуки от них весьма сходны. Если верна гипотеза гидродинамического удара, звук от сердца лягушки должен иметь бóльшую частоту, чем звук от сердца человека, поскольку у лягушки полость желудочка меньше, и, следовательно, ее растяжение должно порождать реверберацию в области более высоких частот, чем растяжение сравнительно большой полости желудочка человеческого сердца. Против гипотезы Рашмера говорят также следующие наблюдения: звук от бьющегося сердца лягушки не изменяется, когда прекращается поступление в него крови. По-видимому, основным источником первого сердечного тона является само сокращение сердечной мышцы.

В США более чем в 30% случаев смерть наступает вследствие дегенерации сердечной мышцы. Исследование мышечных звуков сердца могло бы стать ценной диагностической процедурой. Анализ звукового спектра сердечной мышцы в принципе позволяет выявить состояние миокардиальной ткани, в частности обнаружить инфаркт — некротический очаг, возникающий в результате локального прекращения притока крови. У больных с обширным инфарктом даже с помощью простого стетоскопа выявляется ненормально низкая частота первого сердечного тона. Для получения более объективных данных необходимо быстрое фурье-преобразование спектра этого тона.

Помимо применения в клинической практике исследования мышечных звуков обещают кое-что прояснить в механизме мышечного сокращения. Так, например, Ф. Брозович и Дж. Поллак (Вашингтонский университет) показали, что мышца лягушки испускает звуки в виде серии отдельных «вспышек». Это позволяет предполагать, что мышца сокращается как бы ступенчато, т.е. результирующее сокращение складывается из отдельных небольших укорочений. Если это так, то придется пересмотреть современные представления о мышечном сокращении как о непрерывной последовательности событий на молекулярном уровне.

Издательство **МИР** *предлагает:*

ФИЗИКА ЗА РУБЕЖОМ 1983

Перевод с английского

Сборник является продолжением серии ежегодников, выпускаемых издательством «Мир» для широкого круга читателей-физиков — от студентов и аспирантов до преподавателей и исследователей. Первый выпуск серии вышел в свет в 1982 г. Включенные в сборники статьи представляют собой обзоры по актуальным проблемам современной физики, написанные ведущими специалистами для коллег в смежных областях. В оригинальном виде они опубликованы в журнале «Физикс тудей», издаваемом в США. Содержащиеся в сборнике статьи-обзоры знакомят физиков с достижениями в смежных областях и способствуют преодолению отрицательных последствий чрезмерной специализации современной науки. Прочитав такой обзор, физик может представить себе, какие результаты, методы и идеи его коллег применимы в избранной им области.

Основу данного сборника составляет тематическая подборка статей по жидким кристаллам: Литстер и Биржано «Фазы и фазовые переходы», Першан «Лиотронные жидкие кристаллы», Самульский «Полимерные жидкие кристаллы», Бринкман и Кладис «Дефекты в жидких кристаллах», Пиндак и Монктон «Двумерные кристаллы». Помимо указанных в сборнике содержатся статьи: Вольф «Термодинамика экситонов в полупроводниках», Филлипс «Физика стекла», Шлютер и Лю Жушам «Распределение плотности электронов и физика твердого тела», Ньюкирк и Фрэзер «Солнечный цикл». В него же включены и более короткие сообщения: «Солитоны с дробным зарядом», «Сколько живет τ-лептон?», «Компромисс между ферромагнетизмом и сверхпроводимостью» и другие.

1983 г., 12 л. Цена 70 к.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Приспособительные механизмы домовой мыши

Репродуктивные механизмы этого мелкого млекопитающего отличаются удивительной гибкостью, благодаря чему вид способен процветать в самых разнообразных местообитаниях, в особенности в тех, где он сосуществует с человеком

Ф. Г. БРОНСОН

ДОМОВАЯ МЫШЬ — отлично приспособленный к человеку вид-комменсал, история расселения которого по всей планете весьма показательна. Комменсалами называются виды, живущие и питающиеся в тесной связи с другими видами, не принося им при этом ни непосредственной пользы, ни прямого вреда. Мышь домовая *Mus domesticus* начала сосуществовать с человеком, вероятно, 8 — 10 тыс. лет назад в степных районах Азии. С тех пор в значительной мере благодаря непреднамеренному занесению в новые места самим человеком она распространилась по всем материкам, крупным островам и по большинству мелких. Мыши населяют жилые дома, торговые помещения, зернохранилища и другие хозяйственные постройки повсюду — от экватора до субполярных областей. Они могут жить и в искусственно созданных климатических условиях, в том числе в трубах центрального отопления и в холодильных камерах. Вместе в тем домовая мышь не является строгим комменсалом. Порой она возвращается к дикому образу жизни и существует совершенно независимо от человека. Таких диких домовых мышей можно встретить в самых разнообразных местообитаниях: на коралловых атоллах и выпасных лугах, в пустынях и на пресноводных болотах, на приморских дюнах и в альпийских долинах.

Ни с чем не сравнимый успех этого вида в заселении новых сред обитания вызывает большой интерес. *Mus domesticus* стала объектом пристального внимания специалистов по физиологии размножения. Действительно, попасть в принципиально новые условия существования — это одно, а оказаться способным размножаться в этих условиях и образовать новую популяцию — совсем другое дело. Огромный, охватывающий всю планету ареал домовой мыши, ее приспособленность как к естественным, так и к искусственно созданным человеком местообитаниям наводят на мысль о необыкновенной репродуктивной приспособляемости, возможно, уникальной среди всех млекопитающих. В предлагаемой статье я буду говорить главным образом о репродуктивных механизмах домовой мыши, которые составляют основу небывалого успеха ее стратегии расселения. Одновременно я постараюсь показать, каким образом данные лабораторных экспериментов могут дополнять полевые наблюдения и наоборот: оказывается, ни один из этих двух подходов сам по себе не дает адекватного представления о гибкости механизмов размножения домовой мыши.

ДЛЯ ТОГО чтобы уникальный характер особенностей воспроизведения домовой мыши стал яснее, сравним принципы, управляющие данным процессом у этого вида и у прочих млекопитающих в целом. Размножение млекопитающего всегда должно осуществляться в гармонии с тремя взаимосвязанными группами экологических факторов: пищевыми, физическими и социальными. Пища для млекопитающего — основной лимитирующий размножение элемент внешней среды. Вероятно, главное при этом — просто количество калорий, которое требуется животному для того, чтобы произвести потомство. Другими словами, все млекопитающие должны есть. Они извлекают из потребляемой пищи энергию, чтобы затем направить ассимилированные калории на удовлетворение различных конкурирующих между собой потребностей, причем размножение лишь одна из них. Специфические питательные вещества, такие, как витамины и аминокислоты, также соответствующим образом распределяются между репродуктивной и нерепродуктивными функциями.

Тесно связаны с пищевыми факторами две стороны физических условий местообитания. Во-первых, у млекопитающих температура тела постоянна и на ее поддержание расходуется энергия. Следовательно, на распределение энергии может существенно влиять температура окружающей среды. Во-вторых, важна продолжительность фотопериода (светового дня), т.е. светлой фазы в рамках 24-часового суточного цикла. По ее изменению животные, возможно, предугадывают или чувствуют приближение сезона, в течение которого возможно размножение. Для некоторых млекопитающих аналогичную роль могут играть специфические вещества, содержащиеся в молодых зеленых растениях. Чередование дня и ночи также важная характеристика суточного цикла, оно отражается на половой активности большинства млекопитающих. И наконец, положение особи в обществе себе подобных часто имеет либо специфичный эффект, например влияя на такие периодические явления, как овуляция, либо неспецифичный, например создавая почву для неблагоприятных эмоциональных состояний, препятствующих размножению.

В свете всего вышеизложенного одной из важнейших особенностей репродуктивной стратегии домовой мыши, отражающих гибкость ее приспособительных механизмов, является внесезонный характер размножения. Большинство млекопитающих живут в условиях, отличающихся сезонными колебаниями количества доступной пищи, главным образом поэтому и размножаются они лишь в определенное время года. Кроме того, они, как правило, увеличивают свою активность в связи с рядом косвенных факторов, в частности с особенностями фотопериода. Домовая мышь, по-видимому, не реагирует ни на какие косвенные факторы, и это одна из причин того, что ее размножение не ограничено тем или иным сезоном.

Вывод о том, что мышь не реагирует на изменения фотопериода, основан на исследованиях, проведенных как на природе, так и в условиях лаборатории. Судя по полевым наблюдениям, этот вид в зависимости от конкретного местообитания размножается либо в определенный сезон, либо непрерывно на протяжении всего года. Так, в искусственной среде — в возведенных человеком постройках во всех климатических зонах, от тропиков до умеренного

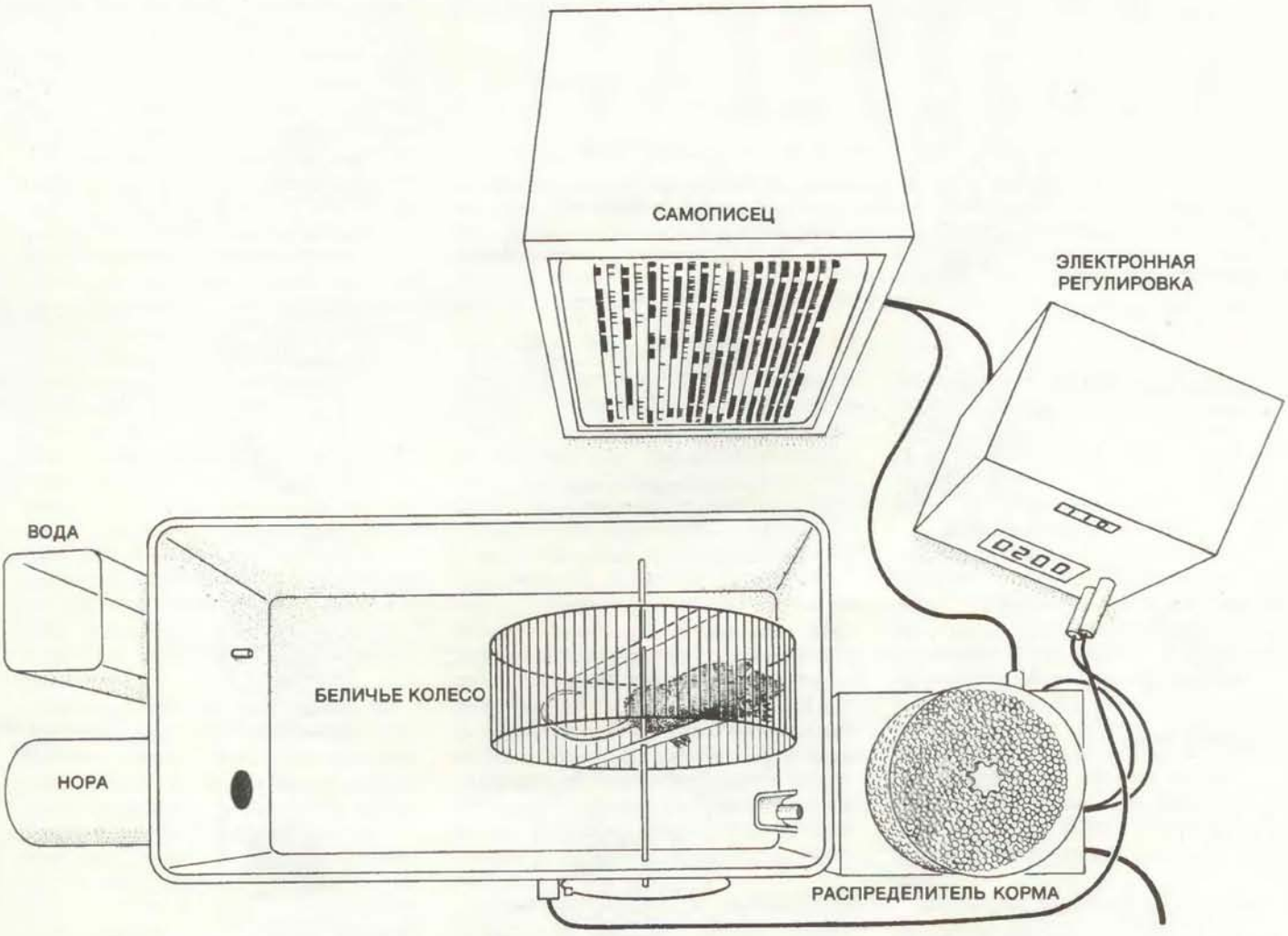
WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

пояса, — размножение происходит непрерывно, в то время как в естественных экотопах оно обычно сезонное. Собственно, эти данные не так уж неожиданны. Ясно, что в амбарах и зернохранилищах мыши находят относительно устойчивые климатические и пищевые условия. Однако результаты наблюдений ставят эколога перед дилеммой: либо домовая мышь вообще не реагирует на изменения фотопериода, либо такого рода регулирующий механизм действует только в популяциях, живущих в естественных условиях.

Лабораторные эксперименты свидетельствуют в пользу первой гипотезы. Исследовалось несколько выборок диких мышей, одни из которых были отловлены в природе, а другие — в созданных человеком местообитаниях; выяснилось, что все они могут размножаться с равным успехом в условиях как короткого, так и длинного дня. Интересно, что по крайней мере несколько из взятых выборок диких мышей размножались с максимальной интенсивностью, даже когда их в течение нескольких месяцев держали в полной темноте. Р. Стоддарт из Университета в Глазго первым показал это на мышах, отловленных в Шотландии. В нашей лаборатории (Техасский университет в Остине) мы воспроизвели его результаты на двух североамериканских выборках — одной из провинции Альберта (Канада) и другой — из шт. Техас. Эти данные хорошо согласуются с рядом отдельных наблюдений за домовыми мышами, живущими в угольных шахтах вплоть до глубины 1800 м, где свет либо горит постоянно, либо включается на время и нерегулярно, либо вообще отсутствует.

Хотя отсутствие какой-либо зависимости от фотопериода позволяет отчасти понять, почему размножение домовой мыши не приурочено строго к тому или иному сезону, сам по себе этот факт, разумеется, никак не объясняет ни регуляцию половой активности вида в естественных местообитаниях (в частности, каким образом она подавляется в определенное время года), ни способность мыши успешно размножаться во всем разнообразии условий ее существования. Чтобы разобраться в ситуации, требуется найти пищевые и климатические лимитирующие факторы. К сожалению, на природе проанализировать по отдельности относительное влияние изменений температуры, состава пищи и ее калорийности практически невозможно — в пространстве и времени эти факторы меняются одновременно. Следовательно, опять-таки необходимы лабораторные эксперименты в контролируемых условиях.

Изучение факторов, которые в норме лимитируют размножение домовых мышей, некоторое время составляло



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА для исследования энергетики полового развития у домовой мыши, разработанная Г. Перриго и автором статьи. В этой системе моделируются условия, с которыми мышь сталкивается в естественных местообитаниях, причем устройство позволяет разделить переменные факторы и выяснить роль каждого из них в жизни животного. В такой клетке мышь может жить в сохраняющей тепло норе (изолированная емкость *слева внизу*), но должна выходить на открытое пространство и пробегать определенное число оборотов в беличьем колесе, чтобы получить порцию корма (облатку весом 45 г) из распределяющего устройства. Самописец (*вверху*) регистрирует число оборотов колеса и выданных порций корма. Имеется также коробка с оборудованием для электронной регулировки работы всей конструкции (*вверху справа*). Установка позволяет анализировать связи между температурой среды, фуражировкой, ростом, накоплением жира и половым развитием мышей.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

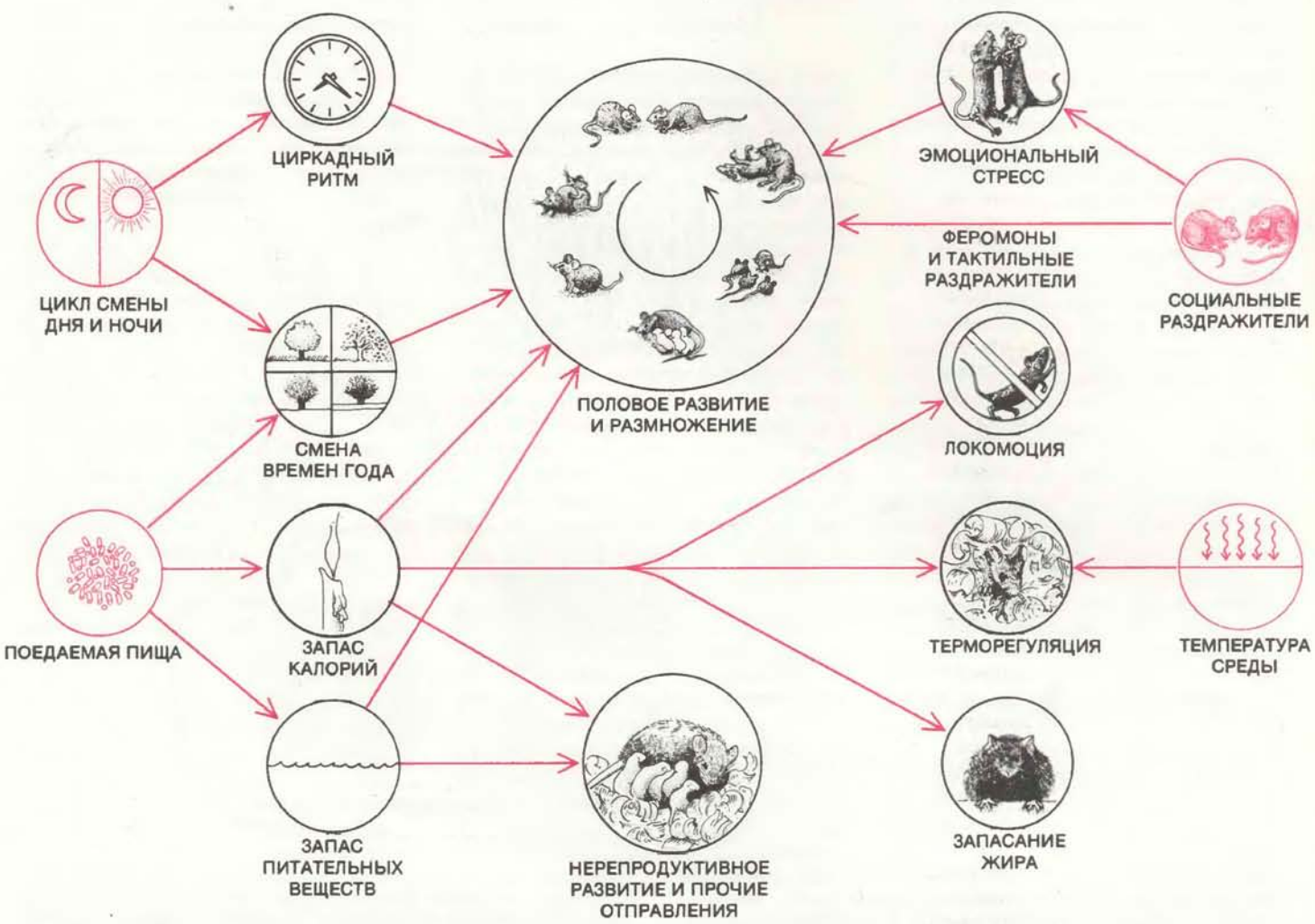
основную задачу нашей лаборатории. Одно направление исследований, а именно анализ биоэнергетического баланса, т.е. распределения энергии между различными жизненными отправлениями, о котором уже упоминалось выше, оказалось особенно перспективным для выяснения особенностей расселения этого вида.

Мы рассматривали физиологический баланс энергии как равенство: количество ассимилированных калорий пищи должно быть равно сумме калорий, израсходованных на удовлетворение нескольких конкурирующих между собой потребностей организма, среди которых необходимые для поддержания жизни биохимические реакции, потребности роста и размножения, терморегуляция, запасание энергии в виде жиров, а прежде всего — затраты на локомоцию в процессе добывания корма. Усиление какой-либо из перечисленных функций может происходить либо за счет ослабления другой или всех остальных сразу, либо в результате увеличения количества потребляемой пищи.

Мы задались целью изучить размножение мыши в различных условиях, соответствующих изменениям тех или иных параметров описанного выше уравнения, разумеется таким изменениям, которые имеют экологический смысл. Можно варьировать количество доступной для животного пищи, время, в течение которого животному дается возможность поедать корм, температуру, при которой происходит кормление. Затем путем анализа конкретного распределения энергии можно определить потенциальные экологические ограничения на размножение вида.

Используя этот подход, мы установили несколько основных принципов, которым подчиняется репродуктивная стратегия у домовой мыши. Во-первых, причиной прекращения размножения в определенное время года или в определенных местообитаниях, вероятно, чаще всего является несбалансированность биоэнергетического уравнения. Во-вторых, нарушения баланса энергии, по-видимому, неблагоприятно влияют на половую функцию исключительно у самок. И наконец, репродуктивные способности как у самцов, так и у самок домовой мыши удивительно устойчивы к изменению некоторых параметров биоэнергетического уравнения.

Ведущая роль состояния самок для поддержания численности популяции выявилась в простых экспериментах, в которых меняли доступность пищи. Всякий раз, когда количество корма, получаемого детенышем женского пола, ограничивали, это отрицательно сказывалось на половом развитии животного. Если рост самки несколько задерживается, полового развития либо не наблюдается вовсе, либо оно идет ненормально медленно. Развитие половой функции у самцов, напротив, происходит абсолютно нормально, даже если сократить их рацион настолько, что рост полностью остановится. Более того, молодые самцы могут даже терять в весе, и все же половое созревание у большинства из них продол-



ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, регулирующие размножение у большинства млекопитающих. К ним относятся: чередование дня и ночи, количество потребленной пищи, социальные раздражители и температура окружающей среды. Схематически показаны также взаимосвязанные функции, зависящие от них. Основной задачей экспериментов, поставленных в лаборатории автора, было изучение распределения энергии между конкурирующими потребностями организма: ростом, размножением, терморегуляцией, запасанием жира и затратами на локомоцию при добывании пищи.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

жается. Говоря на языке биоэнергетического уравнения, можно заключить, что у самок домовой мыши рост имеет конкурентное преимущество по сравнению с половым развитием, а у самцов наблюдается прямо противоположное. В результате при недостатке пищи размножение вида сдерживается посредством воздействия на животных только одного пола, а именно на самок.

Однако такого рода эксперименты по ограничению пищи при всех своих достоинствах были, увы, недостаточно информативны с точки зрения масштабов задуманного нами исследования. Действительно, дикие животные редко сталкиваются с недостатком пищи, без того чтобы это не сопровождалось какими-то изменениями физических условий, в частности температуры, и, кроме того, в любом случае ничто не мешает им увеличить продолжительность или интенсивность поисков корма и таким образом компенсировать его недостаток.

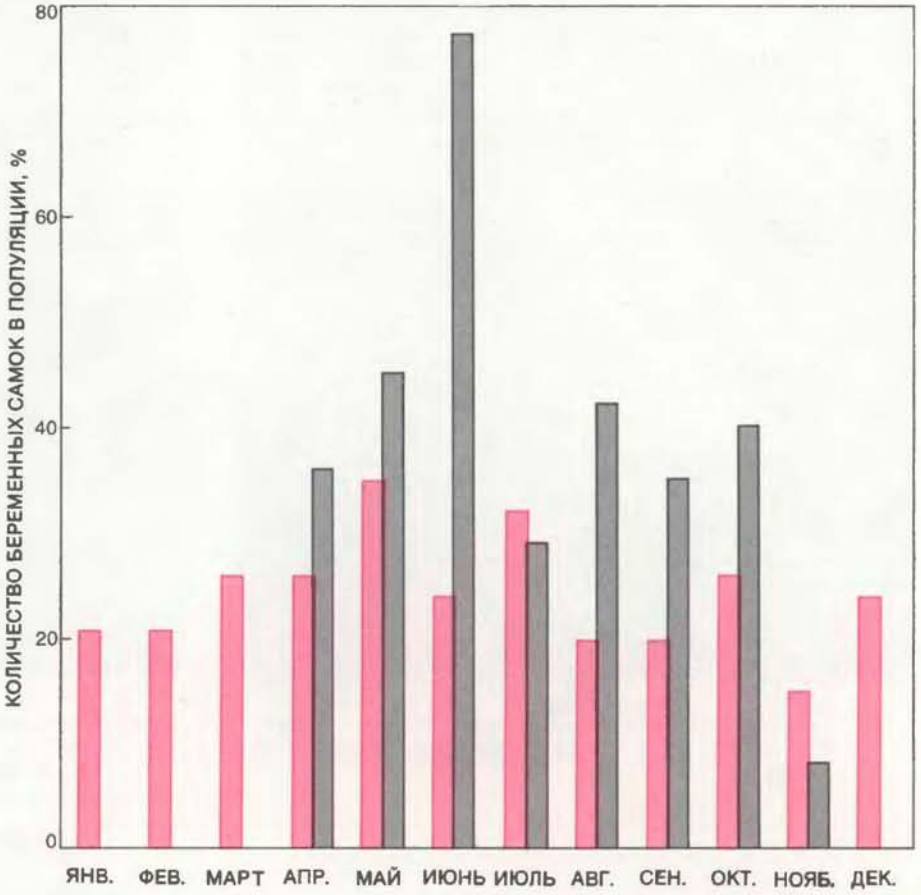
Пытаясь как можно точнее воспроизвести в лаборатории естественный комплекс условий, мой коллега Г. Перриго и я разработали специальную конструкцию клетки для экспериментов. Эта система не только дала нам возможность впервые с достаточной точностью моделировать энергетические проблемы, с которыми сталкивается мелкое млекопитающее в естественных условиях, но и позволила детально проанализировать критические параметры биоэнергетического уравнения, определяющие способность самок домовой мыши размножаться в той или иной ситуации. Так, мы сумели выявить, по-видимому, важнейшую из характеристик окружающей среды, влияющих на успех размножения мышей, а именно соотношение между доступностью пищи (и, следовательно, временем, затрачиваемым на добычу ее минимально необходимого для поддержания жизни количества) и температурой окружающей среды, в которой самки осуществляют поиски корма (фуражировку).

Первое, что наталкивает на мысль о важности этого соотношения в случае домовой мыши, — небольшие размеры животного. Как известно, у мелких млекопитающих поверхность тела, приходящаяся на единицу его массы, относительно велика, вследствие чего при низкой температуре они быстро теряют тепло. Второе важное соображение состоит в том, что домовая мышь способна строить гнездо, которое сохраняет тепло и защищает животное от холода, а значит, мышь подвергается воздействию температуры окружающей среды только во время поисков корма.

Когда количество доступной пищи сокращается, мышь тратит на фуражировку больше времени. Выгоден этот процесс с энергетической точки зрения или нет, целиком и полностью зависит от температуры, при которой животное вынуждено им заниматься. Очевидно, что существует комплекс определяемых географическим положением и временем года пороговых условий, при которых сочетание ограниченности источников корма и низкой температуры таково, что успешная фуражировка, а следовательно, и жизнь для домовой мыши становятся невозможными. Когда условия окружающей среды приближаются к пороговым, среди членов биоэнергетического уравнения начинает все более преобладать терморегуляция, и первой из конкурирующих между собой категорий энергозатрат страдает способность самок размножаться.

Огромная важность соотношения между доступностью пищи, продолжительностью фуражировки и температурой окружающей среды для воспроизведения вида стала ясна уже в одном из первых экспериментов, поставленных Перриго с помощью клетки новой конструкции. Самки-детеныши постепенно адаптировались к относительно низкой температуре +10 °C (нормальная температура в лаборатории составляла +23 °C). Затем им либо предоставляли неограниченное количество пищи, либо животным, чтобы получить стандартную порцию пищи — питательную облатку, — каждый раз приходилось пробегать 100 или 200 оборотов внутри приспособления типа беличьего колеса. Эти условия достаточно близко воспроизводят ситуацию, с которой мышь обычно сталкивается во многих естественных местообитаниях при смене времени года. Зима — период недостатка корма, поэтому, чтобы добыть то же количество пищи, зимой мышь вынуждена тратить больше времени и сил (и при более низких температурах), чем летом, когда она делает это быстрее и в более благоприятных для себя условиях.

Оказалось, что одной и той же мыши при 10 °C для нормального роста требуется примерно на 50% больше пищи, чем при 23 °C. Это — крайнее значение затрат на терморегуляцию, которое должно быть подставлено в биоэнергетическое уравнение для самки. Так как зависимость членов уравнения друг от друга имеет конкурентный характер, одновременно удлиняется период до-

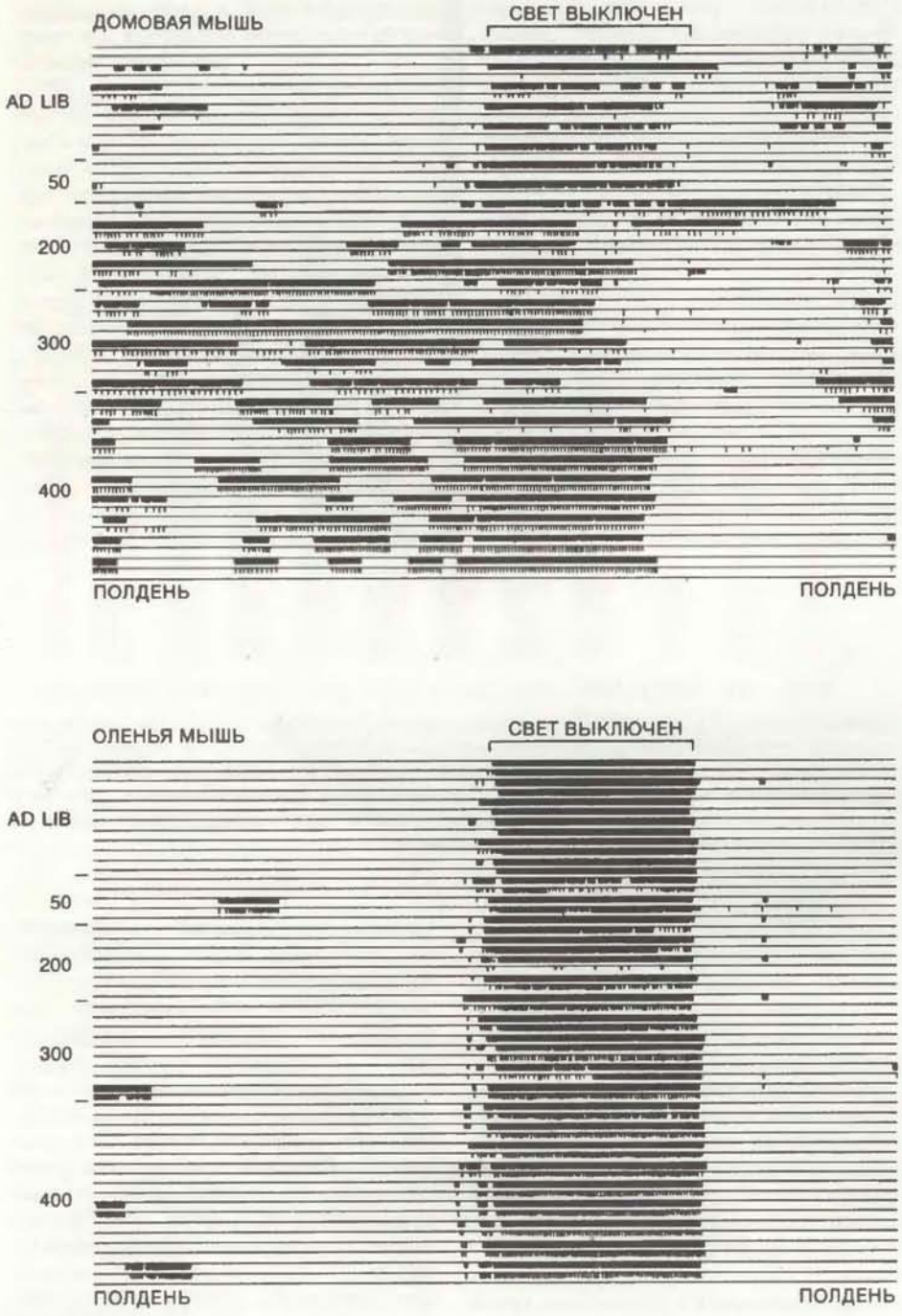


ВЛИЯНИЕ МЕСТООБИТАНИЯ на размножение у домовой мыши становится очевидным при сравнении данных о животных, живущих в домах и хозяйственных постройках в Оксфорде, Англия (*цветные столбики*), и о мышах, обитающих на соленом болоте в окрестностях залива Сан-Франциско (*серые столбики*). Домовые мыши-комменсалы плодятся на протяжении всего года, а размножение мышей на болоте ограничено определенным сезоном.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NARODU.RU

стижения половой зрелости. В нашем опыте у самок, содержавшихся при 10 °С, первая овуляция наблюдалась на несколько недель позже, чем при 23 °С, даже если корм предоставлялся в избытке (ранее это явление было более детально исследовано С. А. Барнеттом из Австралийского национального университета).

Пока молодые самки могли получать пищу, не тратя на фуражировку много времени, существование при 10 °С не отражалось на интенсивности запасания жира и не всегда отрицательно сказывалось на репродуктивной способности. Однако, если мыши вынуждены добывать пищу, расходуя при этом много энергии и не имея возможности периодически укрываться в сохраняющих тепло норах так часто, как это необходимо, в биоэнергетическом уравнении должен резко возрастать член, связанный с терморегуляцией, а расходы на рост тела, запасание жира и половое развитие должны соответственно сокращаться. Действительно, когда молодые мыши находились в таких условиях, они наотрез отказывались пребывать за пределами своих нор слишком долго, даже если из-за недоедания рост и половое созревание полностью прекращались, так как при пониженной температуре для этих процессов необходимо больше корма и требуется больше времени на его добычу.



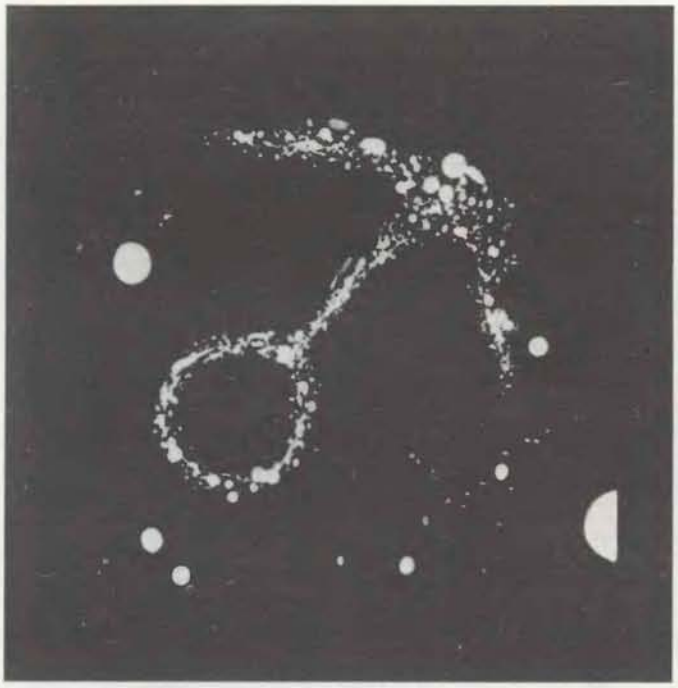
СУТОЧНАЯ АКТИВНОСТЬ самки домовой мыши и самки оленьей мыши в экспериментальной установке регистрировалась в течение 27 дней. (Животных содержали раздельно.) Каждый оборот беличьего колеса и каждая выдача порции корма распределительным устройством приводили в действие самописец, делавший соответствующие отметки на непрерывно движущейся ленте. Записи 24-часовых периодов поместили одну под другой, чтобы было видно, что делала мышь на протяжении этих 27 дней. Верхняя линия на каждой из полученных картинок соответствует локомоторной активности животного в первый день опыта; вторая линия—регистрация выдачи корма в этот же день. Аналогично записаны и все последующие дни. В первые несколько дней мышам предоставлялось неограниченное количество пищи (ad lib), затем для ее получения от них требовалась все большая двигательная активность, так что в конце опыта, чтобы получить одну порцию корма, мыши были вынуждены пробегать 400 оборотов беличьего колеса. Со сходной ситуацией мышь сталкивается в естественных условиях, когда на смену лету постепенно приходит зима. Оленья мышь—одно из типичных мелких млекопитающих, она активна исключительно по ночам, в то время как у домовой мыши такого ограничения не наблюдается.

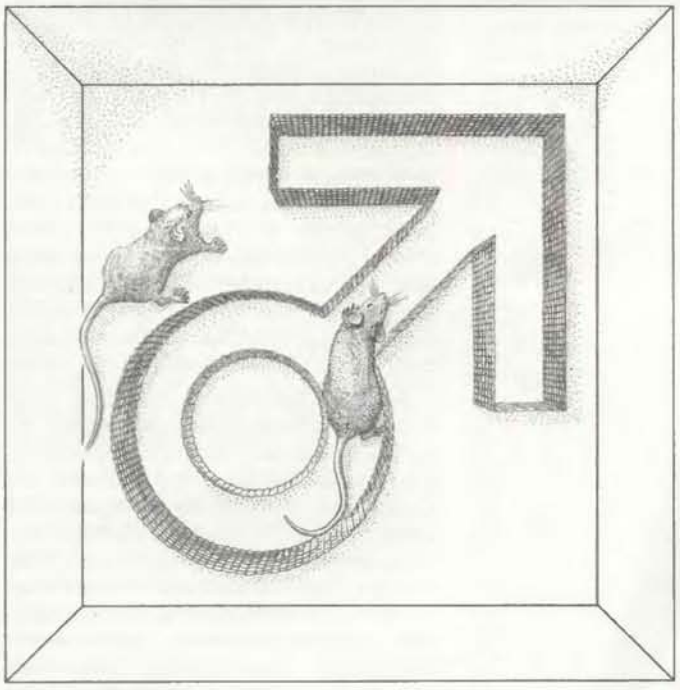
Наш эксперимент был особенно показателен с той точки зрения, что четко продемонстрировал, какие условия обязательны, а какие несущественны для нормального полового развития мышей. Для нас был, например, неожиданным относительно небольшой эффект энергозатрат на локомоцию, возрастающих в связи с потребностью в более активных поисках корма.

Даже мыши, получавшие пищу в неограниченном количестве, пробегали за ночь при 23 °С от 20 тыс. до 30 тыс. оборотов беличьего колеса. Эта нагрузка соответствует 10 — 15 км ничем не спровоцированного перемещения — огромное расстояние для животного длиной менее 10 см (без хвоста). Человек весом 68 кг, чтобы израсходовать количество энергии, эквивалентное энергозатратам мыши весом 20 г на перемещение собственной массы на такое расстояние, должен был бы пробежать за день от 32 тыс. до 48 тыс. км. Очевидно, что домовая мышь прекрасно приспособлена к почти неограниченной локомоторной активности, и значительное увеличение ее при необходимости, например в условиях недостатка пищи, никак не отражается на ее росте и половом развитии. Температура же, при которой возрастают энергозатраты на фуражировку, напротив, оказывается решающим фактором.

Этот эксперимент, как и другие, аналогичные ему, подтвердил наш вывод о том, что для размножения домовой мыши главным лимитирующим параметром среды, накладывающим как географические, так и сезонные рамки, является время, которое мышь должна затрачивать на фуражировку при низкой температуре. Небольшие размеры животного и невозможность для него запасать большое количество энергии в виде жира постоянно держат этот вид в энергетически неустойчивом состоя-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU





СОЦИАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ влияют на половое развитие самки домовой мыши посредством раздражителей, содержащихся в моче как самцов, так и самок. Особенности мечения территории мочой исследовали с помощью установки, показанной на рисунке *слева*. Она представляет собой клетку, пол которой покрыт фильтровальной бумагой. Внутри клетки имеется огороженное пространство (в форме биологического значка самца). *Вверху слева* фотография листка фильтровальной бумаги. Снимок сделан в ультрафиолетовых лучах, которые вызывают флуоресценцию мочи. Пятна на фотографии соответствуют меткам, сделанным мышами. *Слева*: самца поместили на 30 мин внутрь огороженного пространства, а самка в это время оставалась снаружи. *Справа*: самку посадили внутрь загородки, а самец находился вне ее.

нии даже при температурах, достаточно высоких по человеческим меркам.

ЕСЛИ признать, что основным экологическим механизмом, регулирующим размножение домовой мыши, является соотношение между доступностью пищи, временем фуражировки и температурой окружающей среды, возникает вопрос: какие приспособления обеспечивают этому животному столь широкое расселение? К настоящему времени выяснено, что для борьбы за корм и тепло у мышей есть два средства.

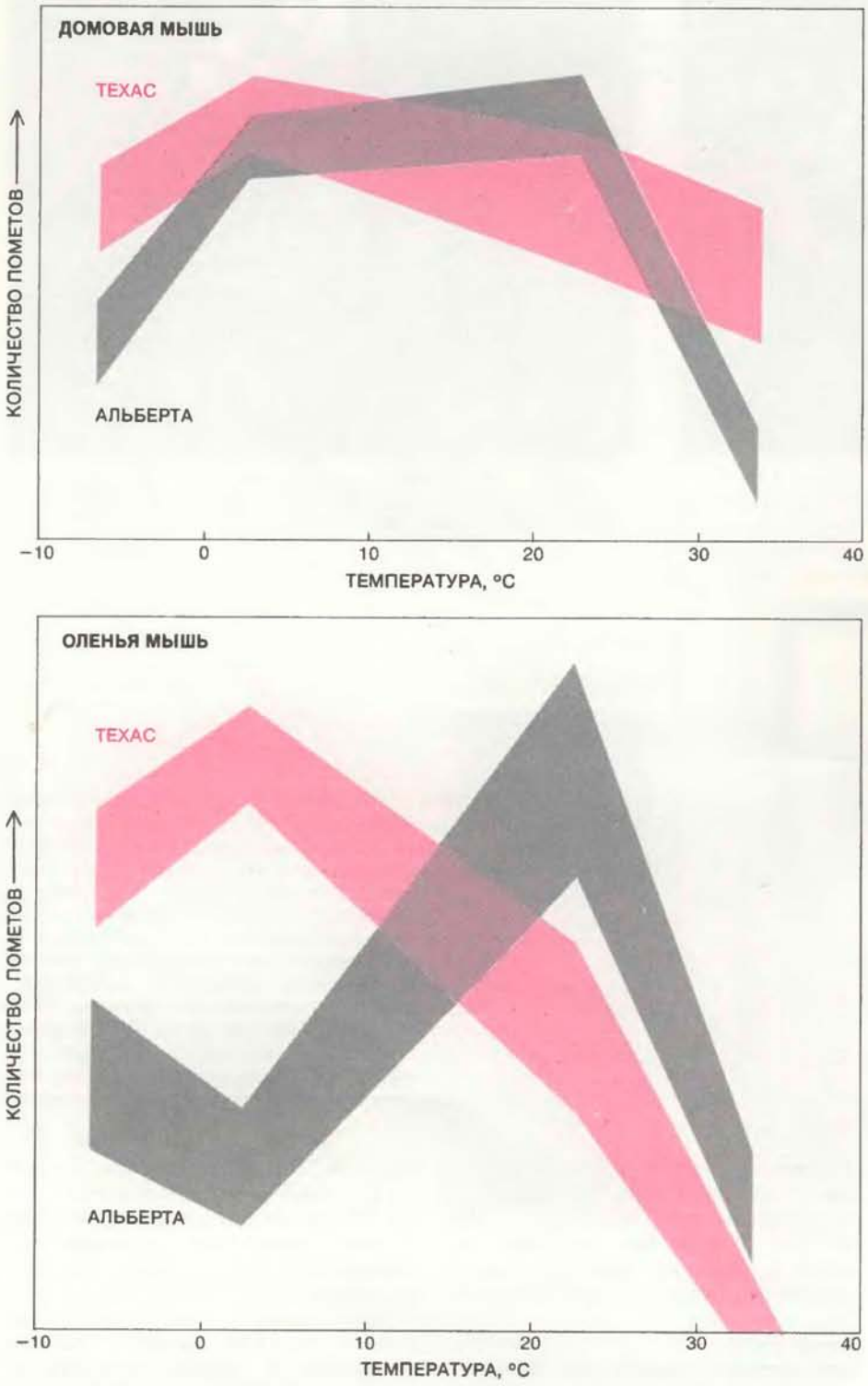
Первое из них не строго ночной, в отличие от большинства мелких млекопитающих, образ жизни. Домовая мышь не только может добывать корм в светлое время суток, но и делает это часто, используя, таким образом, время с более высокой, чем ночью, температурой. Второе приспособление состоит в том, что, достигнув максимальных размеров и половой зрелости, домовая мышь становится весьма устойчивой к низким температурам при условии изобилия корма. Мы установили, что если взрослую мышь постепенно адаптировать к холоду, а затем поместить в сухой ящик с ватой, из которой она может строить гнездо, и рядом поставить кормушку, причем количество корма не ограничивать, то в большинстве случаев животное способно с успехом размножаться при температурах вплоть до -6 °C. Мыши в наших опытах размножались также и при $+34$ °C, т.е. при температуре среды всего на 3° ниже температуры их тела. Для мелкого млекопитающего способность производить нормальное потомство в таком широком диапазоне температур поистине поразительна.

Другая предпосылка успешного расселения домовой мыши становится очевидной при анализе особенностей социальной организации этого вида. Отметим, что здесь решающую роль сыграли лабораторные эксперименты — проводить такого рода исследования в полевых условиях необычайно трудно, и эта сторона проблемы долгое время оставалась в тени. Оказалось, что домовая мышь отличается в высшей степени развитой системой регулирования начала овуляции. Наступ-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

ление беременности, в частности, может быть отсрочено до окончания крупных миграционных перемещений и крайне редко происходит до или во время переселения.

Как и у многих других млекопитающих, общение у домовых мышей в значительной степени базируется на обонятельных раздражителях. Источником их служит в числе прочих моча. Как показал мой коллега К. Дежарден, мыши (особенно самцы), обследуя новую территорию или отыскивая корм, оставляют на земле метки своей мочой. Такие метки содержат разнообразные вещества, запах которых может восприниматься другой мышью. С их помощью она способна определить вид, пол и состояние первой мыши, например ее готовность к спариванию, даже спустя значительное время после того, как была оставлена метка.



ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ на размножение домовой мыши и оленьей мыши. Изучали животных, отловленных из популяций, обитающих в разных широтах североамериканского континента—в шт. Техас (*цветной график*) и в провинции Альберта (Канада) (*серый график*). В условиях лаборатории животные получали неограниченное количество пищи и размножались при различных температурах. Оленья мышь—типичное мелкое млекопитающее. Она приспосабливается под действием естественного отбора к конкретным географическим условиям: мыши из Техаса в природе размножаются зимой, и в лаборатории они не реагируют на низкие температуры, но чувствительны к высоким. Домовая мышь успешно плодится во всем интервале температур независимо от того, где она жила прежде.

Некоторые из компонентов мочи могут действовать в качестве феромонов, т.е. вызывать гормональную перестройку другого животного, повышающую или, наоборот, блокирующую его половую активность. Как впервые было показано в лаборатории Дж. Ванденберга (Университет шт. Северная Каролина), у домовой мыши время первой овуляции, говорящей о достижении самкой половой зрелости, существенно колеблется в зависимости от множества факторов. Так, в присутствии взрослого самца овуляция у молодой самки наступает скорее, в то время как присутствие других самок задерживает ее. Причем на ранних стадиях жизни самки стимулирующее влияние самца в присутствии других самок полностью подавляется, но в дальнейшем оно начинает без труда проявляться и в таких условиях. Все эти явления можно воспроизвести в лаборатории, если просто периодически вносить в клетку с животными капли мочи мыши соответствующего пола. Результаты весьма эффективны, несмотря на то что в норме действие феромона всегда сочетается с тактильными стимулами.

Приспособительное значение того, что наступление первой овуляции у домовой мыши регулируется социальными условиями ее существования, по-видимому, связано с миграционным поведением. Когда заканчивается период выкармливания, молодые мыши часто покидают место своего появления на свет; в поисках нового жилья они порой перемещаются на значительные расстояния. Такое путешествие сопряжено с многими трудностями, и вероятность выживания во время его невелика. Однако благодаря тому, что осеменению молодой самки собственным отцом до начала миграции препятствует присутствие ее сестер и матери, расстояние, которое она может преодолеть, существенно увеличивается, поскольку небеременная мышь более подвижна.

Мигрирующие самки на своем пути, безусловно, должны часто сталкиваться с метками мочи, оставленными самцами. Но такие случайные эпизоды, по всей видимости, лишь слабо влияют на их половое созревание, поскольку синергичное тактильное воздействие самца в этом случае отсутствует. Только после того, как молодая самка находит новое жилье, где вступает в кон-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

такт с самцом, который стимулирует ее и феромонами, и тактильно, ее половое развитие идет с максимальной скоростью.

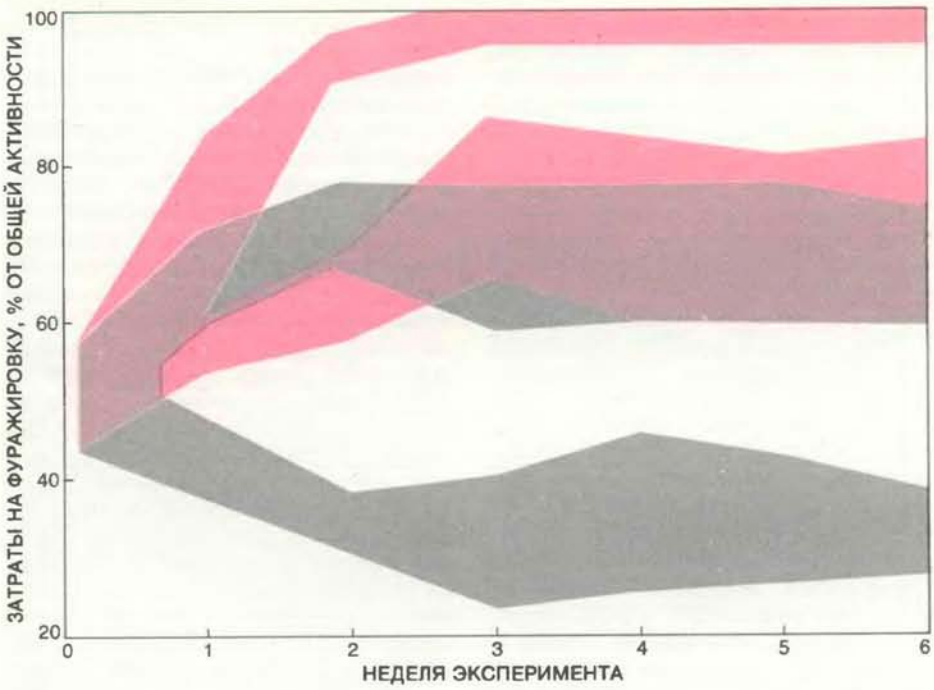
ГИБКОСТЬ репродуктивных механизмов, связанная с характерными для домовой мыши реакциями на пищевые, физические и социальные условия существования, пожалуй, не имеет аналогий среди прочих млекопитающих. Это свойство в сочетании с некоторыми другими особенностями, в частности способностью к комменсалистскому сосуществованию с человеком, создает основу для неограниченной приспособляемости мышей и, в широком масштабе, — для их расселения по всей планете.

Попробуем представить себе, что происходит с популяцией комменсалов во времени. В относительно стабильных пищевых и климатических условиях, которые находят мыши в большинстве связанных с человеком местообитаний, животные имеют возможность быстро размножаться на протяжении всего года вплоть до насыщения такой антропогенной экологической ниши. После этого молодые животные должны расселяться в другие местообитания.

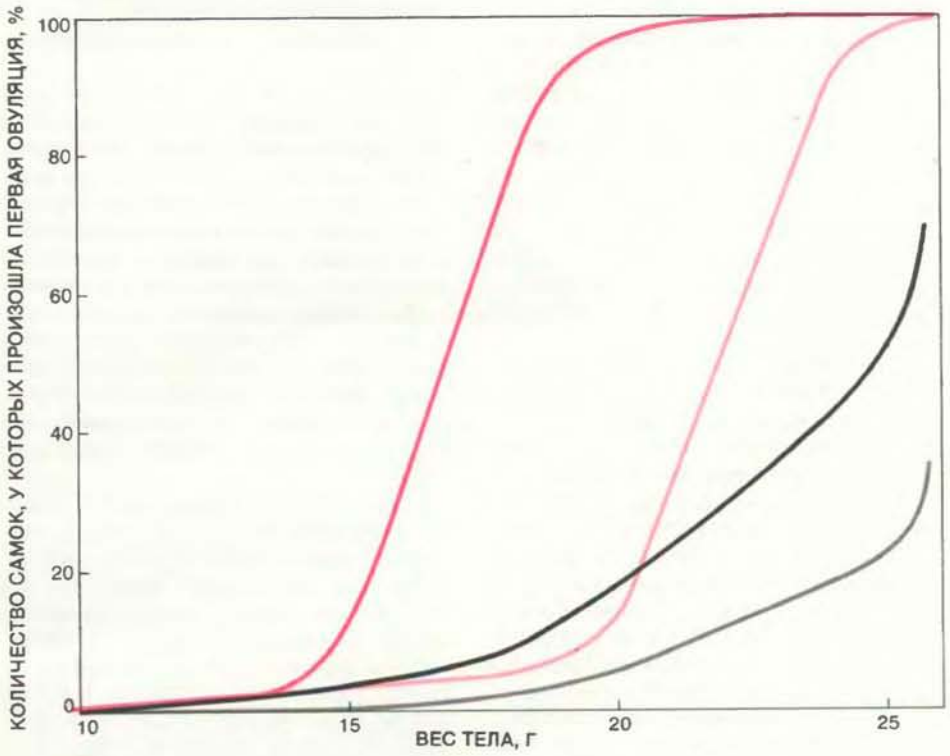
Иногда мышей переносит на большие расстояния сам человек. Основным приспособлением в данном случае является специфический водный метаболизм домовой мыши, который подобен водному обмену у пустынных грызунов. Благодаря этой своей особенности мышь может жить даже в максимально сухих для нашей планеты условиях — в жилых домах, зернохранилищах и транспортных средствах.

Второе важное свойство домовой мыши — широкая трофическая приспособляемость. Домовая мышь может успешно существовать и размножаться, питаясь самыми разнообразными продуктами. Но особенно интенсивно — и даже при низких температурах — размножение идет, когда кормом служит зерно пшеницы. Поэтому мыши часто заселяли новые районы земного шара вслед за завозом туда пшеницы; «по пути» же, где бы они ни находились, животные пользовались той пищей и теми убежищами, которые невольно предоставлял им человек, повсюду размножались и основывали новые популяции.

Когда домовые мыши возвращаются в естественные местообитания, характер их взаимоотношений со средой коренным образом меняется. В связи с энергетическими трудностями, которые испытывают самки, наблюдается, как правило, сезонное размножение. Кроме того, домовая мышь становится кочующим животным, причем это выражено у нее значительно сильнее, чем у большинства других мелких



ТЕМПЕРАТУРА И ФУРАЖИРОВКА тесно связаны. Когда мышь для получения порции корма должна пробежать 100 оборотов в беличьем колесе при 23°С, она тратит на фуражировку лишь небольшую часть своей суточной двигательной активности (*нижний серый график*). Если ей нужно пробежать 200 оборотов колеса при той же температуре (*верхний серый график*) или 100 оборотов при 9°С (*нижний цветной график*), остается меньше времени для активности, не связанной с фуражировкой. Когда приходится пробегать 200 оборотов при 9°С (*верхний цветной график*), ее активность в целом снижается и вся уходит на фуражировку.



СРОК НАСТУПЛЕНИЯ ПОЛОВОЙ ЗРЕЛОСТИ у самок домовой мыши зависит от условий содержания. Условия были следующими: самка в паре с самцом (*темная цветная кривая*), несколько самок с одним самцом (*светлая цветная кривая*), одна самка без самца (*черная кривая*) и несколько самок без самца (*серая кривая*). Самки, жившие с сосункового возраста рядом с самцом, созревают быстро, овуляция у них наступает рано. В присутствии других самок первая овуляция наблюдается позже. Отсрочка овуляции предохраняет молодую самку от оплодотворения до или во время расселения. Когда самка находит новое жилье, где вступает в контакт с самцом, ее половое созревание быстро завершается.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

млекопитающих. Во многих местообитаниях мыши более или менее постоянно мигрируют на небольшие расстояния в поисках приемлемых для размножения сочетаний температуры и доступности пищи. По-видимому, система стимуляции феромонами играет при этом важную роль, обеспечивая кочующим половозрелым особям возможность регулировать размножение с учетом миграций.

Когда животное занимает новый биотоп, его успех во многом определяется плодовитостью. Плодовитость домовой мыши необычайно высока. При благоприятном сочетании условий окружающей среды популяция мышей может увеличиваться с катастрофической скоростью. Так, в одном из поселков в Австралии в 1917 г. в течение четырех месяцев было отловлено более 30 млн. мышей. Любая молодая особь домовой мыши — потенциальный «колонист», и именно посредством постоянного расселения этот вид все время «опробует» новые местообитания. Большинство таких попыток оканчивается неудачей, однако благодаря уникальному комплексу репродуктивных приспособлений некоторые животные даже в малом числе становятся основателями новых колоний. Таким образом мыши распространяются по всей планете, занимая самые разнообразные местообитания.

ДОБРОСОВЕСТНО проведенное биологическое исследование никогда полностью не исчерпывает проблему, а наоборот, ставит новые вопросы. Так было и в нашем случае. Например, остается непонятным, каким образом домовая мышь сохраняет гибкость своих репродуктивных механизмов при постоянно идущем естественном отборе, который направлен на максимальное приспособление к тем или иным локальным условиям.

Как правило, вид млекопитающих обитает в каком-то одном географическом регионе, где встречается в единственном типе местообитания. При этом естественный отбор формирует репродуктивные механизмы, наилучшим образом отвечающие особенностям данной окружающей среды. У большинства мелких млекопитающих эволюция идет в сторону выработки способности размножаться лишь в узком интервале температур, и размножение обычно зависит от наличия специфического корма. У животных, как правило, вырабатывается фотопериодизм, причем мелкие формы приспосабливаются к строго ночному образу жизни. Успешное расселение вида, напротив, возможно только тогда, когда животное сохраняет гибкость репродуктивных механизмов, что и позволяет ему осваивать новые местообитания.

Удается ли домовой мыши каким-то образом избегать узкой специализации полового поведения под влиянием естественного отбора? Может быть, да, а может быть, и нет. Как показал Р. Берри из Лондонского университетского колледжа, многие не связанные с воспроизведением видовые признаки мыши могут в ходе отбора приспосабливаться к конкретным географическим условиям. В то же время если учесть, что для успешного заселения новых территорий необходимы определенные репродуктивные особенности, можно думать, что расселяющиеся особи всегда происходят из популяций, обитающих не в природе, а в созданных человеком постройках с относительно постоянными условиями среды. То есть эти распространенные по всему земному шару популяции домовых мышей-комменсалов представляют собой постоянный источник генетически «усредненных» животных. Такой вариант кажется правдоподобным, однако в большинстве случаев мыши комменсалы и некомменсалы генетически очень близки, и нередко одни и те же кочующие особи избирают тот или иной образ жизни в зависимости от ситуации. Не исключено, что для поддержания репродуктивной гибкости вида действительно существует какая-то пока неясная генетическая основа, препятствующая действию естественного отбора по этому признаку в рамках конкретного местообитания.

Другой вопрос, возникший в ходе нашего исследования, касается того факта, что у самцов домовой мыши способность к размножению относительно независима от пищевых факторов. Ограничиваются ли их репродуктивные возможности чем-либо еще, кроме конкуренции за самку с другими самцами? Эволюция не склонна к благотворительности, поэтому тот же вопрос можно сформулировать так: от чего вынужден был отказаться самец, усиливая свою половую приспособленность? Чего он лишен по сравнению с самкой, которая больше зависит от имеющихся в окружающей среде ресурсов?

Рассматривая проблему шире, можно предположить, что и для вида в целом необыкновенная гибкость репродуктивных механизмов развилась за счет потери каких-то иных преимуществ. И если домовая мышь способна с таким успехом приспосабливаться к самым различным условиям, почему другие виды не следуют ее примеру? Пока что ответа нет: мы не знаем, чем пожертвовали мыши, сохранив свою репродуктивную гибкость.

Мне хочется подчеркнуть следующее: помимо всего прочего, из нашей работы следует, что о влиянии условий среды на воспроизведение у млекопитающих вообще известно довольно мало. Достаточно сказать, что одной из основных трудностей, с которыми нам пришлось столкнуться, изучая домовую мышь, был поиск сопоставимой информации об экологии и физиологии какого-либо другого представителя этого класса.

Жизнедеятельность всех млекопитающих регулируется условиями окружающей среды, питание и эмоции влияют и на людей. Однако в последнее время в области биологии размножения господствовала тенденция изучать этот процесс почти исключительно на молекулярном и тканевом уровнях, причем в качестве модельных систем фигурировало лишь несколько видов домашних животных. Быть может, изучение особенностей размножения живущей в естественных условиях домовой мыши пробудит долго дремавший интерес к регуляторной роли экологических факторов и в итоге будет способствовать более глубокому пониманию репродуктивных процессов у млекопитающих в целом.

Издательство **МИР** *предлагает:*

И. Экланд
ЭЛЕМЕНТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЭКОНОМИКИ

Перевод с английского

Введение в математическую экономику, начинающееся с основных понятий и завершающееся современными математическими моделями. Большое внимание уделено геометрической наглядности изложения и экономическому содержанию формальной теории. Автор — французский математик, известный советским читателям по переводу в соавторстве с И. Темамом книги «Выпуклый анализ и вариационные проблемы» (М.: Мир, 1979).
Для математиков, интересующихся современной математической экономикой, для студентов, специализирующихся по прикладной математике, экономической кибернетике, исследованию операций.

1983, 14 л. Цена 2 р. 10 к.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Солитонный лазер

Только некоторые приборы получили такое быстрое и широкое распространение в лабораторной практике, как лазеры. Главная причина этого — возможность облучения небольших исследуемых образцов излучением строго определенной частоты и высокого «качества». По-видимому, в меньшей степени используется то, что лазерная энергия может быть импульсной, т.е. передаваться к экспериментальному образцу в виде коротких вспышек. Такие импульсы позволяют управлять физическими и химическими процессами как во времени, так и в определенных областях пространства и интервалах энергии. Исследование этих процессов на атомном уровне требует действительно очень коротких импульсов. Например, чтобы разрешить во времени перенос энергии внутри молекулы или эволюцию энергетических электронных состояний в твердом теле, необходимы импульсы пикосекундной (10^{-12}с) продолжительности и даже короче.

В настоящее время Л. Молленауэр и Р. Столен из AT&T Bell Laboratories создали новый лазер, который генерирует импульсы инфракрасного излучения длительностью лишь 210 фемтосекунд (фемтосекунда — тысячная доля пикосекунды, т.е. 10^{-15}с). Лазер назван солитонным, так как его выходное излучение представляет собой солитон, т.е. уединенную волну. Импульсы, испускаемые этим лазером, отнюдь не самые короткие из полученных до сих пор; рекорд здесь принадлежит Ч. Шэнку и его коллегам (также из Bell Laboratories); их лазер генерировал импульсы видимого излучения длительностью только 30 фемтосекунд. Однако импульсы, полученные теперь, имеют совсем другие свойства, чем импульсы, полученные Шэнком: их форма и продолжительность могут быть проконтролированы с очень высокой степенью точности.

Идея солитонного лазера восходит к случайному наблюдению волн на воде, сделанному инженером-кораблестроителем Джоном Скоттом Расселом в 1844 г. Он заметил, что при наклоне судна в канале* может рождаться необычная волна. Когда судно останавливается, такая волна продолжает бежать по каналу, не увеличиваясь и не затухая.

Волна, наблюдавшаяся Расселом, известна теперь математикам как фундаментальный солитон; это волна, которая распространяется без изменения своей формы. Однако возможны солитоны более высоких порядков. Солитон второго порядка — волна, которая начинается в виде колоколообразного возмущения и по мере распространения сужается. При этом ее высота увеличивается до тех пор, пока и ширина, и высота не достигнут экстремальных значений; затем волна возвращается к первоначальной форме, и процесс периодически повторяется. Для солитонов более высоких порядков, чем второй, характерно более сложное движение, но оно всегда периодично. Например, солитон третьего порядка сжимается в острый пик, расщепляется на два меньших пика, снова сжимается в острый пик и наконец возвращается к первоначальной форме, после чего эта последовательность повторяется.

Солитонный лазер излучает солитон второго порядка. Импульс излучения сначала возникает в устройстве, которое может функционировать как лазер в собственном смысле этого слова. Этот лазер, который называется лазером на центрах окраски, может быть настроен на испускание инфракрасного излучения одной частоты. Когда лазер на центрах окраски работает независимо, он испускает импульсы на длине волны 1,5 мкм длительностью 7 пикосекунд. В солитонном лазере импульс, испускаемый лазером на центрах окраски, проходит через разделитель пучка, который часть его энергии передает на выход солитонного лазера, а другую часть — в резонатор, где импульс претерпевает основное превращение.

Резонатор представляет собой стекловолокно, которое удерживает импульсы в сердечнике диаметром около 10 мкм. Импульс, поступивший в резонатор, распространяется по волокну, отражается от зеркала на его конце и возвращается к лазеру на центрах окраски. Поскольку сердечник волокна очень мал, интенсивность импульса излучения в нем возрастает. Скорость света в стекле слегка зависит от его интенсивности, поэтому увеличение интенсивности приводит к изменению скорости света, что в свою очередь вызывает изменение формы импульса.

Если бы зависимость скорости света от интенсивности отсутствовала, то импульс по мере распространения по волокну подвергался бы дисперсии, или уширению. Однако если бы такая тенденция к дисперсии не проявлялась, то одна зависимость скорости света от интенсивности не влияла бы на форму импульса. Влияние интенсивности света в сочетании с влиянием дисперсии заставляет импульс сжиматься. Импульс, который возвращается по волокну к лазеру, короче импульса, который поступил в волокно. Этот укороченный импульс захватывает энергию, запасенную в лазере, и вынуждает его испустить второй импульс; фактически лазер в этом случае действует как зеркало, которое усиливает импульс.

Процесс повторяется несколько раз и приводит к каскаду все более узких импульсов. Имеется, однако, предел сужения импульса. Когда импульс достигает характерной длительности, определяемой длиной волокна резонатора, он становится солитоном второго порядка. На своем пути к зеркалу на конце волокна солитонный импульс сужается, а при возвращении расширяется, т.е. когда импульс становится солитоном, волокно перестает вносить какие-либо изменения в конечную форму импульса. Форма солитона хорошо известна и определяется только характеристиками волокна. Длительность солитона пропорциональна корню квадратному из длины волокна, так что длительность солитона, который в конце концов развивается в волокне, может быть уменьшена просто путем укорачивания длины волокна.

Энергию на выходе солитонного лазера можно регулировать, изменяя отражательные свойства разделителя пучка. Если выходной импульс сфокусировать на другое волокно, то он также может стать солитоном высшего порядка. Порядок выходящего солитона зависит от соотношения энергий двух разделенных пучков. Это означает, что волокно можно обрезать до длины, при которой солитон высшего порядка сжат в наибольшей степени. Такой способ приводит к дополнительному уменьшению длительности импульса. 210-фемтосекундный импульс генерировался в волокне длиной 67 см без такого укорачивания; Молленауэр считает, что нетрудно «сфокусировать» импульс во времени еще раз в 10.

---

* Имеется в виду канал Эдинбург — Глазго, где Джон Скотт Рассел проводил свои исследования. — *Прим. ред.*

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Флоренс Найтингейл

Во время Крымской войны Флоренс Найтингейл спасла жизнь тысячам солдат. Она была одним из основателей современной системы медицинского обслуживания, а также пионером в практическом использовании социальной статистики

БЕРНАРД КОЭН

ФЛОРЕНС Найтингейл известна как основатель профессии медицинских сестер и инициатор реформы госпиталей. Сама же она видела свою высокую миссию в служении человечеству, в избавлении людей от смерти и болезней, которые можно предотвратить. Этому она посвятила большую часть своей долгой жизни (1820-1910 гг.), проявляя беспримерное упорство и настойчивость, отличавшие все ее поступки. Но все же главной ее заслугой была борьба за реформу системы медицинского обслуживания в английской армии и превращение службы медицинских сестер в серьезную, уважаемую профессию на основе разработки программ специальной подготовки и предъявления высоких профессиональных требований к деятельности медсестер. Многое из того, что составляет сегодня основу медицинского обслуживания, берет начало в ожесточенных баталиях, которые Флоренс Найтингейл вела в XIX в. Менее известно, что в этих баталиях она впервые стала использовать новейшие методы статистического анализа. Ее биографы об этом почему-то не упоминают.

Будучи старшей медицинской сестрой в период Крымской войны (1854-1856 гг.), Флоренс убедилась на собственном опыте, что, улучшив санитарные условия в военных госпиталях и казармах, можно резко сократить смертность и спасти тысячи жизней. Но, чтобы убедить в этом скептиков, стоящих у власти, ей пришлось вести нелегкую борьбу. Хотя в то время сбор и анализ данных в области социальной статистики еще мало практиковались, Флоренс сумела понять, что надежные данные о числе умерших в армии, чью смерть можно было бы предотвратить, могут служить убедительным доказательством необходимости реформы. Тем самым она не только способствовала осуществлению реформы медицинского обслуживания, но и одной из первых поддержала новаторскую идею о том, что социальные явления могут быть объектом измерений и математического анализа.

Выдающиеся достижения Флоренс тем более значительны, что она добилась их в условиях социальных ограничений, с которыми сталкивалась женщина в викторианской Англии. Отец Флоренс, Уильям Эдвард Найтингейл, был богатым землевладельцем, и его семья принадлежала к высшим кругам английского общества. В то время женщины не учились в университетах и не стремились к профессиональной карьере; целью их жизни было выйти замуж и растить детей. Флоренс повезло: ее отец считал, что женщина должна быть образованной, и он сам учил ее итальянскому, латинскому и греческому языкам, философии и истории, а также — что было крайне необычным для женщины того времени — письму и математике. Когда двадцатилетняя Флоренс выразила желание стать медсестрой, отец с опасением отнесся к ее желанию и решил посоветоваться с врачами, подойдет ли его дочери подобное занятие.

Если вообще для женщины высшего круга решение избрать какую-либо профессиональную карьеру требовало исключительной решимости, то о профессии медсестры не могло быть и речи, даже в такой просвещенной семье, в которой жила Флоренс. Сомнение Уильяма Найтингейла было вызвано не столько «отвратительной обстановкой в госпиталях», сколько, по-видимому, неопровержимыми свидетельствами распутного поведения медсестер. В ту эпоху медсестры не получали никакой специальной подготовки. Как правило, это были грубые и невежественные женщины со склонностью к распущенности и пьянству. Впоследствии Флоренс сама рассказывала отцу, как старшая медсестра одного из лондонских госпиталей говорила ей, что «никогда не встречала непьющих медсестер» и что большинство из них «ведут себя аморально» с пациентами. Поэтому родители Флоренс надеялись, что их дочь откажется от столь необычного замысла, выйдет замуж и заживет нормальной жизнью.

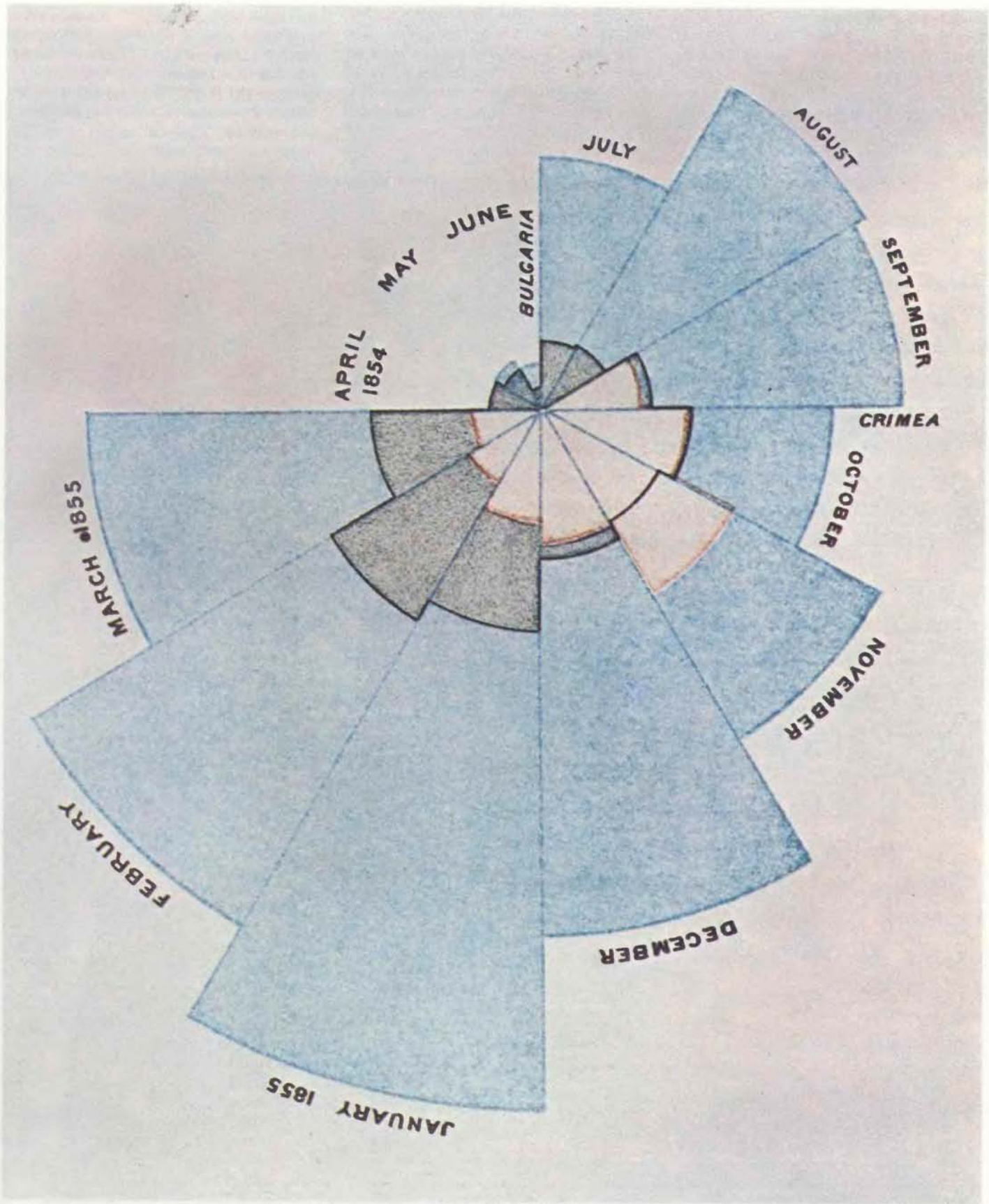
СУДЯ по всему, Флоренс Найтингейл имела привлекательную наружность, и если она не вышла замуж, то не потому, что не имела такой возможности. Однажды она чуть было не приняла предложение одного поклонника, но после долгих его ухаживаний она поняла, что никогда не сможет удовлетворить «моральные устремления» своей «активной» натуры, если «проживет с мужем всю жизнь в заботах о нем и домашнем очаге». Респектабельное замужество, писала она в своем дневнике, означает «обречь себя на продолжение и усугубление» ее «нынешнего положения», что, казалось ей, было «подобно самоубийству». Свое предназначение она видела в ином и решила, что она из тех женщин, кому провидение «явно предопределило ... быть незамужними ...»

Когда родители не позволили ей стать медсестрой, Флоренс обратилась за утешением к религии, которая всю жизнь была ее путеводной звездой. Однако ее религиозные чувства всегда основывались на убеждении, что лучший способ служить богу заключается в служении человечеству, и поэтому в трудные годы молодости ее никогда не покидала мысль о будущей профессии. Она жадно читала книги по медицине и уходу за больными, посещала больницы и возилась с детишками из лондонских трущоб, которых она называла своими «вестминстерскими воришками». И все же Флоренс испытывала чувство неудовлетворенности.

Наконец, в 1851 г. Флоренс удалось уехать из дому и провести три месяца в Германии, под Дюссельдорфом, где находились больница и приют протестантского ордена «дьякониц». Позднее, несмотря на возражения родителей, она стажировалась в еще одной больнице, на этот раз в Сен-Жермене под Парижем, которой ведала католическая организация «Сестры милосердия». Ей было уже 33 года, и наконец-то она приобщалась к избранной ею профессии.

Вернувшись в 1853 г. в Лондон, Флоренс вскоре получает свое первое «место» (неоплачиваемое) в качестве надзирательницы в лондонском «заведении для больных женщин благородного происхождения». В ее обязанности входило следить за работой медсестер,

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU



ПОЛЯРНАЯ ДИАГРАММА, придуманная Флоренс Найтингейл, чтобы наглядно показать, как много смертей можно было предотвратить в английских военных госпиталях во время Крымской войны. Площадь каждого сектора пропорциональна изображаемой статистической величине. Голубые секторы—число смертей от «заразных болезней, которые можно было предотвратить или ослабить» (инфекционные заболевания типа холеры или тифа), розовые—число умерших от ран и серые—смертность в результате прочих причин. Смертность в английских госпиталях достигла максимума в январе 1855 г., когда всего умерло 3168 солдат, из них 2761 человек от инфекционных заболеваний, 83 от ран и 324 от других причин. Исходя из средней численности английской армии в Крыму в этом месяце, составлявшей 32 393 человека, Флоренс Найтингейл высчитала, что в пересчете на год смертность составляла 1174 человека на каждую тысячу. Диаграмма взята из книги Флоренс Найтингейл «Заметки по вопросам, касающимся охраны здоровья, эффективности мер и управления госпиталями в английской армии», изданной в 1858 г.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

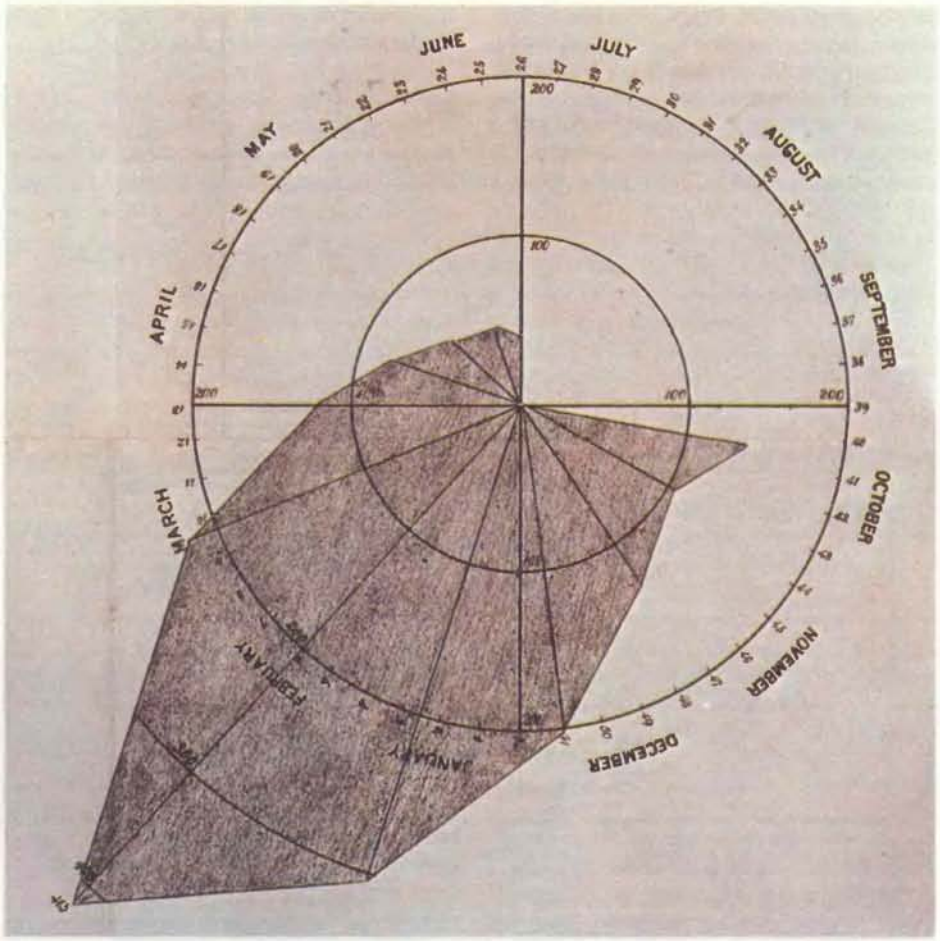
состоянием медицинского оборудования и контролировать приготовление лекарств. Хотя по нормам того времени ей удалось создать образцовое медицинское учреждение, куда был открыт доступ для больных из всех классов общества и всех вероисповеданий, она по-прежнему чувствовала неудовлетворенность, что не могла достичь того, что уже тогда считала своей целью: создать школу, где медсестры получали бы полноценную профессиональную подготовку.

В этой первой должности Флоренс проработала не больше года, когда перед ней открылись более широкие возможности. В сентябре 1854 г. английские и французские войска высадились

ФЛОРЕНС НАЙТИНГЕЙЛ изображена на этой фотографии в более поздний период своей жизни. Вскоре после возвращения из Крыма в 1856 г. вплоть до своей смерти в 1910 г. в возрасте 90 лет она тяжело болела, проводя почти все время в своей спальне. Возможно, у нее и не было никакого органического заболевания, во всяком случае болезнь не помешала ей оказывать влияние на ход событий, принимать посетителей и вести широкую переписку.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

в Крыму на северном побережье Черного моря, чтобы оказать помощь Турции, воевавшей с Россией (одной из непосредственных причин Крымской войны явилось требование России, чтобы православные подданные султана были отданы под ее особое покровительство.) 20 сентября союзники одержали победу в сражении на реке Альма, а затем началась осада русской военно-морской базы — Севастополя. Всеобщее ликование в Англии вскоре сменилось негодованием, когда крымский корреспондент лондонской «Таймс» Уильям Говард Рассел сообщил, что больных и раненых английских солдат оставляют умирать без всякой медицинской помощи. В английском военном госпитале в Скутари (недалеко от Константинополя) не только не хватало врачей и «даже полотна для перевязок», но и не было ни одной квалифицированной медсестры. Французы же направили в Крым 50 сестер милосердия.



УРОВЕНЬ СМЕРТНОСТИ в Скутари, в главном английском госпитале во время Крымской войны, резко снизился после того, как благодаря усилиям Флоренс Найтингейл были улучшены санитарные условия. Зимой 1854/55 г. английская армия, осаждавшая русские укрепления под Севастополем, несла огромные потери от плохой пищи, холода и болезней—дизентерии, холеры, тифа и цинги. Смертность в госпитале в Скутари, по подсчетам Флоренс Найтингейл в пересчете на год в процентах к общему числу пациентов, достигла в феврале 415%. В марте начала осуществляться санитарная реформа. Диаграмма взята из отчета Королевской комиссии, назначенной после войны для изучения санитарных условий в госпиталях английской армии.

У ФЛОРЕНС появилась блестящая возможность осуществить свои честолюбивые замыслы. Она тотчас же написала своему старому другу Сидней Герберту, тогдашнему «министру войны», и предложила свои услуги. Оказалось, что сам Герберт уже отправил ей письмо с просьбой подобрать группу квалифицированных медсестер и отправиться с ними в Скутари. И когда 21 октября 1854 г. Флоренс во главе отряда из 38 медсестер отплыла в Турцию, она могла рассчитывать на официальную поддержку правительства (но не военных властей). Пожалуй, еще более важным было то, что она располагала денежными средствами из частного фонда, собранного газетой «Таймс». Работа в Крыму принесла Флоренс не только всемирную известность; эта работа и условия, в которых она велась, определили высокую миссию всей ее будущей жизни.

Условия же, с которыми столкнулись Флоренс и ее помощницы по прибытии в Скутари 5 ноября, как раз в день сражения под Инкерманом, были поистине ужасающими. Бараки, где размещался госпиталь, кишели блохами и крысами. Как сообщила впоследствии инспекционная комиссия, под строениями «проходили канализационные трубы ... забитые грязью ... и смрадный воздух выносило из них ветром вверх через многочисленные открытые уборные в коридоры и палаты, переполненные больными», которые лежали на соломенных подстилках и которых после Инкермана стало еще больше. По словам Флоренс, холщовые простыни были «такие жесткие», что раненые просили, чтобы им позволили лежать прямо в одеялах»; белье стиралось в холодной воде и после возвращения из стирки в нем часто было столько паразитов, что его приходилось уничтожать. Необходимые медикаменты и перевязочные материалы либо вообще отсутствовали, либо не могли быть получены из-за бюрократизма военных властей.

Таковы были условия, в которых содержались раненые, доставлявшиеся в Скутари после долгого пути через Черное море и Босфор, слабые и истощенные, страдающие не только от ран, но и от обморожений и дизентерии. В результате возникавших вследствие этого эпидемий тифа и холеры в Скутари умерло больше людей, чем от самих ран. В феврале 1855 г. смертность в госпитале достигла 42,7% от общего числа больных и раненых.

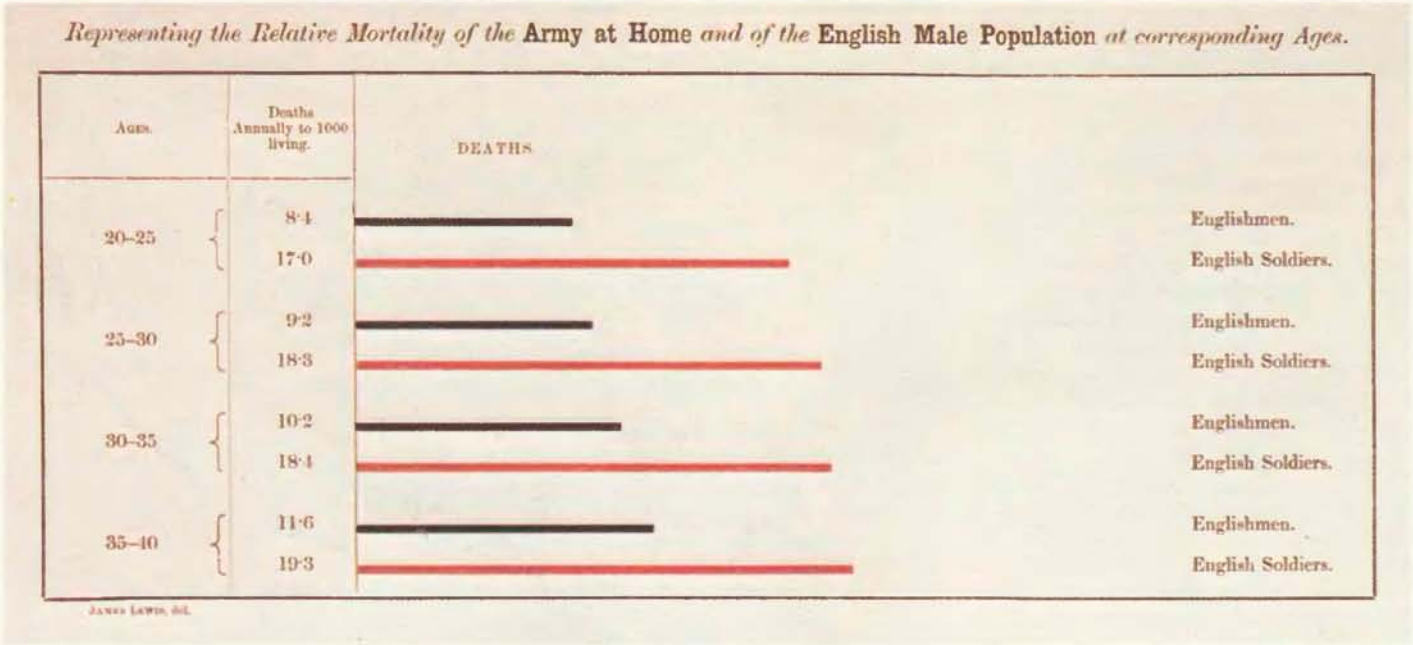
Пытаясь организовать в Турции настоящий госпиталь, Флоренс Найтингейл проявила подлинный талант администратора. На каждом шагу она встречала сопротивление со стороны военных властей, препятствовавших любым изменениям, которые могли вскрыть их собственные ошибки или некомпетентность. Военным чинам не нравилось, что Флоренс действовала независимо от армейских служб, что она была гражданским лицом и к тому же — женщиной. Враждебное отношение к ней было столь очевидным, что ее медсестрам сначала вообще запретили находиться в палатах. Даже когда ей удалось добиться признания, ей постоянно приходилось бороться с мелкими чиновниками. Был, например, случай, когда офицер, ведавший хозяйственным снабжением, отказался выдавать со склада крайне необходимые рубахи, пока вся партия в 27 тыс. штук не будет осмотрена представителем интендантской службы.

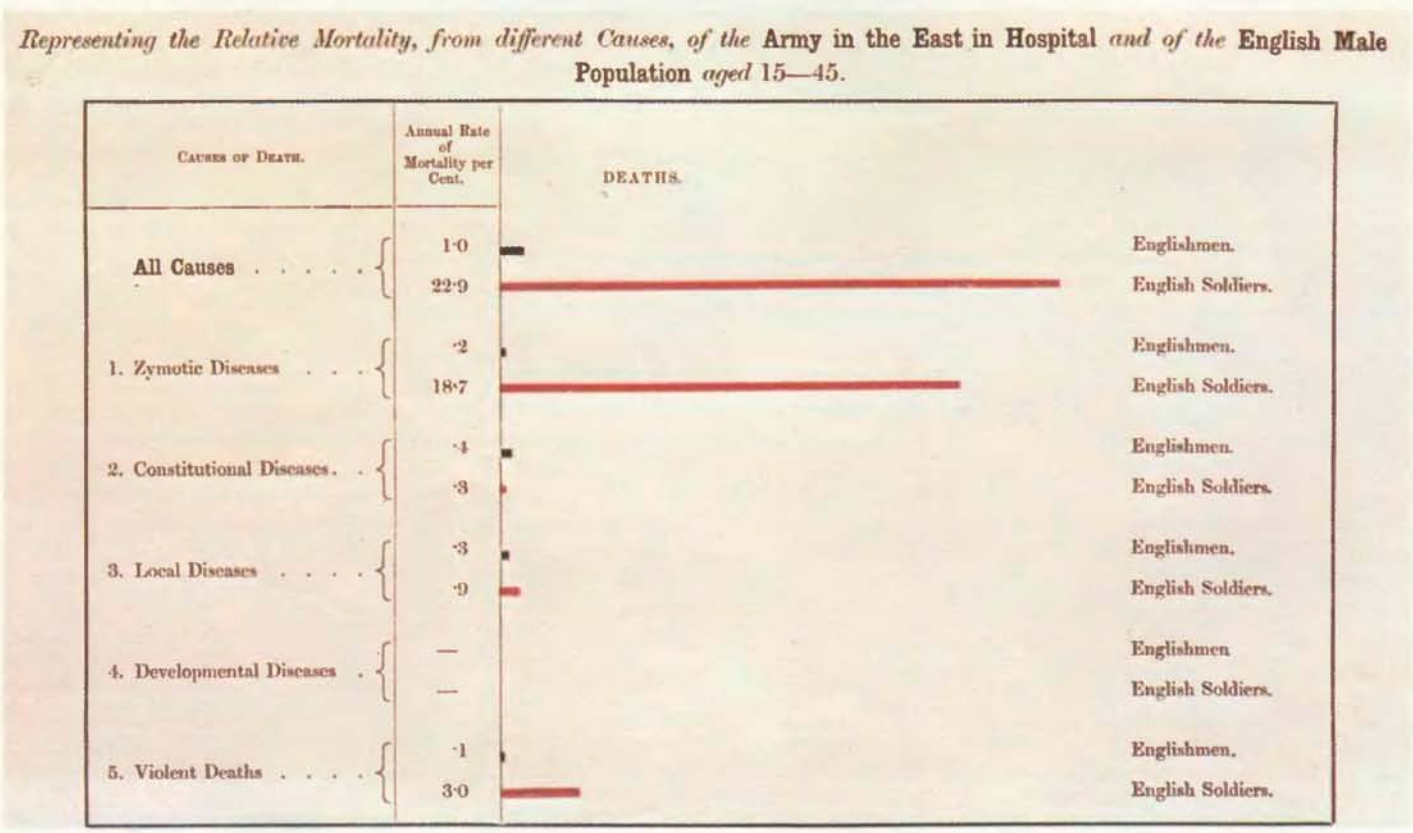
Несмотря на все эти помехи, Флоренс удалось очень многого добиться в Скутари благодаря ее независимости от военных властей, а главное благодаря тому, что она располагала собственными средствами. Она организовала свою прачечную с котлами для горячей воды, устроила в госпитале дополнительные кухни и в конце концов превратилась в главного поставщика различных товаров для всего госпиталя, «своего рода оптового торговца носками и рубахами, ножами и вилками, капу-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

стой и морковью, операционными столами, полотенцами и мылом, расческами, порошком от вшей, ножницами, суднами и подушками для культей». Деньги для закупки всего этого и для оплаты нанятого ею персонала поступали не только из фонда «Таймс», но и из пожертвований частных лиц, а также из ее личных средств.

ВЫПОЛНЯЯ многочисленные административные обязанности, Флоренс все же находила время, чтобы самой ухаживать за больными. Поздно ночью она постоянно обходила палаты, что породило легенду об «ангеле-хранителе» Крыма. Всем другим женщинам Флоренс запрещала по ночам находиться в палатах (ей приходилось отсылать некоторых медсестер домой за непристойное поведение), и, как пи-





ЛИНЕЙНЫЕ ДИАГРАММЫ, приведенные в отчете Королевской комиссии, отражают сравнительный уровень смертности в армии и среди гражданских лиц. В мирное время смертность среди солдат в Англии почти вдвое превышала смертность среди гражданских лиц (*верхняя диаграмма*). Во время Крымской войны основной причиной смертности среди солдат были «заразные» заболевания, которые на фронте были более распространены, чем в Англии (*нижняя диаграмма*). На верхней диаграмме приведено число умерших на тысячу человек для различных возрастных групп, на нижней—уровень смертности (в процентах) от различных заболеваний (черные линии—среди мужчин гражданского населения, красные—среди солдат в тылу). На основе отчета был принят военно-санитарный кодекс и осуществлен ряд мер по улучшению санитарных условий в армии. Эти диаграммы, как и другие, содержащиеся в докладе, могут служить примером новаторского подхода Флоренс Найтингейл к способам графического представления статистических данных.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

сал управляющий фондом «Таймс», она «одна с небольшой лампой в руках исходила многие мили среди беспомощных страдальцев». Лонгфелло в поэме, написанной в 1857 г., обессмертил образ этой «леди с лампою в руках». («Чу! В этот час страданий я вижу леди с лампою в руках»). Но более существенным доказательством успеха, достигнутого Флоренс, могут служить цифры, на которые она сама указывала: к весне 1855 г., спустя полгода после ее приезда в Скутари, смертность в госпитале сократилась с 42,7 до 2,2%.

6 июля 1856 г., через четыре месяца после окончания войны, Флоренс Найтингейл вернулась в Англию. Ей уже было 36 лет, и ее знали и почитали во всем мире. По прибытии она отказалась от всякого официального чествования, заявив, что лучшим признанием ее заслуг было бы создание комиссии по расследованию организации медицинского обслуживания в армии. Флоренс писала, что в Крыму в «забытых могилах» лежат около 9 тыс. солдат, чья смерть «была вызвана причинами, которые могли бы быть предотвращены». Эта трагедия продолжалась и в мирное время: в любом военном госпитале и в любой казарме умирали люди, которых можно было спасти. Чтобы положить этому конец, необходимо было во всей военно-медицинской службе провести такие же санитарные реформы, за счет которых удалось спасти столько жизней в Скутари. Именно такую задачу и поставила перед собой Флоренс.

Но как ей убедить других в необходимости реформы? Самым убедительным аргументом, считала Флоренс, являются статистические данные. Сегодня использование статистики в подобных целях — для изучения социальных явлений и анализа эффективности мероприятий в общественной сфере — обычное дело, но в то время это было не так. Научные основы социальной статистики только зарождались, и, борясь за осуществление реформы медицинского обслуживания, Флоренс способствовала развитию и этого нового метода анализа.

В качестве простого сбора количественных данных статистика известна с давних времен (вспомним хотя бы о Книге чисел Ветхого завета), но анализом таких данных стали заниматься лишь со времени научной эволюции XVII столетия. Первым попыткам анализировать статистические данные в социальной области мешала недостаточная точность как самих данных, так и математических методов анализа. Хелен М. Уокер, изучавшая историю статистики, указывает, что развитие в XIX в. современных статистических методов было обусловлено тремя факторами: появлением математической теории вероятностей, возникновением сети различных государственных учреждений, собирающих информацию о гражданах и их деятельности, и стремлением специалистов в области политической экономии научно обосновать причины социального поведения людей. Эти «три движущих фактора», по словам Уокер, соединились воедино в XIX в. в судьбе бельгийского астронома и статистика Ламберта Адольфа Жака Кетле, которого многие считают создателем современной социальной статистики. В 1841 г. Кетле организовал Центральную бельгийскую статистическую комиссию, которая стала прототипом подобных учреждений в других странах. До конца своей жизни (он умер в 1874 г.) Кетле оставался главным авторитетом в мире по вопросам статистических исследований.

В ПРОШЛОМ веке ученые, пытавшиеся научно изучать поведение человека, столкнулись со сложной проблемой. Образцом науки того времени считалась классическая физика с ее детерминистскими законами, которые описывали различные природные явления. Поведение же человека казалось всецело индивидуальным и недетерминированным. Кетле решил эту проблему, выдвинув понятие «среднего человека», исключающее особенности индивида. Он доказал, что, если поведение индивида не подчиняется строгим законам, то в поведении группы людей обнаруживаются закономерности, которые могут получить математическое выражение на основе теории вероятностей. Кетле был убежден, что даже интеллектуальные и моральные качества человека, если их измерить с достаточной точностью, подчиняются нормальному закону статистического распределения.

Наиболее оригинальной и замечательной работой Кетле был проведенный им в 1831 г. анализ зависимости уровня преступности во Франции от таких факторов, как пол, возраст, образование, климат и время года. Конечно, полученные данные не позволяли предсказывать, кто именно совершит то или иное преступление, но, по мнению Кетле, они давали возможность ученым «заранее подсчитать, сколько человек обагрят руки кровью своих собратьев, сколько будет фальшивомонетчиков и сколько отравителей». Открытие подобных закономерностей привело Кетле к радикальному выводу, что «все эти преступления так или иначе подготавливаются обществом, а сам преступник — это лишь орудие их осуществления».

Хотя многие ученые высоко оценили труды Кетле, у других они вызвали негодование. Детерминизм его «социальной физики» был совершенно неприемлем для тех, кто придерживался господствующих тогда взглядов о свободе воли и индивидуальной ответственности человека. Так, Джон Стюарт Милль, например, неоднократно выступал против теории вероятностей вообще и ее использования в области общественных наук в частности. Другим активным противником статистического подхода к изучению человека и общества был Чарлз Диккенс. По словам Диккенса, его роман «Тяжелые времена» был задуман как сатира на тех людей, которые не способны видеть ничего, кроме «цифр и средних чисел», «безмозглых тупиц», которые, исходя из среднегодовой температуры Крыма, «доказывают, что солдата следует одевать в платье из нанковой (шелковой) ткани в такую ночь, когда и в мехах он бы умер от холода». Диккенс отвергал статистический подход, считал его бесчеловечным и в «Тяжелых временах» сравнивал закономерности, обнаруженные статистиками в области умопомешательств, преступности, самоубийств и проституции, с «убийственно точными часами».

Флоренс Найтингейл была, напротив, горячим поклонником работ Кетле и еще в молодости занялась сбором и анализом статистических данных. В Скутари она не только осуществила важнейшие санитарные реформы, но и наладила систематический учет; до нее там царил настоящий хаос: неизвестно было даже точное число смертных случаев. Вернувшись в 1856 г. в Англию, Флоренс познакомилась с врачом и профессиональным статистиком Уильямом Фарром. Под его руководством она быстро смогла оценить возможность использования собранных ею в Скутари данных и вообще медицинской статистики в качестве средства для улучшения медицинского обслуживания в военных госпиталях и гражданских больницах.

НА ПРОТЯЖЕНИИ всей военной истории, вплоть до XX в., во время войн от болезней погибало больше людей, чем от ранений, полученных в боях, и в этом отношении Крымская война не была исключением. Статистические данные, собранные Флоренс, весьма красноречивы. Они показывали, что в течение первых месяцев Крымской кампании «смертность в войсках только от *болезней* составляла 60% в год», что превышало процент погибших во время великой эпидемии чумы в Лондоне в 1665 г., и была выше «смертности от приступов холеры» (т.е. смертности среди тех, кто заразился этой болезнью). В январе 1855 г. общая смертность во всех английских госпиталях в Турции и Крыму по отношению к численности всей Крымской армии, но без учета убитых в бою, достигла годового уровня — 1174 человека на каждую тысячу. Из этого числа 1023 человека на тысячу умерли от «заразных» болезней (в эту категорию Фарр включал эпидемические, эндемические и инфекционные заболевания). Это означало, что, если бы такой уровень смертности, который отмечался в

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

январе, сохранялся на протяжении всего года и армия не получала бы пополнений, одни только болезни уничтожили бы всю английскую армию в Крыму.

Различные методы подсчетов смертности, использованные Флоренс Найтингейл, ярко продемонстрировали и во что обходятся Англии болезни солдат, и какова эффективность улучшения санитарных условий. Смертность в госпитале в Скутари в пересчете на целый год в процентах к общему числу пациентов достигла в феврале 1855 г. невероятной цифры — 415%. Но уже в марте под руководством Флоренс начала осуществляться санитарная реформа и смертность среди больных резко снизилась. По данным Флоренс, к концу войны смертность среди больных английских солдат в Турции была «ненамного выше», чем среди здоровых солдат в самой Англии. Еще более примечательно, что смертность среди всех английских войск в Крыму составляла «лишь две трети смертности среди английских войск, квартирующихся в Англии».

Эти цифры свидетельствовали о том, что не участвовавшие в войне английские солдаты жили в казармах в нездоровых условиях. Когда Фарр объяснил Флоренс, что скрывается за ее данными о смертности, она сразу решила сопоставить смертность среди солдат и среди гражданских лиц. И Флоренс обнаружила, что в мирное время смертность среди английских солдат в возрасте от 20 до 35 лет почти вдвое выше, чем среди гражданских лиц. Она писала в 1857 г., что «допускать смертность в строевых, артиллерийских и гвардейских частях в Англии на уровне 17, 19 и 20 человек на тысячу, в то время как в гражданской жизни эта цифра составляет всего 11 человек на тысячу, — это такое же преступление, как если бы ежегодно на равнине Солсбери выстраивали и расстреливали 1100 солдат». (Эти 1100 человек составляют 20 на тысячу из общего числа в 55 тыс. солдат и унтер-офицеров.) Было ясно, что, говоря об улучшении санитарных условий в армии, нельзя ограничиваться только полевыми госпиталями. Подкрепляя свои доводы статистическими данными, Флоренс сумела обратить на них внимание королевы Виктории и принца Альберта, а также премьер-министра Англии лорда Пальмерстона. Несмотря на пассивное сопротивление военного министерства, пожелание Флоренс о проведении официального расследования системы медицинского обслуживания в армии было удовлетворено и в мае 1857 г. была учреждена Королевская военно-медицинская комиссия.

В то время женщина никак не могла быть членом подобной комиссии. Тем не менее Флоренс оказывала сильное влияние на ее работу как потому, что некоторые члены комиссии были ее друзьями (среди них был Сидней Герберт — министр, пославший ее в Крым), так и потому, что значительную часть необходимой информации комиссия получала от нее. Свои взгляды Флоренс изложила на восьмистах страницах изданной на собственные средства книги, озаглавленной «Заметки по вопросам, касающимся охраны здоровья, эффективных мер и управления госпиталями в английской армии». В книгу был включен статистический раздел, снабженный таблицами и диаграммами. Фарр назвал эту книгу «самым лучшим (трудом) из всего когда-либо написанного» как по статистическим «диаграммам, так и о самой армии».

Флоренс Найтингейл была поистине пионером в области графического представления статистических данных: она придумала полярные диаграммы, на которых изображаемые статистические величины пропорциональны площадям секторов в круге. Флоренс использовала такие диаграммы, которые за их красочность она называла «мои шутовские колпаки», чтобы наглядно показать, как много смертей можно было предотвратить во время Крымской кампании. На Фарра «Заметки» произвели большое впечатление. Значительную часть статистических таблиц и диаграмм из этой работы он включил в текст отчета Королевской комиссии. Статистический раздел этого отчета Флоренс использовала в качестве составной части «флангового маневра», направленного против сопротивляющихся реформе медицинского обслуживания. Она опубликовала его в виде отдельной брошюры и широко распространяла ее в парламенте, в правительственных и военных кругах. Некоторые диаграммы Флоренс специально вставила в рамки и презентовала их чиновникам из военного министерства и военно-медицинского управления.

Усилия Флоренс не пропали даром. Для проведения реформ, рекомендованных Королевской комиссией, были учреждены четыре подкомиссии. Одна из них занималась вопросами переоборудования казарм и военных госпиталей: улучшением систем вентиляции, отопления, канализации, водоснабжения и кухонного оборудования. Другие подкомиссии разработали военно-санитарный кодекс, учредили военно-медицинское училище и реорганизовали армейскую систему сбора медицинских статистических данных.

ТЕПЕРЬ Флоренс занялась здоровьем английских солдат в Индии. Вместе с Фарром они начали изучать данные министерства по делам Индии о заболеваемости и смертности среди солдат. Кроме того, Флоренс разослала анкеты английским гарнизонам в Индии с вопросами о существующих там санитарных условиях. В течение 1858 и 1859 гг. она вела успешную кампанию за назначение еще одной королевской комиссии для расследования положения в английских войсках в Индии. Два года спустя она представила этой комиссии доклад о результатах, полученных на основе обработки ответов на разосланные индийским гарнизонам анкеты. В докладе излагались причины, по которым смертность среди английских солдат в Индии в шесть раз превышала смертность среди гражданского населения Англии: никуда не годные канализационные системы, переполненные казармы, отсутствие физических упражнений, плохие госпитали и многое другое. В 1863 г. комиссия завершила свою работу. А в 1873 г., спустя 10 лет после проведения санитарной реформы, Флоренс могла констатировать, что смертность среди солдат в Индии сократилась с 69 до 18 человек на тысячу.

Статистика, как это убедительно продемонстрировала Флоренс Найтингейл, дает возможность упорядоченного изучения данных опыта, и медицинская статистика может раскрыть гораздо больше, чем просто очевидный факт, что антисанитарные условия убивают людей. Как пишет Флоренс, однородные и точные статистические данные в медицине «позволяют дать оценку конкретным методам лечения и различным видам операций». Короче говоря, статистика приводит к улучшению медицинской и хирургической практики. Проблема заключалась в том, что во времена Флоренс статистические данные, которыми располагали больницы, не были ни однородными, ни последовательно точными. Чтобы исправить положение, Флоренс с помощью Фарра и других врачей разработала примерную форму больничной статистической отчетности. Эта форма была одобрена на Международном конгрессе по статистике, который состоялся в Лондоне летом 1860 г.

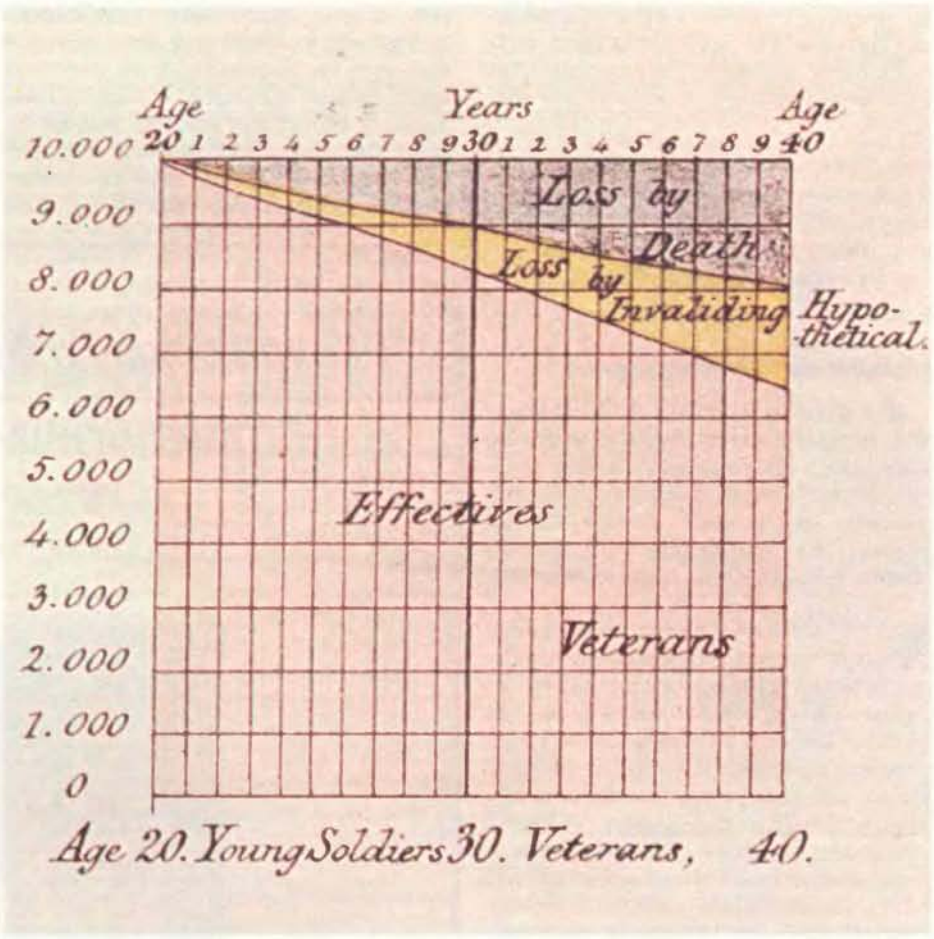
Новая схема отчетности определяет основные виды информации, которой должны располагать больницы: число больных на начало и конец года и число больных, поступивших в больницу в течение года; число больных, выписанных по выздоровлении, вследствие признания их неизлечимыми или по их собственной просьбе; число умерших больных и средняя продолжительность пребывания больного в больнице. Однако, хотя сама идея получения однородных статистических данных о положении в больницах была, несомненно, полезной и намного опередила свое время, эта новая система отчетности так и не получила широкого распространения. Предложенная форма была слишком сложной и исходила из своеобразной классификации заболеваний, которая была придумана Фарром и против которой решительно выступали многие патологи. К сожалению, в области медицинской науки Флоренс

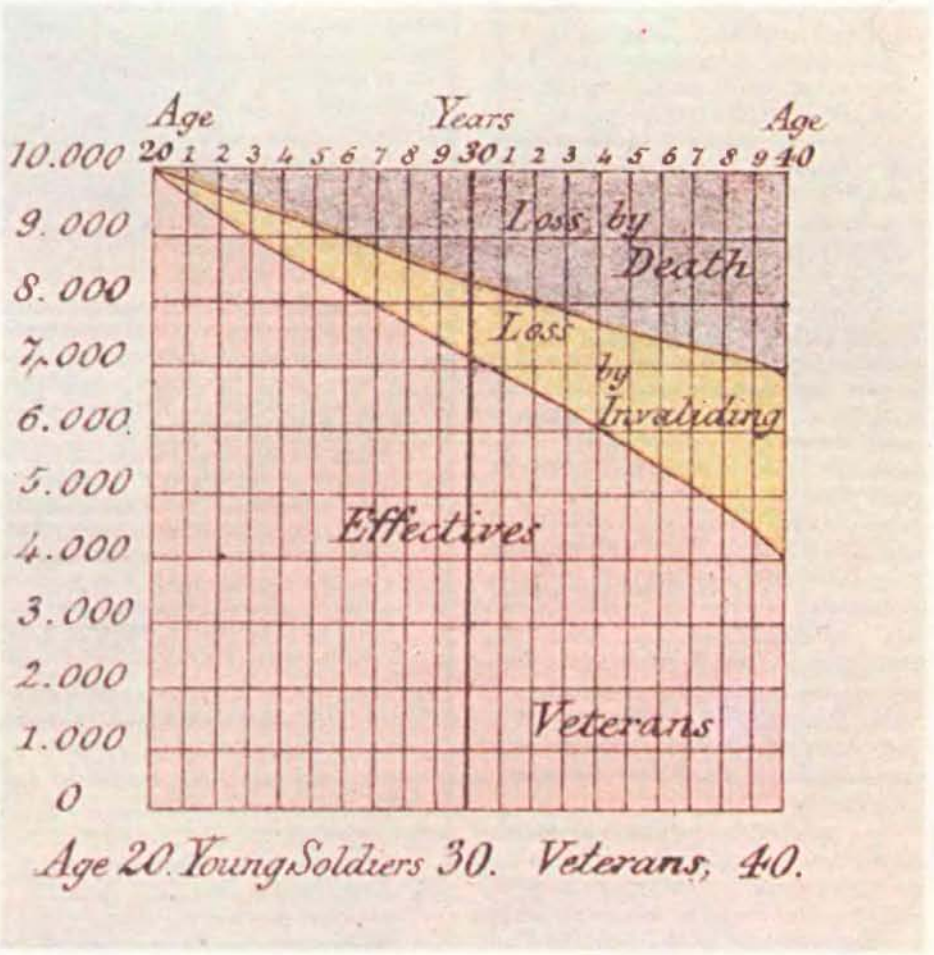
WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

не обнаружила той же проницательности, которая позволила ей оценить достоинства медицинской статистики; она, например, не проявила никакого интереса к теории о роли бактерий как возбудителей болезней и к значению этой теории для лечения инфекционных заболеваний.

Увлеченность статистикой объяснялась не только заинтересованностью Флоренс в проведении реформы медицинского обслуживания, она была тесно связана и с ее религиозными убеждениями. Для нее законы, управляющие социальными явлениями, «законы нашего морального прогресса» были божественными законами, которые и должна была обнаружить статистика. Она проповедовала идею, что наука, созданная Кетле, имеет «исключительную важность для всей политической и социальной деятельности», а большинство политических лидеров не имело никакого представления о том, как правильно интерпретировать статистические данные. Флоренс считала, что в результате такого невежества законодатели, которые «не ведают, что творят», издают законы, которые означают «не прогресс, а топтание на месте». Поэтому она старалась изобрести такую форму графического представления статистических данных, которая была бы понятна каждому, и боролась за то, чтобы ввести обучение статистике в программу высших учебных заведений. Правда, ее мечта о кафедрах статистики в университетах была осуществлена лишь после ее смерти, и даже сегодня ее взгляды не полностью разделяются обществом, что видно хотя бы из того, то изучение статистики еще не стало обязательной частью общего образования.

Свидетельством религиозного преклонения Флоренс перед статистикой может служить надпись, сделанная ею





ПОТЕРИ В ЖИВОЙ СИЛЕ, которые понесла английская армия вследствие чрезмерной смертности и инвалидности среди солдат. Эти диаграммы приведены в докладе Королевской комиссии. В обеих диаграммах принимается, что ежегодно армия пополняется 10 тыс. молодых солдат в возрасте 20 лет и что срок службы здорового солдата составляет 20 лет. Каждая клеточка на диаграмме соответствует 1000 человек. При существующих нездоровых условиях (*нижняя диаграмма*) смертность (*темное поле*) и инвалидность (*желтое поле*) сокращают максимальную численность 200-тысячной армии до 141 764 человек (*светлое поле*), что составляет 29% потерь. Если бы смертность была такой же низкой, как среди гражданских лиц, то при сохранении соотношения между смертностью и инвалидностью численность армии, как отмечается в отчете, была бы значительно выше и составляла 166 910 человек (*верхняя диаграмма*).

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

на экземпляре книги Кетле «Социальная физика». На титульном листе книги Флоренс заключила ее название в такую формулировку собственного кредо:

Чувство безграничного могущества,
Убежденность в полной надежности,
Неограниченные возможности улучшений обеспечивают принципы
СОЦИАЛЬНОЙ ФИЗИКИ,
если только уметь их применять
в тех случаях,
когда это так необходимо.

Для Флоренс Найтингейл Кетле был основателем «самой важной науки во всем мире», потому что «от нее зависит возможность практического применения достижений любой другой (науки)». Судя по их переписке, это уважение, по-видимому, было взаимным.

Хотя занятия статистикой имели для Флоренс особую важность в более поздний период ее жизни, когда она стала «влиятельным лицом», она, по ее собственному признанию, все время стремилась вернуться к уходу за больными, своей избранной профессии, своему первому «зову божьему». Однако она не могла сделать это, так как после возвращения из Крыма значительную часть своей жизни тяжело болела и фактически была прикована к постели.

Хотя слабое здоровье Флоренс можно объяснить и последствиями лихорадки, которой она заразилась в Крыму, некоторые считали, что у нее вообще не было никакого органического заболевания и что ее недомогание было чисто нервным или даже воображаемым. Во всяком случае, то, что она проводила все время в своей спальне, где и принимала бесконечный поток посетителей, нисколько не уменьшило роли ее деятельности и не помешало ей добиться для медицинских сестер современного профессионального статуса. Используя средства из Фонда Найтингейл (почти 50 тыс. фунтов стерлингов, собранных общественностью по подписке в честь «народной героини»), она смогла осуществить свою давнюю мечту, основав в 1860 г. Училище по подготовке медицинских сестер. Надежда самой возглавить училище не осуществилась, но в этом учебном заведении практически реализовались основные принципы его основательницы Флоренс Найтингейл: «1) профессиональная подготовка медсестер должна проводиться в больницах, специально созданных для этой цели; 2) медсестры должны жить в таких условиях, которые обеспечивали бы надлежащее моральное поведение и дисциплину».

Для своего времени оба этих принципа были весьма радикальными. То, что сегодня они воспринимаются как само собой разумеющееся, свидетельствует о большом вкладе Флоренс Найтингейл в дело подготовки медицинских сестер, что в неменьшей мере, чем любое научное достижение, способствовало общему повышению качества медицинского обслуживания. Второй ее страстью была статистика, поэтому еще одно свидетельство ее заслуг уместно привести из этой области: по переписи 1861 г. в Англии насчитывалось 27 618 медицинских сестер, причем эта цифра приводилась в таблицах о роде занятий в графе «Домашняя прислуга»; к 1901 г. число медицинских сестер возросло до 62 214 и в переписи оно указывалось в разделе «Медицина».

Издательство **МИР** *предлагает:*

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РИТМЫ

Под ред. Ю. АШОФФА
В 2-х томах
Перевод с английского

Содержание: Понятие о биологических ритмах. Математические модели биологических ритмов. Представления о циркадианных системах, понятие ритмоводителя, общие свойства ритмов. Ритмы поведения беспозвоночных. Нервная и гормональная регуляция, генетика и развитие циркадианных ритмов у беспозвоночных. Ритмы поведения у беспозвоночных. Нервная и гормональная регуляция, онтогенез циркадианных ритмов у позвоночных. Роль биологических ритмов в адаптивной стратегии поведения. Значение биологических часов для ориентации в пространстве. Циркадианные системы у человека. Исследование ритмов работоспособности. Приливные, лунные и годовые ритмы. Фотопериодизм у насекомых и позвоночных. Годовые ритмы у человека. Временные характеристики сна. Циклические функции яичников млекопитающих.

Книга предназначена для физиологов, нейрофизиологов, хронобиологов, врачей.

1984, 55 л. Цена 7 р. 20 к.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Неродившиеся близнецы

Частое ли явление многоплодная беременность? На этот вопрос ответить не так просто, как кажется на первый взгляд. Частота рождения близнецов (считается, что этот показатель охватывает все случаи множественного зачатия) различна у разных рас и в разных странах, она варьирует даже в пределах одной страны. В Японии на 1000 родов бывает в среднем 6,4 случая многоплодной беременности, а в Нигерии — 45 на 1000. В США, если судить по литературным данным, близнецы родятся в 1 случае на 90, но эта цифра не считается надежной. Прежде точно определить частоту множественного зачатия было трудно потому, что вплоть до недавнего времени, когда появился метод наблюдения плода с помощью ультразвука, не существовало способов выявить многоплодную беременность на ранней стадии и, значит, оставалось неизвестным, у скольких матерей могли бы родиться близнецы. Как показали результаты ультразвукового обследования беременных, это явление отнюдь не редкость, но далеко не все эмбрионы развиваются до конца и рождаются. Следовательно, имевшиеся данные о частоте многоплодной беременности были существенно занижены.

Результаты этого исследования приводятся в недавно опубликованной в журнале «Acta Geneticae, Medicae et Gemellologiae» статье Элен Лэнди (Медицинская школа Северо-Западного университета), Луиса Кейта и Дональда Кейта (Чикагский центр по изучению многоплодной беременности).

По мнению Лэнди и ее коллег, явление «исчезновения» будущих младенцев не так уж удивительно. Немало исследователей полагают, что беременность в большинстве случаев прерывается, не продлившись и 6 недель, т.е. еще прежде, чем обычно определяется выкидыш, и что это естественный путь элиминации ненормально развивающихся зародышей. При статистическом анализе случаев многоплодной беременности не принималось во внимание, что при гибели на ранней стадии в утробе матери одного из близнецов второй, родившись, будет зарегистрирован как отдельно рожденный.

Ультразвук (как правило, применяются частоты около 1 МГц) гораздо лучше подходит для «просвечивания» мягких тканей, чем рентгеновское излучение: при небольших дозах вероятность причинить вред матери или ребенку существенно меньше. С помощью ультразвука установить факт многоплодной беременности можно уже на 5-ю неделю, т.е. когда эмбрион не превышает 1 см в длину и у него еще не началось формирование скелета, для которого рентгеновские лучи особенно опасны. На экране ультразвукового аппарата плодный мешок (амнион) — предшественник плодного пузыря — виден как кольцеобразная структура. По данным Лэнди и др., в тех 9 случаях ультразвукового обследования, когда было зарегистрировано более одного зародыша, затем наблюдалось исчезновение таких колец.

По результатам одного из наиболее массовых исследований, в котором участвовали 8362 женщины (из них около половины прошли ультразвуковое «просвечивание» не позже 10-й недели беременности), у 159 была определена многоплодная беременность. Из тех женщин, у которых многоплодная беременность была достоверно установлена до 10-й недели, у 78% обнаружилось затем исчезновение «лишних» зародышей. Те же 89 женщин, у которых факт многоплодной беременности был зарегистрирован после 14-й недели, все до одной родили близнецов. Видимо, исчезновение зародышей происходит в период с 6-й по 12-ю неделю либо немного позже.

Некоторые исследователи сомневаются в том, что многоплодная беременность — столь частое явление, так как при рождении ребенка в плаценте и плодной оболочке редко обнаруживаются следы неродившегося близнеца. Вероятно, это как-то связано с физиологией самого процесса «исчезновения», механизм которого пока не ясен. Возможно, что амнион, содержащий либо уже зародыш, либо оплодотворенную яйцеклетку, которой не суждено развиться, поглощается тканями материнского организма; известно, что поглощение иногда случается при одноплодной беременности.

В первые три месяца беременности даже с помощью ультразвука многоплодность трудно установить с уверенностью: велика вероятность неправильно истолковать изображение и определить многоплодность, когда ее на самом деле нет. Так что, с одной стороны, легко завысить частоту исчезновения зародышей. С другой стороны, при анализе можно и не заметить лишний амнион, который становится видимым всего за одну-две недели до того, как он должен исчезнуть. Кроме того, не исключена и ситуация, когда врач, обнаружив один зародыш, просто не станет обследовать остальную часть матки. Лэнди и ее коллеги считают, что само явление исчезновения зародышей не вызывает сомнения, но делать какие бы то ни было количественные оценки пока рановато.

Иногда при элиминации зародыша имеет место слабое кровотечение из влагалища. Такое кровотечение на ранних стадиях беременности обычно считается признаком начавшегося выкидыша. Врач-акушер поспешит сделать выскабливание матки, чтобы удалить остатки зародышевых тканей и предотвратить воспаление. Ясно, что при этом можно «вместе с водой выплеснуть и ребенка». Чтобы избежать таких ошибок, необходимо всегда, прежде чем сделать аборт, проводить ультразвуковое «просвечивание».

Издательство
МИР
предлагает:

С. Шерр
ЭЛЕКТРОННЫЕ ДИСПЛЕИ
Перевод с английского

В предлагаемой монографии рассматриваются принципы работы, схемы, конструкции и характеристики дисплеев, проводится всесторонний анализ их преимуществ и недостатков, даются рекомендации о целесообразности использования дисплеев для решения тех или иных задач. К достоинствам книги можно отнести то, что в ней обобщен обширный фактический материал, опубликованный в многочисленных периодических изданиях и отчетах различных фирм. Это делает книгу весьма полезной в научном и прикладном плане.

Книга не претендует на исчерпывающее освещение всех рассматриваемых в ней вопросов. Автор стремился провести как можно более широкий сравнительный анализ существующих и перспективных дисплеев, а также систем и оборудования, в которых они используются, чтобы дать специалистам достоверную информацию о возможностях конкретных образцов и тем самым помочь при составлении технических заданий на новые разработки.

1982, 624 страницы
с иллюстрациями.
Цена 3 р.

ИЗДАТЕЛЬСТВО МИР

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Какими представляются рыбе рыболов и брошенная на поверхность воды наживка?

ДЖИРЛ УОЛКЕР

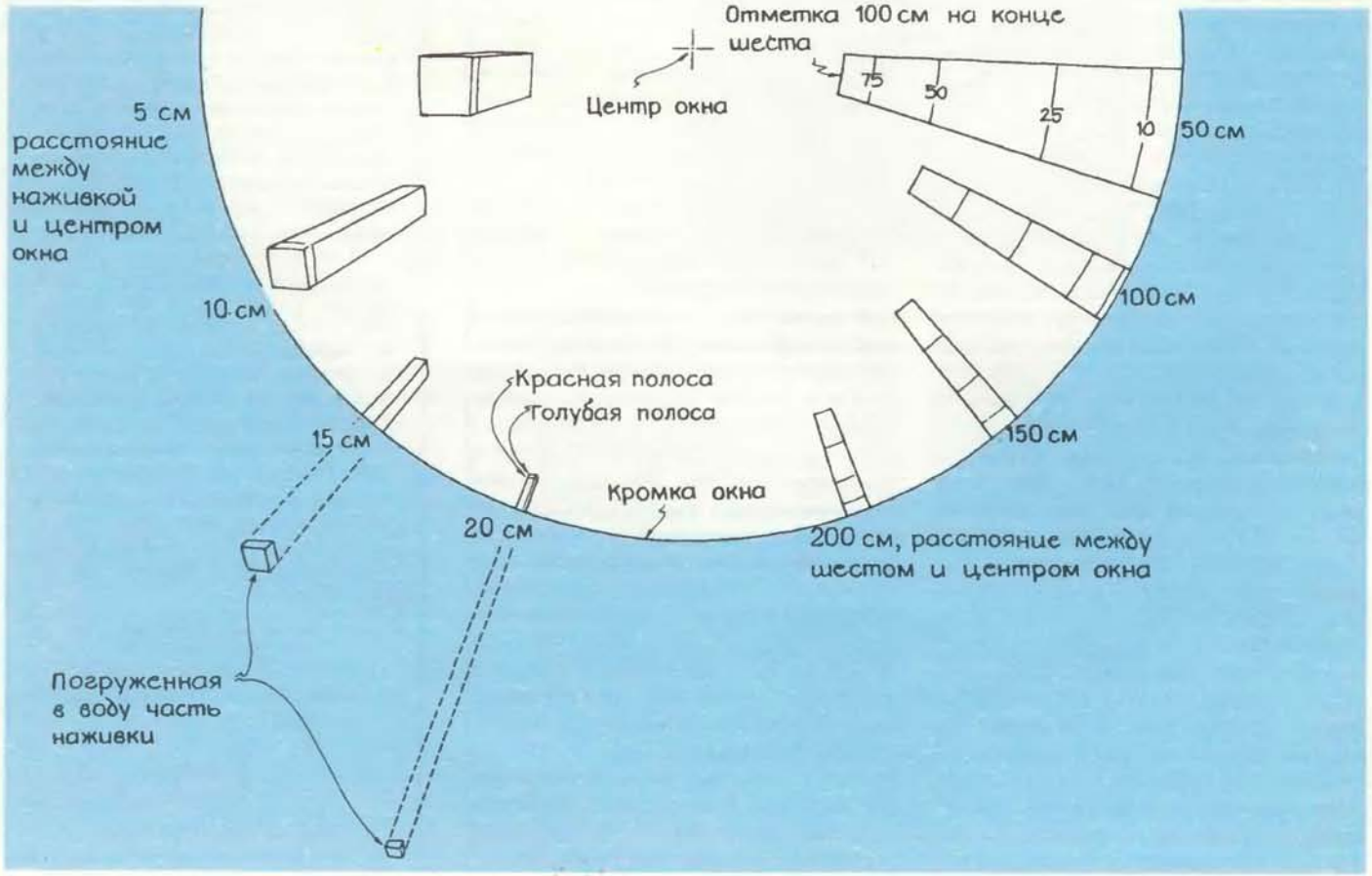
ПРИ ЛОВЛЕ методом «внахлест» рыболов, заметив рыбу, стремится удачней выбрать точку на поверхности воды, в которую следует бросить наживку. Считается, что лучше всего целиться в точку, расположенную непосредственно над тем местом, где находится рыба. Насколько же точно должна быть брошена наживка? Сможет ли рыба увидеть ее, если рыболов промахнется на несколько сантиметров? Чикагские патентоведы Роберт Хармон и Джон Клайн, разобравшись в оптических проблемах ловли рыбы «внахлест», пришли к выводу, что даже незначительный промах может в результате преломления световых лучей на поверхности воды привести к существенным искажениям той картины, которую в этот момент видит рыба.

В безвоздушном пространстве свет распространяется всегда с одной и той же скоростью — $3 \cdot 10^8$ м/сек. Однако в любой прозрачной среде скорость света снижается, так как световые волны взаимодействуют с молекулами среды. Каждый акт этого взаимодействия можно представить в виде кратковременного поглощения света.

Описывая суммарное запаздывание световых лучей при распространении в какой-либо среде, проще всего будет сказать, что в этой среде свет распространяется медленнее, чем в вакууме. О величине этого запаздывания можно судить по коэффициенту преломления данной среды. Реальная скорость распространения света в веществе будет равна скорости света в вакууме, поделенной на коэффициент преломления этого вещества. Коэффициент преломления воды приблизительно равен 1,331, в то время как для воздуха он лишь незначительно превосходит единицу. Таким образом, реальная скорость распространения света в воздухе почти совпадает со скоростью света в вакууме, в то время как в воде свет распространяется значительно медленнее.

Проходя через поверхность воды, световой луч (благодаря указанному различию в скоростях распространения) испытывает преломление, т.е. меняет свое направление. Наклон луча принято выражать через угол между этим лучом и перпендикуляром к пересекаемой лучом границе раздела. Пусть, к примеру, луч падает на водную поверхность под углом 42° к вертикали. Некоторая часть света будет отражена от поверхности под тем же самым углом, в то время как «остаток» светового луча проникнет в толщу воды под углом 30° к вертикали.

При падении света под другими углами получим другие углы преломления. Связь между углами падения и углами преломления выражается в виде закона, открытого в 1621 г. Виллебрордом Снеллем, и названного его именем. Согласно закону Снелля, синус угла преломления в воде равен синусу угла падения в воздухе, помноженному на некоторый коэффициент, представляющий собой отношение коэффициентов преломления в воздухе и воде. Угол преломления всегда меньше угла падения, за исключением того случая,



Вид через «окно» на поверхности воды

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NARODRU

когда свет падает строго вертикально — луч проникает в воду, не меняя своего направления.

Рассмотрим луч, идущий к рыбе от какого-либо объекта, расположенного невысоко над поверхностью воды. Если рыба, подобно человеку, способна связать положение объекта с точкой, испускающей световой луч, то по ее представлению наблюдаемый объект лежит где-то на пути этого луча. При этом увиденный рыбой объект будет казаться расположенным несколько выше над водой, чем это есть на самом деле. Ошибка в определении направления будет мала при малых углах падения светового луча и велика — при больших.

Сильнее всего преломляются лучи, близкие к горизонтали. Угол падения таких лучей лишь немного меньше 90°, а угол преломления приближается к 48,7° (точное значение этого угла зависит от коэффициента преломления воды в конкретном водоеме). Ни один луч из надводного пространства не может проникнуть в водную толщу, имея более пологий угол преломления. Таким образом, все световые лучи, приходящие к рыбе из воздушной среды, укладываются в пределах воображаемого конуса, вершина которого расположена в рыбьем зрачке, а образующие наклонены под углом 48,7° к вертикали.

Прилегающее к поверхности воды основание этого конуса Хармон и Клайн назвали «окном», сквозь которое рыба может рассматривать надводные предметы. Лучи, приходящие с горизонтальных направлений, касаются кромки этого окна, а затем уходят вглубь по одной из образующих конуса. Размеры окна определяются тем, насколько глубоко находится рыба: если на глубине 10 см, то радиус окна составит 11,3 см. С глубиной размер окна увеличивается, однако угловая ширина конуса остается неизменной, поскольку задается лишь одним параметром — углом преломления лучей, достигающих воды с горизонтальных направлений.

Перед рыбой предстает странная картина надводного мира: находящиеся над водой объекты как бы поразному растянуты в двух перпендикулярных направлениях. Благодаря преломлению лучей предметы кажутся искаженными и смещенными в пространстве. Возможно, рыба способна расшифровать эту искаженную картину, представив наблюдаемые в окне предметы расположенными на некотором расстоянии от водной поверхности. Может быть, напротив, рыба видит все эти объекты плавающими на поверхности воды. Как все-таки она воспринимает облик рыболова?

Для ответа на этот вопрос я использовал свой домашний компьютер, рассчитав с его помощью, как будут выглядеть в результате преломления световых лучей четыре вертикальных шеста, расположенных на разных расстояниях от рыбы-наблюдателя. В исходных параметрах программы для этого компьютера было задано следующее: каждый шест возвышается над водой на 1 м и уходит на 20 см под воду — эти пропорции примерно соответствуют рыболову, стоящему на мелководье. Воображаемую рыбу я расположил на глубине 10 см ниже поверхности воды, что вполне обычно для рыбы во время кормежки.

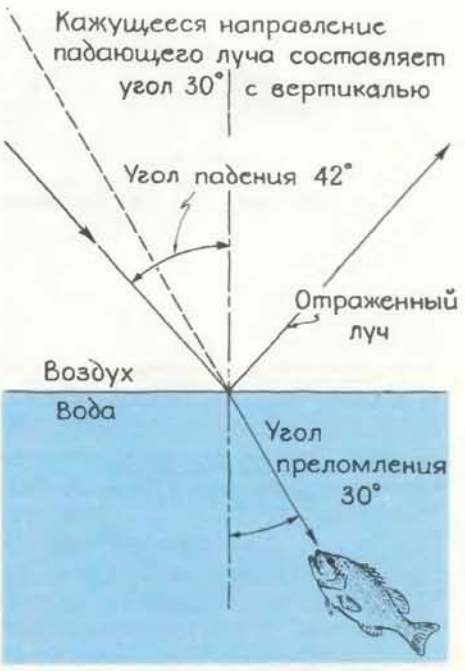
Первым делом я рассчитал изображение шеста, удаленного от рыбы на два метра по горизонтали. Лучи от погруженной части шеста доходят до рыбы без преломления и воспринимаются (если рыба может видеть столь далеко) в направлениях, соответствующих действительности. Луч из точки, где шест пересекает поверхность воды, доходит до кромки окна и идет вдоль образующей воображаемого конуса — телесного угла, в который укладываются все лучи, приходящие к рыбе из надводного пространства. Рыба, должно быть, видит, что источник этого луча расположен где-то на линии, составляющей с вертикалью тот же угол. В этом случае участок шеста чуть выше уровня воды кажется наклоненным под углом 48,7° к вертикали.

Луч, исходящий от вершины шеста, пройдет несколько ближе к центру окна. Для него угол преломления составит около 42°. Если рыба способна «экстраполировать» этот луч в том же направлении и над поверхностью воды, она воспримет его источник расположенным на линии, наклоненной под углом 42° к вертикали. Итак, если рыба может воспринимать глубину окружающего пространства, она увидит шест подвешенным в воздухе и занимающим часть поля зрения между 42 и 48,7° к вертикали.

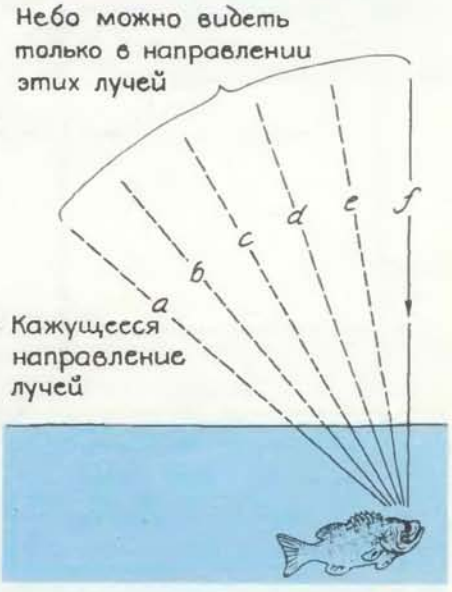
Эта картина воспроизведена на нижнем рисунке на с. 92. Изображение шеста укладывается между указанными углами. Чтобы оставить на рисунке место для других элементов, изображение отодвинуто от окна на расстояние, примерно соответствующее истинному расположению шеста.

Не следует понимать этот рисунок буквально. Я не уверен, что рыба способна экстраполировать ход световых лучей. Разумеется, она также не способна осознать, что увиденный ею искривленный объект представляет собой жесткий вертикально установленный шест, ведь даже у человека способность осознавать пространственные формы объектов во многом определяется опытом.

С помощью компьютера я рассчитал в угловых координатах изображения и для трех других шестов. Во всех четы-



Преломление световых лучей на поверхности воды



Истинные и кажущиеся направления лучей

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Геометрия окна на поверхности воды

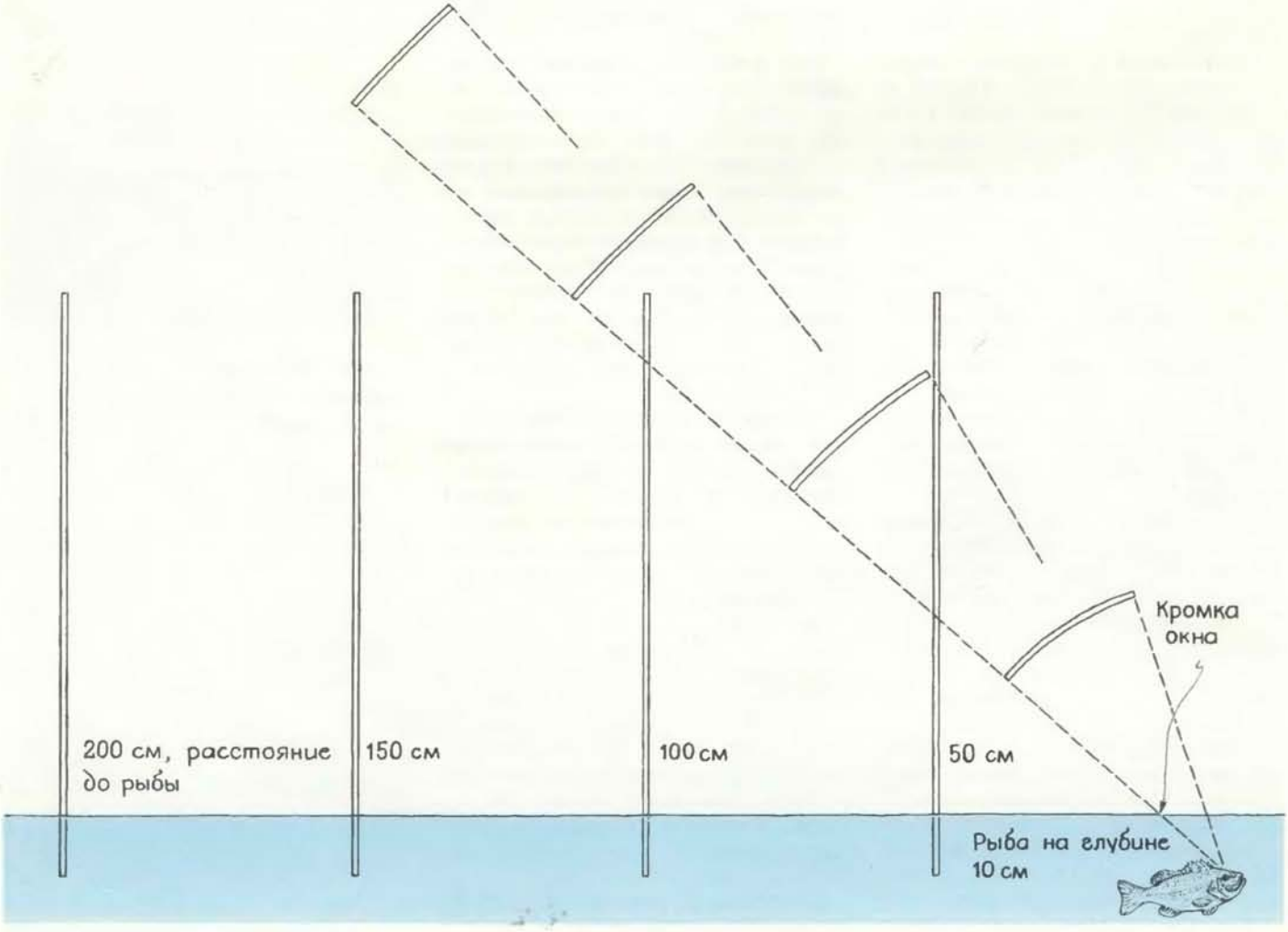
рех случаях рыба наблюдает два изображения каждого шеста. Часть, расположенная над поверхностью, видима только через окно. Погруженная часть шеста воспринимается на своем истинном месте и кажется оторванной от изображения верхней части. По мере перестановки шеста ближе к окну изображения верхней и нижней частей сближаются, сливаясь наконец в единое целое, когда шест оказывается у кромки окна.

На рисунке на с. 90 показано плоское, двумерное изображение шестов, как они выглядят в результате преломления световых лучей в окне. Рыба, не обладающая стереоскопическим зрением или каким-либо пониманием наблюдаемой картины, в своем поведении исходит скорее всего именно из таких плоских изображений окружающего мира. Для того чтобы изображения шестов не накладывались друг на друга, я разместил их по кругу, в центре которого находится рыба. Размеры и удаленность шестов от рыбы остаются теми же, что и прежде. Погруженные в воду части шестов представляются отстоящими слишком далеко от надводных участков и поэтому не изображены на рисунке. Метки на шестах соответствуют высоте над уровнем воды.

На этом рисунке основания надводной части шестов приходятся на самую кромку окна, в то время как их вершины оказываются на радиусах, проведенных к основаниям, и расположены ближе к центру. Шест, отстоящий от рыбы на два метра, оказывается сжатым в очень маленький участок поля зрения. Низ надводной части сжат сильнее, чем верхушка шеста, так как близкие к горизонтали лучи испытывают большее преломление. Изображение шеста занимает отрезок менее 2,5 см вдоль радиуса окна. Поскольку на кромке окна могут отобразиться многие объекты со всей поверхности водоема, изображение шеста может потеряться среди случайных помех.

Изображение сжимается существенно меньше, если шест расположен в полутора или в одном метре от рыбы. Ближе к центру окна это изображение заметно сужается. Шест, удаленный от рыбы всего на 50 см, дает еще более искаженное и сужающееся изображение. Зато полное изображение надводной части шеста занимает теперь около 70% радиуса окна и для рыбы должно быть хорошо заметно.

Шест, использованный в математическом эксперименте, можно считать равноценным заменителем низкорослого рыболова. Такой рыболов, находясь в двух метрах (или еще дальше) от рыбы, воспринимается как миниатюрная фигурка, занимающая ничтожную часть поля зрения и вряд ли различимая среди помех у кромки окна. Когда рыболов подходит ближе, он занимает



Какими представляются рыбе стоящие в воде шесты

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

бóльшую часть поля зрения, а его изображение в окне становится крупнее. Заметнее для рыбы становится и та часть рыболова, которая находится под водой.

В какой-то момент движение одной из двух частей наблюдаемой картины предостерегает рыбу о возможной опасности. Движение рыболова над водой проявляется в том, что его изображение зарождается у кромки окна и растет по направлению к центру. Возможно, рыба считает опасным такой момент, когда изображение рыбака готово протянуться от кромки окна до его центра.

Те же самые оптические соображения применимы и к случаю, когда мы рассматриваем наживку, заброшенную неподалеку от рыбы. Некоторые возможные ситуации изображены в левой части рисунка на с. 90. Для удобства я изобразил наживку в виде узкого прямоугольника, возвышающегося на 2,5 см над поверхностью воды и углубленного в нее на 0,2 см. (Взятая для расчетов высота примерно соответствует размерам настоящей наживки четвертого номера. Ширина наживки в горизонтальном направлении для нас не имеет значения.) Хотя наживка прямоугольной формы вряд ли покажется рыбе аппетитной, она вполне подойдет для демонстрации искажений формы, связанных с преломлением.

Чтобы представить себе, как выглядит в окне такая наживка, я снова воспользовался компьютером. Если наживка расположена в пяти сантиметрах от центра окна, изображение надводной части занимает всего лишь 1,3 см вдоль радиуса окна. Подводная часть наживки также представляется сжатой и сливается с изображением надводной части.

По мере приближения наживки к кромке окна ее изображение растягивается. Так, если наживка удалена от центра на 10 см, изображение ее надводной части занимает уже три сантиметра вдоль радиуса окна. Эта величина превосходит даже истинную высоту наживки. Изображение нижней части все еще не отделено от изображения верхней и также слегка растянуто. В результате наживка должна быть более заметной для рыбы.

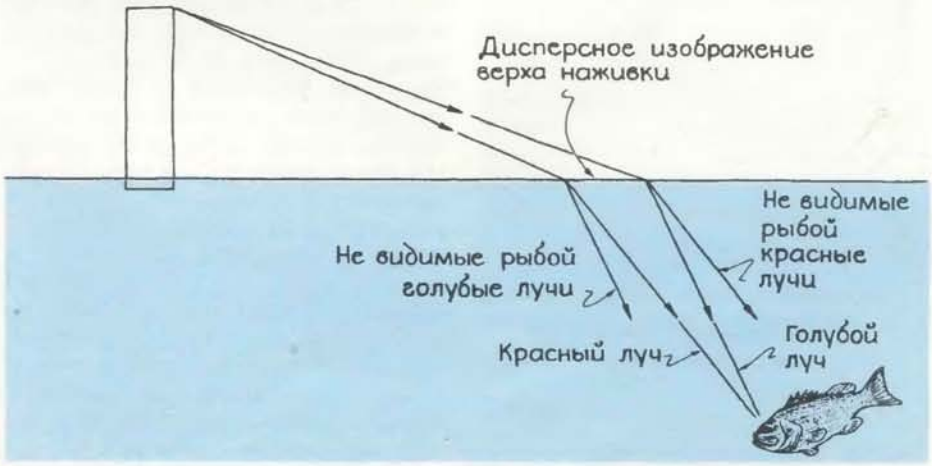
Когда наживка выходит за пределы окна, изображение ее надводной части начинает сжиматься, а подводной — отделяться. На рисунке можно видеть случай, когда наживка находится в 15 см от центра окна. Верхние точки подводной части наживки представляются на расстоянии, соответствующем истинному, но нижние точки надводной части теперь удерживаются на кромке окна. Верхушка наживки, в самом деле отстоящая от поверхности воды на 2,5 см, на изображении удалена всего лишь на 1,9 см от кромки окна. Теперь рыбе не так уж просто рассмотреть наживку.

Если наживку отодвинуть на расстояние 20 см от центра окна, кажущееся сокращение ее надводной части будет еще более заметным. Нижние точки надводной части все так же будут проецироваться на кромку окна, но изображение вершины будет теперь отстоять от кромки всего на 0,8 см. В результате этого сжатия надводной картины рыба сможет увидеть крайне искаженное изображение наживки. Более того, изображение надводной части наживки может потеряться среди помех на кромке окна. Опознать наживку теперь становится намного труднее. Изображение подводной части наживки вдобавок существенно удалено от изображения верхней части. Даже если оба изображения все еще доступны восприятию, рыба скорее всего воспримет их как два отдельных, притом маленьких, объекта.

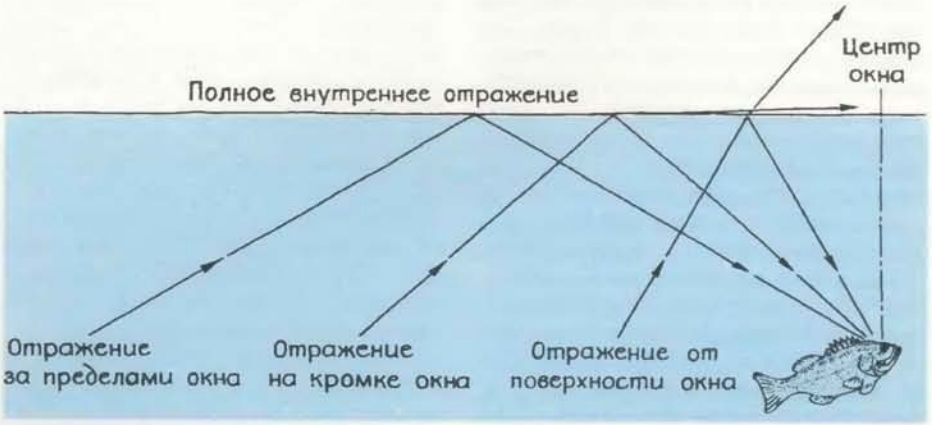
Хармон и Клайн рекомендуют во время ловли, когда видна сама рыба, подбрасывать наживку к ней как можно ближе. Если наживка упадет в пределах окна, рыба сможет распознать ее форму. По крайней мере верхнюю, нижнюю и подводную части наживки она будет воспринимать как единое целое. Если наживка окажется в пределах окна, неподалеку от его кромки, изображение ее надводной части будет увеличенным, т.е. оно растянется вдоль радиуса окна на расстояние большее, чем истинная величина наживки.

Если, забрасывая наживку, вы промахнулись на несколько сантиметров, она может упасть и за пределами окна. Изображение верхней части наживки будет оторвано от изображения подводной части, поэтому в таком виде она менее привлекательна для рыбы, к тому же сжатие изображения надводной части может сделать его столь маленьким, что оно затеряется в помехах на кромке окна.

Эта проблема становится особенно сложной, если рыболов оказывается по ту же сторону от рыбы, что и наживка, — тогда его изображение на краю окна послужит существенной добавкой к фону помех. В этом случае рыбу может привлечь только изображение подводной части наживки, которое будет восприниматься без всяких искажений. Хармон и Клайн полагают, что подводную часть наживки лучше окраши-



Дисперсия световых лучей



Отражения от водной поверхности снизу

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Обман зрения при восприятии глубины

Истинное и кажущееся расположение рыбы

вать в яркие тона.

До сих пор я пользовался предположением, что показатель преломления воды имеет одно и то же значение. На самом деле он оказывается различным для разных длин световой волны. Для красной части спектра, ограничивающей диапазон видимых электромагнитных колебаний со стороны длинных волн, показатель преломления в воде составляет примерно 1,331. Для голубого света, расположенного в коротковолновом конце спектра, этот показатель приблизительно равен 1,343. Пусть луч белого света, состоящий из лучей всех цветов радуги, проходит через границу между воздухом и водой. Цветные лучи благодаря преломлению окажутся развернутыми по некоторому диапазону углов. Наименьшему углу преломления будет соответствовать голубой луч, наибольшему — красный, а цвета, соответствующие промежуточным длинам волн, уложатся между голубой и красной границами. Такое разделение цветов называется дисперсией.

Хармон и Клайн утверждают, что при создании изображения, которое рыба видит в своем окне, дисперсия играет незначительную роль. Для того чтобы самому исследовать влияние дисперсии, я рассмотрел лучи белого света, исходящие из вершины моей воображаемой прямоугольной наживки. Один из лучей, преломляясь где-то на поверхности воды, посылает к рыбе-наблюдателю свою красную составляющую, другой, чтобы дойти до рыбы в голубом цвете, преломляется на поверхности воды несколько ближе к центру. На том участке, где сквозь окно проходят рассмотренные нами лучи, рыба может видеть радужную кайму, огибающую изображение наживки. Хотя голубая полоса будет несколько ближе к центру окна, дисперсия в изображении попавшей на поверхность окна наживки будет незначительна. Впрочем, даже если наживка окажется далеко за пределами окна, радужная полоса вокруг изображения будет не шире миллиметра.

То, что рыба видит на водной поверхности за пределами окна, состоит в основном из отражений рассеянного дном света. Хотя преломление световых лучей, выходящих из воды в воздух, всегда должно подчиняться закону Снелля, для некоторой части лучей такое преломление вообще невозможно. Преломится луч или нет, зависит от угла его падения. Если этот угол меньше 48,7°, часть света преломляется и уходит в воздух, а остальной световой поток отражается вниз. Согласно закону Снелля, угол преломления (теперь уже для луча, выходящего в воздух) должен быть больше угла падения. С другой стороны, предельная величина угла преломления составляет 90° — в этом случае преломленный луч скользит вдоль поверхности воды.

Если угол падения окажется больше 48,7°, преломления не будет и весь луч отразится обратно. Такой случай называется полным внутренним отражением, так как свет теперь уже не может покинуть водную среду. Весь свет, отражающийся в сторону рыбы от нижней поверхности окна, должен состоять из лучей с углом падения в пределах 48,7°. Часть этого света преломляется и уходит в воздух. Лучи, отражающиеся непосредственно от кромки окна, имеют угол падения 48,7°, и часть их светового потока уходит в горизонтальном направлении вдоль поверхности воды. Весь свет, отражающийся от остальной водной поверхности, должен состоять из лучей с углами падения, превышающими 48,7°. Все эти лучи испытывают полное внутреннее отражение. Картина отражений от внутренней поверхности окна скорее всего теряется на фоне дневного неба, но отражения от остальной водной глади могут быть достаточно яркими, создавая зеркальное изображение дна.

Обсуждавшиеся здесь оптические явления имеют место и в тех случаях, когда рыба смотрит сквозь прозрачные стенки аквариума. Окно в этом случае будет расположено в вертикальной плоскости. Предметы за стенками аквариума в результате преломления обретут необычный облик. Так, объект, имеющий на самом деле квадратную форму, будет напоминать подушку.

Если человек, нырнув, откроет глаза, он не увидит всех перечисленных оптических искажений, так как его глаза приспособлены к воздушной среде. Около двух третей преломления, необходимого, чтобы нормально сфокусировать изображение на сетчатке, происходят на поверхности глазного яблока. Поскольку показатель преломления глазных тканей почти такой же, как и у воды, в водной среде глаз не может эффективно справляться со своими задачами. Теперь ему не под силу фокусироваться на объектах, появляющихся в окне. Надев маску ныряльщика, можно восстановить фокусирующую способность глаза — в этом случае он снова будет окружен привычной воздушной средой. Можно ли, пользуясь маской, увидеть на поверхности воды окно? Если стекло маски будет расположено горизонтально, такая попытка обречена на неудачу. Благодаря вторичному преломлению при переходе из воды снова в воздушную среду внутри маски световые лучи будут ориентированы точно так же, как и над поверхностью водоема. Исчезнет конус, ограничивающий диапазон углов восприятия надводных лучей, а вместе с ним исчезнет и само окно. Впрочем, у вас остается возможность исследовать оптические явления при других углах наклона маски.

В заключение можно бегло обсудить еще одну задачу на преломление, с которой часто сталкиваются рыболовы. Как определить истинное положение увиденной нами рыбы? Этот вопрос представляет особый интерес для тех, кто рыбачит с помощью лука и стрел. Можно ли целиться непосредственно туда, где мы видим рыбу? Нет, если только рыба не прижимается к самой поверхности, целиться следует существенно ниже. Идущие от рыбы лучи преломляются у водной поверхности в соответствии с законом Снелля и приходят к наблюдателю под значительно бóльшим углом по отношению к вертикали. Восприняв эти лучи, вы оцениваете расположение источника, машинально экстраполируя их вдоль прямой линии и полагая, что рыба должна находиться именно в этом направлении.

Подобные задачи, связанные с пре-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

ломлением лучей, идущих от погруженных в воду предметов, рассматривал и Лоуренс Е. Кинслер. Он отметил, что мы склонны неправильно оценивать глубину погружения объекта даже в том случае, когда смотрим на него непосредственно сверху. Расстояние до объекта в основном оценивается по углу схождения оптических осей наших глаз (в однородной среде эти оси пересекаются в той точке, где расположен рассматриваемый объект). На пути от расположенного под водой предмета к нашим глазам лучи испытывают преломление, поэтому точка пересечения оказывается значительно выше наблюдаемого объекта, что и создает обманчивое впечатление, будто этот объект находится не так глубоко, как на самом деле.

Наблюдения в других направлениях также не свободны от ошибок при оценке глубины. Полученные Кинслером результаты показаны на нижнем рисунке слева. Свет, идущий от рыбы к наблюдателю, изображен в виде одного луча. На самом деле в правый и левый глаза лучи приходят с несколько различающихся направлений. Наблюдатель полагает, что рыба находится на линии, продолжающей направление достигшего глаз луча. На рисунке экстраполяция показана на примере одного луча. Угол схождения между двумя лучами, попадающими в правый и левый глаза, помогает определить расстояние до рыбы. Согласно Кинслеру, наблюдатель будет видеть рыбу несколько выше, на прямой вертикальной линии, восстановленной из того места, где она находится в самом деле.

Таковы ошибки нашего зрения, когда мы видим рыбу в обычной для рыболова ситуации. Предположим теперь, что наблюдатель лежит на краю пирса и смотрит вниз, повернув голову так, чтобы глаза были расположены в вертикальной плоскости. Как и в предыдущем случае, расстояние до увиденной им рыбы будет оцениваться по воображаемому пересечению лучей, достигших его глаз. На этот раз наблюдателю покажется, что лучи исходят из точки, расположенной ближе к нему и выше истинного положения рыбы.

Убедиться в обманчивости нашего зрительного восприятия можно на одном очень простом опыте. Наполните ванну водой и посмотрите на монету, лежащую на дне. Если вы будете смотреть обычным способом откуда-нибудь сбоку, кажущаяся глубина расположения монеты будет с очевидностью противоречить хорошо заметной снаружи глубине ванны. Если же вы повернете голову так, что глаза окажутся в вертикальной плоскости, вам покажется, будто монета сдвинулась и теперь лежит выше и ближе к вам.

Обратимое поле

ПО СВОИМ магнитным свойствам Земля представляет собой диполь, т.е. подобна полосовому магниту, имеющему северный и южный полюса. На протяжении геологической истории этот диполь как бы переворачивался: его полюса неоднократно менялись местами. Переходный процесс длится недолго, в геологическом масштабе времени его можно считать мгновенным. Зато периоды, в течение которых полярность диполя остается неизменной, имеют существенно различную продолжительность — от 10 тыс. до 10 млн. лет и более. В чередовании этих периодов не наблюдается явной закономерности. Предполагалось, что обращения магнитного поля происходят случайным образом. Во всяком случае, в событиях истории Земли не находилось ничего, с чем они могли бы быть связаны. Новые исследования Дж. Неги и Р. Тивари из Национального геофизического исследовательского института в Индии показывают, что обращения магнитного поля Земли связаны с периодическими гравитационными возмущениями в Галактике.

Результаты этих исследований опубликованы в журнале «Geophysical Research Letters». Неги и Тивари указывают на то, что метод, применяемый для статистического анализа обращений магнитного поля (а именно анализ Фурье), предназначен, вообще говоря, для изучения синусоидальных сигналов. Последовательность же обращений магнитного поля Земли напоминает скорее ряд «двоичных телеграфных сигналов»: положительных и отрицательных импульсов постоянной амплитуды, смена которых осуществляется мгновенно. Для анализа таких сигналов больше подходит другой метод. Как и анализ Фурье, он позволяет разложить сигнал в спектр, иначе говоря, представить его в виде суммы элементарных колебаний. Но в отличие от анализа Фурье в этом методе в качестве элементарных составляющих используются не гармоники, а прямоугольные функции (их график напоминает верхнюю часть зубчатой крепостной стены). Аналогом частоты является параметр, равный половине среднего числа скачков от положительного импульса к отрицательному (или наоборот) в единицу времени.

Неги и Тивари применили упомянутый метод к анализу обращений магнитного поля Земли, которые имели место за последние 570 млн. лет. Сами обращения могут быть выявлены благодаря тому, что ориентация магнитного поля Земли в прошлые периоды истории оказывалась запечатленной в вулканических породах, которые поднимались на поверхность Земли и затвердевали, сохраняя «замороженной» свою намагниченность. Спектр последовательности обращений магнитного поля Земли имеет пять хорошо выраженных пиков, свидетельствующих о том, что эти обращения происходят с интервалами 285, 114, 64, 47 и 34 млн. лет. Первое число, отвечающее наибольшему пику, близко к периоду вращения Солнечной системы вокруг центра Галактики. (Продолжительность такого «космического года» около 280 млн. лет.) Второе, третье и пятое числа близки к интервалам времени, через которые Солнечная система встречается с волнообразными неоднородностями плотности вещества в плоскости Галактики. Предполагают, что такие неоднородности связаны с процессами образования звезд в спиральных рукавах Галактики. Четвертое число достаточно хорошо соответствует периоду осцилляций Солнца перпендикулярно плоскости его галактической орбиты.

Как же могут гравитационные возмущения, которые испытывает Солнечная система при движении по орбите вокруг центра Галактики, вызывать обращение магнитного поля Земли? Дать объяснение механизма этого явления «на данной стадии исследований невозможно». Пока что Неги и Тивари отмечают, что смещение орбиты Солнца «вверх-вниз» относительно плоскости Галактики происходит с периодом 85 млн. лет. Исследователи полагают, что более детальные геологические данные помогут обнаружить еще одну корреляционную связь.

Отклики

ИССЛЕДОВАНИЯ атмосферы, проведенные в последние годы, показывают, что если бы было взорвано даже менее трети существующего арсенала атомных бомб, то выброшенные в атмосферу пыль и дым вызвали бы катастрофическую «ядерную зиму» на всей планете. Такой вывод можно сделать и на основании некоторых явлений, имевших место в прошлом и схожих по своему воздействию на земную атмосферу. Год назад исполнилось 100 лет с тех пор, как произошло извержение вулкана Кракатау, последствия которого наблюдались в атмосфере во всех точках земного шара. А в 1982 г. повсеместное влияние на состояние атмосферы оказало извержение вулкана Эль-Чичона в Мексике.

В декабре прошлого года по инициативе сенаторов Эдварда М. Кеннеди (демократическая партия, шт. Масса-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

чусетс) и Марка О. Хатфилда (республиканская партия, шт. Орегон) в зале заседания сената был проведен научный форум о возможных последствиях ядерной войны. Среди выступивших на форуме был советский ученый С. Капица. Он напомнил об извержении вулкана Тамбора в Индонезии, которое произошло в 1815 г. и оказало, как свидетельствуют исторические данные, самое сильное влияние на состояние атмосферы. Несмотря на то что событие это случилось в Южном полушарии, в июне следующего года в Новой Англии* выпал снег, и толщина снежного покрова составила 15 см, а в Европе лето оказалось самым холодным за всю историю. Кроме того, в мире повсеместно были неурожаи [см. статью «The Year without a Summer», Henry and Elizabeth Stommel (Х. и Э. Стоммел, «Год, когда не было лета») в журнале «Scientific American», июнь 1979, а также журнал «Наука и жизнь», №5, 1980].

«Утраченное» лето 1816 г., как представляется, вызвало у многих людей угнетенность и состояние необъяснимой смутной тревоги. С. Капица процитировал стихотворение Байрона «Тьма», написанное в июне 1816 г.** Он отметил, что это произведение хорошо известно русскому читателю в первую очередь благодаря переводу И. Тургенева. Приведем в его переводе все стихотворение:

Я видел сон... Не все в нем было сном.
Погасло солнце светлое, и звезды
Скитались без цели, без лучей
В пространстве вечном; льдистая земля
Носилась слепо в воздухе безлунном.
Час утра наставал и проходил,
Но дня не приводил он за собою...
И люди — в ужасе беды великой
Забыли страсти прежние... Сердца
В одну себялюбивую молитву
О свете робко сжались — и застыли.
Перед огнями жил народ; престолы,
Дворцы царей венчанных, шалаши,
Жилища всех имеющих жилища —
В костры слагались...города горели...
И люди собиралися толпами
Вокруг домов пылающих — затем,
Чтобы хоть раз взглянуть в глаза друг другу.
Счастливы были жители тех стран,
Где факелы вулканов пламенели...
Весь мир одной надеждой робкой жил...
Зажгли леса; но с каждым часом гас
И падал обгорелый лес; деревья
Внезапно с грозным треском обрушались...
И лица — при неровном трепетанье
Последних замирающих огней
Казались неземными... Кто лежал,
Закрыв глаза, да плакал; кто сидел,
Руками подпираясь, улыбался;
Другие хлопотливо суетились
Вокруг костров — и в ужасе безумном
Глядели смутно на глухое небо,
Земли погибшей саван... а потом
С проклятьями бросались в прах и выли,
Зубами скрежетали. Птицы с криком
Носились низко над землей, махали
Ненужными крылами... Даже звери
Сбегались робкими стадами... Змеи
Ползли, вились среди толпы, шипели.
Безвредные... Их убивали люди
На пищу... Снова вспыхнула война,
Погасшая на время... Кровью куплен
Кусок был каждый; всякий в стороне
Сидел угрюмо, насыщаясь в мраке.
Любви не стало; вся земля полна
Была одной лишь мыслью: смерти — смерти
Бесславной, неизбежной... Страшный голод
Терзал людей... И быстро гибли люди...
Но не было могилы ни костям,
Ни телу... Пожирал скелет скелета...
И даже псы хозяев раздирали.
Один лишь пес остался трупу верен,
Зверей, людей голодных отгонял —
Пока другие трупы привлекали
Их зубы жадные... Но пищи сам
Не принимал; с унылым долгим стоном
И быстрым, грустным криком все лизал
Он руку, безответную на ласку,
И умер наконец... Так постепенно
Всех голод истребил; лишь двое граждан
Столицы пышной — некогда врагов —
В живых осталось... Встретились они
У гаснущих остатков алтаря,
Где много было собрано вещей
Святых.....
Холодными костлявыми руками,
Дрожа, вскопали золу... Огонек
Под слабым их дыханьем вспыхнул слабо,
Как бы в насмешку им; когда же стало
Светлее, оба подняли глаза,
Взглянули, вскрикнули и тут же вместе
От ужаса взаимного внезапно
Упали мертвыми.....
.....
.....И мир был пуст;
Тот многолюдный мир, могучий мир
Был мертвой массой, без травы, деревьев
Без жизни, времени, людей, движенья...
То хаос смерти был. Озера, реки
И море — все затихло. Ничего
Не шевелилось в бездне молчаливой.
Безлюдные лежали корабли
И гнили на недвижной, сонной влаге...
Без шуму, по частям валились мачты
И, падая, волны не возмущали...
Моря давно не ведали приливов...
Погибла их владычица — луна;
Завяли ветры в воздухе немом...
Исчезли тучи... Тьме не нужно было
Их помощи... она была повсюду...

* Северо-восточная часть США, включающая штаты Мэн, Нью-Гэмпшир, Вермонт, Массачусетс, Коннектикут, Род-Айленд. — *Прим. перев.*

** В то же холодное мрачное лето на вилле Деодати в Швейцарии, где жили друзья Байрона, возникло еще одно широкоизвестное произведение — «Франкенштен, или Современный Прометей», написанное Мэри Шелли и названное по имени главного героя, сотворившего чудовищную модель человека. Независимо от воли Франкенштейна чудовище вступает в жизнь и жестоко мстит своему создателю. — *Прим. перев.*

Издательство МИР предлагает:

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.

1984 г., 29 л.
Цена 4 р. 65 к.

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.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Занимательный компьютер

Клеточный автомат создает модель мира и мир вокруг себя

БРАЙАН ХЭЙЕС

Удивительно, что молекулы воды «знают», как создавать сложные симметричные снежинки. Никакой «архитектор» не руководит строительством, и молекулы не несут информации об этой кристаллической структуре. Весь узор возникает в результате ближних взаимодействий множества одинаковых частиц. Каждая молекула реагирует только на воздействие ближайших соседей, но расположение в определенном порядке сохраняется во всей структуре, состоящей примерно из 10^{20} молекул.

Чтобы лучше понять этот процесс, представим себе, что каждое место, где молекула может быть помещена (так называемый центр), управляется с помощью элементарного компьютера. По мере роста кристалла компьютер наблюдает за соседними центрами и, находя их, определяет по некоторому установленному правилу, должно ли быть занято его собственное место, или оно должно пустовать. Подобные вычисления проводятся для всех центров по одному и тому же правилу.

Вычислительная модель роста снежинки является клеточным, или ячеистым, автоматом — однородной схемой многих идентичных клеток, или ячеек, причем каждая клетка имеет несколько возможных состояний и взаимодействует лишь с несколькими соседними клетками. Компоненты системы — клетки, или ячейки, и правило вычисления следующего состояния клетки может быть простым, но тем не менее вызывает весьма сложную эволюцию.

Идея автомата с клеточной структурой почти так же стара, как и идея электронно-вычислительной машины. Первые исследования были проведены в начале 50-х годов Дж. фон Нейманом (следует учесть важный вклад в эти разработки С. Улама). Первоначальная цель фон Неймана состояла в создании простой системы, способной воспроизводить саму себя подобно живому организму. Наиболее известный клеточный автомат — игра «Жизнь», придуманная в 1970 г. Дж. Конвеем, как ясно из названия, также имеет биологический аспект: клетки рождаются, живут или умирают в зависимости от локальной плотности популяции.

В более поздних работах, посвященных клеточным автоматам, исследования приняли несколько другое направление. Конфигурации локально взаимодействующих клеток рассматриваются как потенциально важные модели физических систем — от снежинок до ферромагнетиков и Галактики. Они применимы также к вопросам кибернетики и вычислительной математики, как практическим (как следует организовать сеть взаимодействующих ЭВМ?), так и теоретическим (каков самый крайний предел мощности вычислительной машины?). Возможно, наиболее интригующим является тот факт, что клеточный автомат может рассматриваться как «числовая вселенная», которая сама по себе достойна исследования, даже если отвлечься от ее полезности как модели реального мира.

Возрождение интереса к клеточным автоматам было отмечено созданием рабочей группы по данной теме год назад в Лос-Аламосской национальной лаборатории. Был опубликован сборник работ (около 20 статей) в журнале «Physica D» и отдельным выпуском в издательстве «North-Holland». Почти все, что содержится в этом сборнике, основано на работах, обсуждавшихся на специальном симпозиуме в Лос-Аламосе.

Для характеристики клеточного автомата полезно выделить четыре его аспекта. Во-первых, расположение клеток образует некоторую геометрическую фигуру. Для модели роста снежинок достаточна двумерная шестиугольная схема, но в большинстве других случаев выбирается прямоугольная решетка, состоящая из квадратов. Легко можно построить трехмерную (и даже с бóльшим числом измерений) схему, но гораздо труднее ее себе представить. Недавно поразительные открытия были сделаны с простейшей одномерной схемой: простой цепочкой клеток.

Далее, при заданной схеме необходимо определить ту окрестность, которую данная клетка изучает при вычислении своего следующего состояния. В случае двумерных прямоугольных схем особое внимание уделяется окрестностям двух видов. Фон Нейман рассматривал четыре ближайших соседа каждой клетки: на севере, юге, востоке и западе; это множество клеток теперь называют окрестностью фон Неймана. Окрестность, включающую эти четыре соседние клетки и четыре клетки, прилегающие к исходной по диагоналям, называют окрестностью Мура (в честь Э. Мура). Ясно, что окрестности пересекаются и данная клетка входит сразу в несколько окрестностей. В некоторых случаях считают, что центральная клетка — та клетка, которая производит вычисления, — сама входит в свою окрестность.

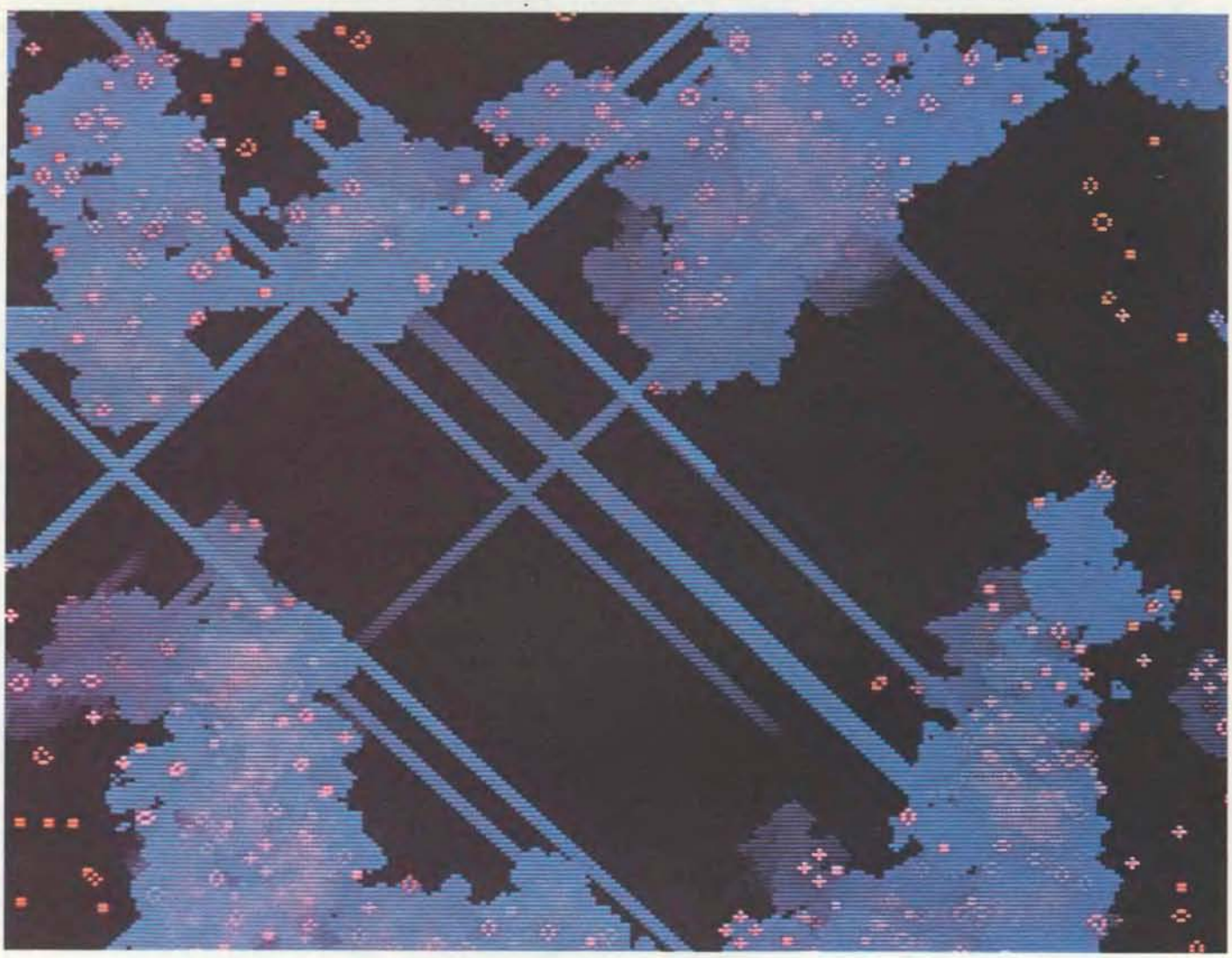
Третий фактор, который следует рассматривать при описании клеточного автомата, — это число состояний, которое может принимать клетка. Фон Нейман построил самовоспроизводящуюся систему, составленную из клеток с 29 возможными состояниями, однако большинство автоматов гораздо проще. Имеется огромный диапазон для изменений даже у двоичных автоматов, у которых клетка имеет два возможных состояния. Состояния могут быть представлены как 1 или 0 (включено или выключено, живое или мертвое).

Наконец, первоисточник изменений в мире клеточных автоматов — это огромное число возможных правил для определения будущего состояния клетки исходя из теперешней конфигурации ее соседей. Если k — число состояний, которые может принимать каждая клетка, а n — число клеток, входящих в окрестность, то существует k^{k^n} возможных правил. Так, для двоичного автомата с окрестностью фон Неймана (где $n = 4$) существует более чем 65 000 возможных правил; для окрестности Мура (где $n = 8$) имеется 10^{77} правил. Однако лишь малая часть их когда-либо изучалась.

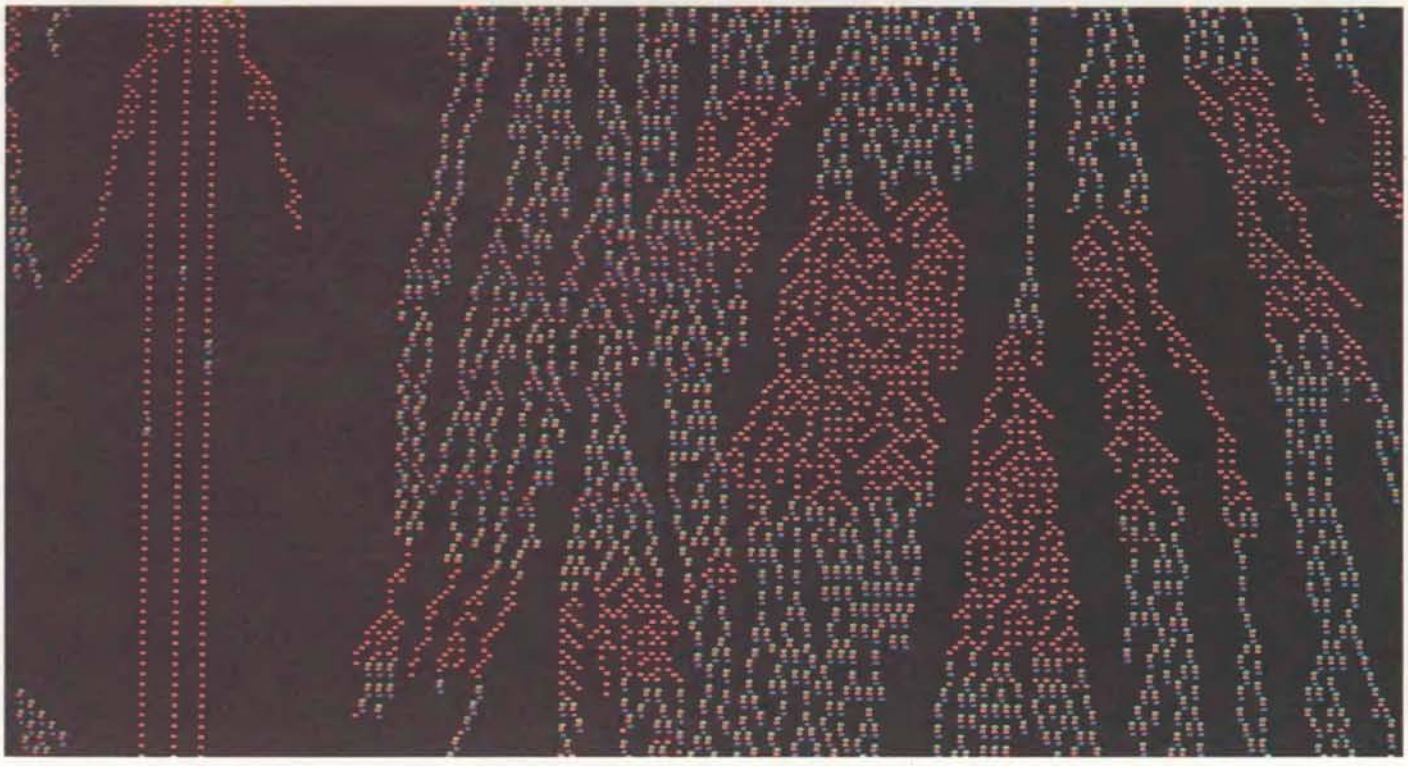
В ИГРУ «Жизнь» играют на прямоугольной решетке из клеток с двумя состояниями и с окрестностью Мура и дополнительным усложнением, согласно которому центральная клетка тоже считается членом своей окрестности. Другими словами, при каждом шаге эволюции системы каждая клетка проверяет состояния восьми своих соседей и свое собственное. Согласно правилам, установленным Конвеем, если центральная клетка жива, то она будет продолжать жить в следующем поколении, когда две или три клетки из ее окрестности живы. Если найдутся три живые клетки в рассматриваемой окрестности, то центральная клетка будет живой в следующем поколении независимо от ее теперешнего состояния. Во всех других случаях центральная клетка либо умирает, либо остается мертвой.

Прелесть игры «Жизнь» состоит в ее непредсказуемости. Некоторые схемы полностью умирают; многие другие образуют устойчивые конфигурации либо циклические конфигурации с периодом в несколько поколений. Однако за прошедшие годы было найдено много

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU



Игра «Жизнь», развивающаяся на экране машины, созданной Тоффоли и имитирующей клеточный автомат



Узор дендритов, созданный клеточным автоматом с асимметричным правилом перехода

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

очень интересных начальных состояний, таких, как «скользящая пушка», которая порождает нескончаемый поток снарядов. Исслсдование игры «Жизнь» в настоящее время продолжается. Последние достижения были описаны Мартином Гарднером в книге «Wheels, Life, and Other Mathematical Amusements». Здесь же я рассмотрю другие клеточные автоматы, свойства которых только начинают исследовать.

Среди множества возможных правил перехода лишь немногие интересны сами по себе. Например, правило, устанавливающее, что данная клетка будет «включена» тогда и только тогда, когда клетка слева от нее включена, определяет эволюцию, которую очень легко предсказать: любая начальная схема сохраняет свою конфигурацию, но сдвигается на одну клетку вправо на каждом временно́м шаге. Подкласс правил, называемых счетными, или суммирующими, по-видимому, содержит образцы почти всех встречающихся типов клеточных автоматов. При правилах такого рода новое состояние клетки зависит только от числа соседей в данном состоянии, но не от их положения. Многие автоматы, основанные на таких правилах, были изучены членами группы информационной механики лаборатории вычислительной математики в Массачусетском технологическом институте. В эту группу входят Э. Фредкин, Н. Марголус, Т. Тоффоли и Дж. Вишняк.

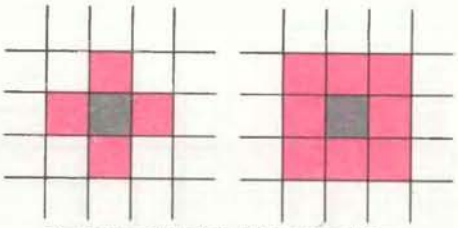
Одно из простейших счетных правил — это правило четности, которое приписывает клетке значение 1, если нечетное число соседей находится в состоянии 1, и значение 0 в других случаях. Пространственная эволюция этой системы с применением этого правила в окрестности фон Неймана была описана в октябрьском номере нашего журнала*. Любая начальная конфигурация повторяется четыре раза, затем эти четыре копии в свою очередь повторяются и т.д.

* См.: В мире науки, 1983, №12, с. 103-109. — *Прим. ред.*

Другой класс счетных правил — это правила «голосования», при которых центральной клетке приписывается значение 1, как только число единиц в ее окрестности превышает некоторое пороговое значение. В докладе на Лос-Аламосском симпозиуме Вишняк отметил, что по правилам такого типа получаются модели фильтрации (просачивания) и образования активных центров — очень важных явлений в физике твердого тела и других областях науки. Термином «фильтрация» обозначают образование непрерывного пути через некоторое пространство; например, когда металл распределен в изолирующей матрице, проводимость материала зависит от вероятности образования непрерывной цепочки атомов металла. Точно так же передача инфекционного заболевания возможна только при наличии непрерывающейся последовательности восприимчивых индивидов. Образование активных центров — процесс, на котором основаны рост кристаллов, кипение жидкости и другие подобные явления.

Одно из правил перехода, приводящее к фильтрации, присваивает центральной клетке значение 1 только тогда, когда значения по меньшей мере трех клеток из пяти — т.е. окрестности фон Неймана плюс центральная клетка — равны 1. Развитие фильтрации очень сильно зависит от исходной концентрации единиц. Если концентрация меньше половины, то непрерывная цепочка единиц, заполняющих схему, по-видимому, не образуется в ходе эволюции. При концентрации 1/2 и больше появляются цепочки, но вся решетка ими не заполняется; в заключительном устойчивом состоянии остаются «островки» нулей. Образование кристаллов, при котором схема прочно заполняется единицами, наблюдается в том случае, когда правило изменяется и требуются лишь две из пяти единиц в окрестности. Критическая концентрация равна 0,0822.

МОДЕЛЬ Изинга, одно из средств теоретического аппарата физики, при поверхностном рассмотрении кажется очень похожей на клеточный автомат.

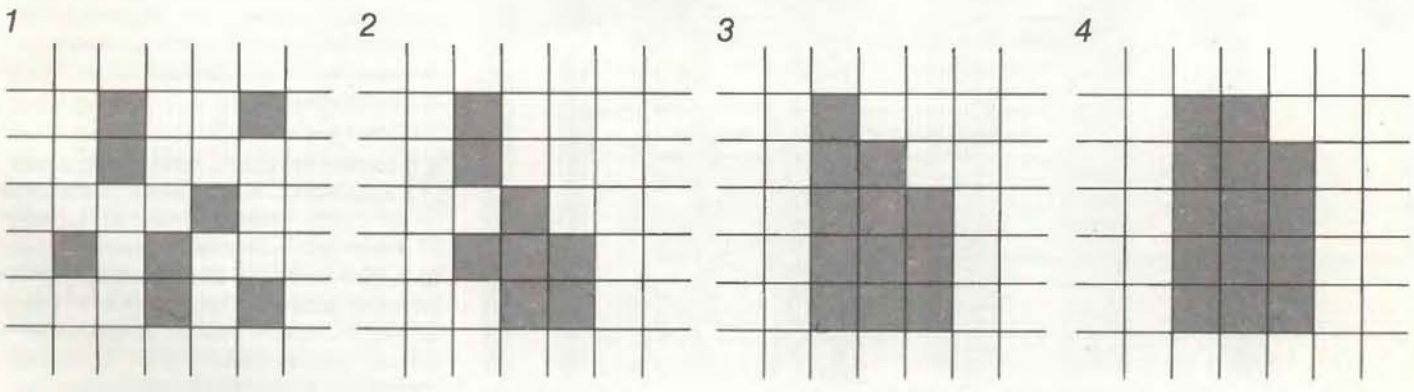


Окрестности фон Неймана и Мура

Модель представляет собой прямоугольную решетку, в которой каждый центр имеет два возможных значения и взаимодействует лишь с четырьмя своими ближайшими соседями. Эта модель часто используется для описания ферромагнетиков: каждый центр представляет собой атомный спин, который может быть направлен либо вверх, либо вниз. Если температура ниже критической (температуры Кюри), спины стремятся ориентироваться одинаково и материал намагничивается, но при более высоких температурах их направления распределены более или менее случайным образом.

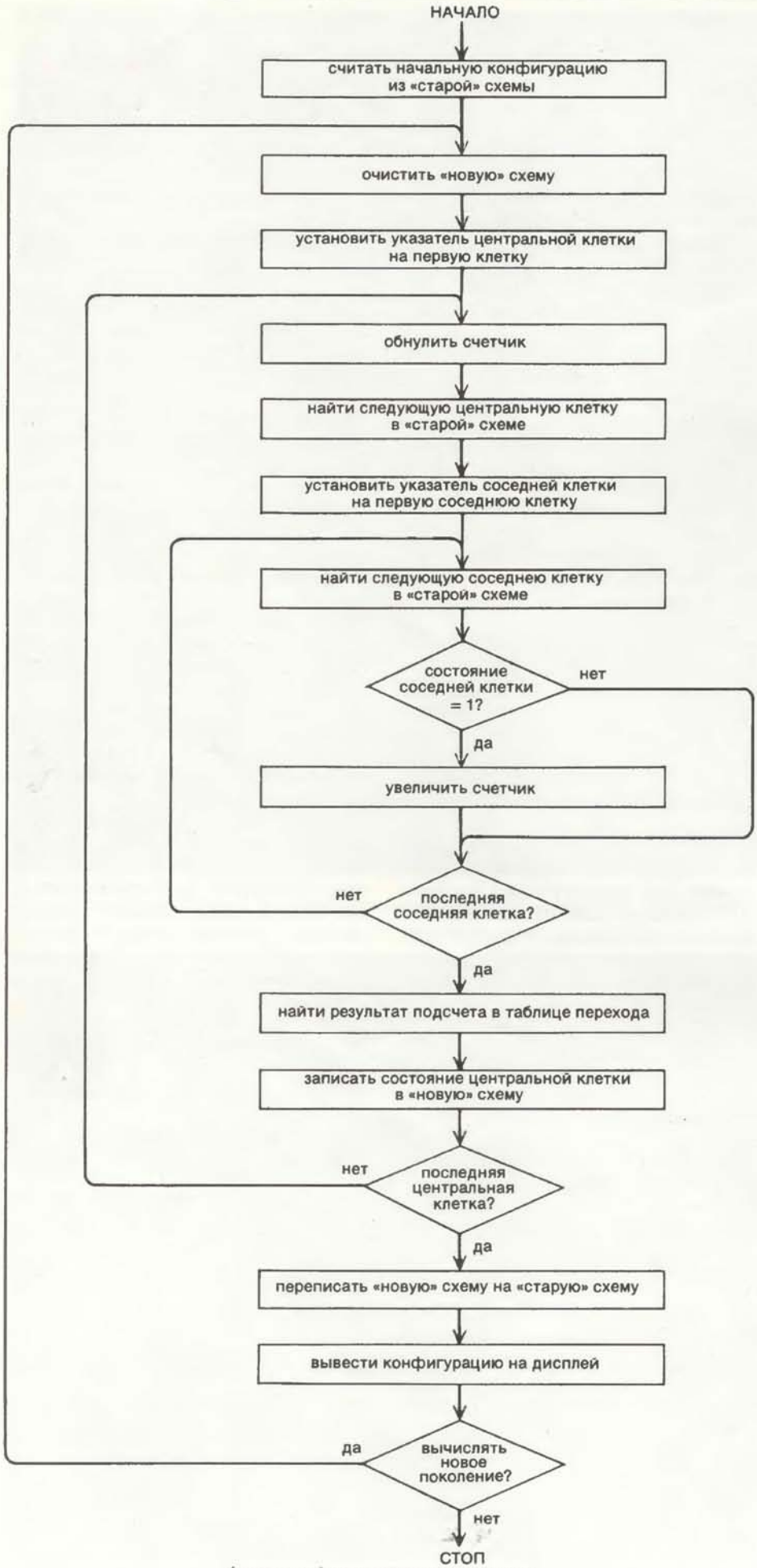
В октябрьском номере журнала я рассматривал вариант модели Изинга, созданный с помощью КЭБ-программ. Клеточная структура этой модели располагает к использованию методов клеточных автоматов при ее изучении. Я заметил любопытное явление: при низкой температуре спины направлены неодинаково, они располагаются в шахматном порядке, при котором направления «вверх» и «вниз» чередуются. При каждом временно́м шаге все спины меняют свое направление. В ферромагнетиках шахматная структура является конфигурацией с высшей энергией и поэтому должна быть неустойчивой; эта структура характерна для антиферромагнетиков.

Вишняк обнаружил эту проблему и объяснил ее. В стандартном варианте модели Изинга при каждой итерации может изменяться только один спин. Следовательно, когда некоторый конкретный центр наблюдает за своими соседями, то одни из наблюдаемых спинов являются «старыми», а другие «новыми». При этих условиях «осциллирующий» антиферромагнетик не может возникнуть. Только когда все



Эволюция клеточного автомата при правиле голосования «два из пяти»

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU



Алгоритм для клеточного автомата, основанный на счетном, или суммирующем, правиле перехода

спины одновременно «производят свои вычисления», возникают благоприятные условия для антиферромагнетика высокой энергии. Существует возможность избежать этой «катастрофы обратной связи», однако более важный вывод состоит в том, что интуитивное соответствие между моделью Изинга и клеточным автоматом обманчиво.

Вишняк и другие ученые из группы Массачусетского технологического института подчеркивают, что клеточный автомат имеет статус, отличный от статуса других физических моделей. Наиболее распространенным средством построения математической модели мира издавна служило дифференциальное уравнение, которое описывает изменения некоторой величины как функцию координат и времени. Например, уравнения Максвелла дают изменения электромагнитного поля от точки к точке и от одного момента времени к другому. Все величины в таких уравнениях являются непрерывными (они гладко изменяются), с другой стороны, клеточный автомат — полностью дискретная система. Пространством является не континуум, а клеточная схема; время разбивается на последовательность дискретных шагов, а клетки автомата могут иметь лишь конечное число состояний, в то время как величина поля принимает значения из непрерывной области значений.

Разумеется, реальные пространство и время и многие физические переменные величины рассматриаются как непрерывные, а не дискретные (по крайней мере, в наиболее распространенных областях исследований). Однако из этого не следует, что дифференциальные уравнения по своей природе позволяют построить более совершенную модель реального мира. Когда уравнения должны быть решены численно, как при моделировании с помощью ЭВМ, непрерывные переменные могут быть вычислены приблизительно с некоторой конечной точностью; на самом деле они представляются дискретными величинами. При использовании клеточных автоматов дискретность выступает в явном виде, и их временная эволюция может быть вычислена точно; здесь приближения не нужны. Кроме того, в этом случае можно в большей степени использовать возможности цифровых вычислительных машин.

МОЖНО написать программу моделирования клеточного автомата даже для самого миниатюрного компьютера. Действительно, П. Бак из Брукхейвенской национальной лаборатории недавно утверждал в журнале «Physics Today», что моделирование в физике можно эффективнее и дешевле производить на небольшом персональном компьютере, а не на более мощных

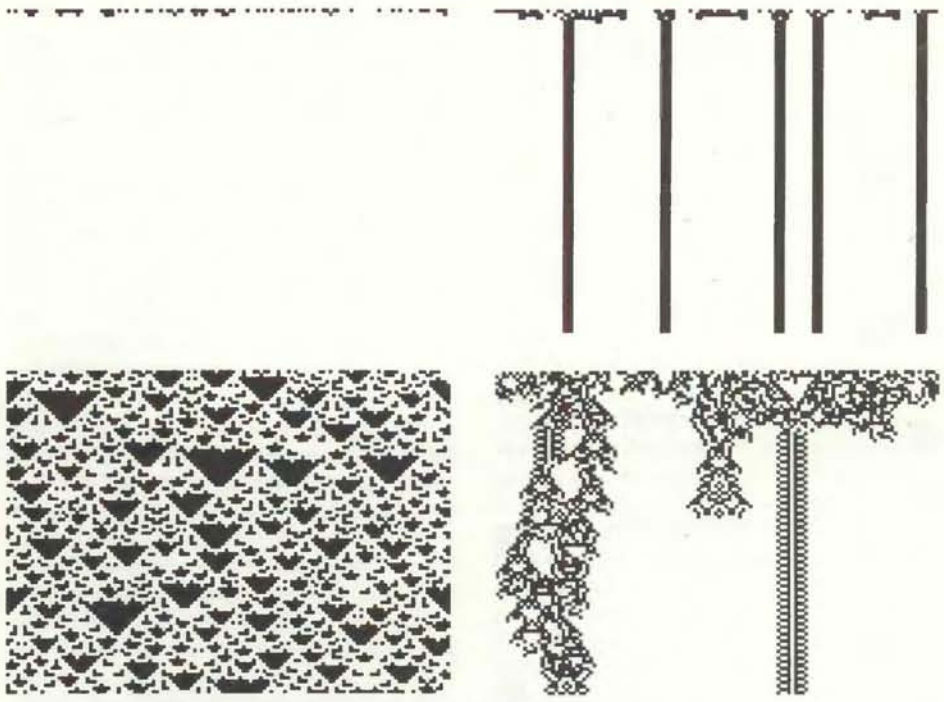
WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

вычислительных машинах общего пользования. Для иллюстрации этого он выбрал пример трехмерной модели Изинга на Commodore VIC-20 — компьютере стоимостью 4 доллара.

Наиболее прямолинейная программа клеточного автомата просто является воплощением метода, который каждый бы применял при выполнении процедуры ручным способом на листе бумаги в клетку. Сначала строится клеточная схема, в которой каждая клетка представлена ячейкой памяти в компьютере. При каждом временно́м шаге программа должна обращаться к каждой клетке по очереди, изучать ее окрестность и вычислять следующее состояние клетки. Само вычисление легко выполняется с помощью поиска значения в таблице. Если рассматриваются только счетные правила, таблице нужен всего один элемент для каждого возможного числа «активных» клеток. Когда допускаются правила другого рода, таблица может стать очень сложной.

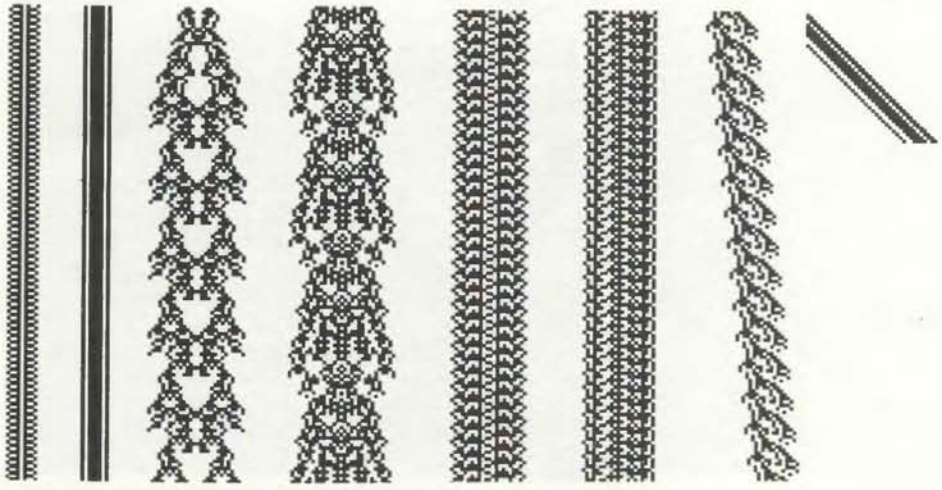
При написании такой программы следует иметь в виду несколько тонких моментов. Очень важно не нарушить состояния клетки, пока оно не проверено всеми другими клетками, в окрестность которых она входит. Простейший путь выполнения этого требования — сохранение двух копий данной схемы; программа изучает одну копию для определения текущего состояния окрестности и вносит результаты вычислений в другую копию. Следует также определить условия на границе. Идеальным случаем была бы бесконечная схема, но ясно, что это невыполнимо. Распространенным приемом является соединение концов схемы, так что клетки на противоположных краях становятся соседними. В одномерном случае схема такого рода топологически является окружностью, а в двумерном — тором, хотя это и конечные схемы, но границ они не имеют.

Программа описанного выше типа, выполняемая на универсальной ЭВМ, является последовательностной процедурой, которая моделирует действия схемы из многих компьютеров, работающих одновременно. Лучше было бы построить настоящую сеть многих компьютеров со структурой клеточного автомата. Конечно, не может быть и вопроса о построении такой машины (индивидуальные компьютеры должны быть довольно простыми и построены в большинстве случаев на одном полупроводниковом кристалле). Тот факт, что только близко расположенные компьютеры должны взаимодействовать между собой, также должен был бы уменьшить сложность всего устройства. По оценке Тоффоли, процессор должен был бы работать быстрее, чем ЭВМ общего назначения в миллион или даже миллиард раз.



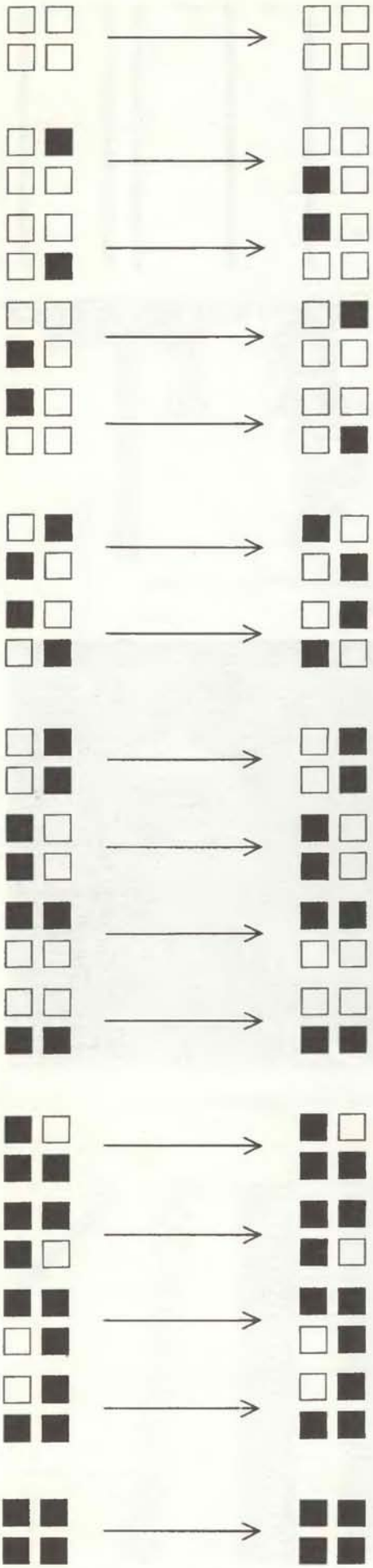
Четыре класса суммирующих правил в одномерном случае

Последовательные состояния одномерного автомата из класса 4



Некоторые компоненты возможной универсальной вычислительной машины

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU



Правило перехода для компьютера «на бильярдных шарах»

Предварительные разработки для компьютеров подобного рода производятся в Калифорнийском технологическом институте и Thinking Machines Corporation of Waltham (шт. Массачусетс).

Вместо того чтобы использовать кристаллы специального назначения, Тоффоли построил машину, имитирующую клеточный автомат, из стандартных компонентов микроэлектроники. Вычисления производятся последовательно, а не для всех клеток сразу, но, поскольку весь аппарат приспособлен к единственному виду вычислений, его быстродействие оказывается в 1000 раз больше, чем у универсальной ЭВМ. Сама машина представляет собой набор печатных плат, смонтированных в корпусе; она соединена с цветным дисплеем и управляется другим миниатюрным компьютером — Atari-800.

Машина Тоффоли, имитирующая клеточный автомат, имеет схему из 256 × 256 клеток, каждая из которых может принимать до 256 состояний. Состояние каждой клетки перевычисляется 60 раз в секунду. За счет высокой скорости изменения состояния такой системы вместо последовательности неподвижных фотографий мы видим фильм. Игра «Жизнь» больше не представляется как величественная прогрессия абстрактных узоров; она теперь больше походит на картину, наблюдаемую под микроскопом при изучении поведения бактерий или простейших организмов, плавающих, вращающихся, размножающихся, пожирающих и пожираемых друг другом.

Для одномерного клеточного автомата нужны менее мощные вычислительные средства (как в смысле объема памяти, так и в смысле быстродействия), чем для двумерного. Для одномерной системы легче написать программу. Линейная схема имеет еще одно преимущество над схемой на плоскости: более простая геометрическая структура позволяет легче аналитически понять эволюцию автомата. С. Вольфрам из Института высших исследований посвятил этому вопросу два года работы.

Единственное поколение одномерной схемы — просто ряд клеток, но последовательные поколения должны быть нанесены одно вслед за другим. Таким образом строится двумерная схема, имеющая одну пространственную и одну временну́ю оси, и всю эволюцию системы можно окинуть одним взглядом.

Вольфрам обнаружил, что все правила перехода, которые он исследовал до сих пор, можно разбить на четыре класса. Класс 1 состоит из тех правил, при которых эволюция приводит к устойчивому и однородному состоянию; например, все клетки принимают значения либо 1, либо 0. Класс 2 приводит к простым структурам, которые устойчивы или периодичны, но в любом случае остаются изолированными друг от друга. Правила класса 3 создают хаотические узоры, хотя и не обязательно случайные. В классе 4 собрано несколько правил перехода, которые порождают структуры существенной пространственной и временно́й сложности.

Вольфрам предположил, что одномерный клеточный автомат может быть простейшей правильно определенной системой, способной на сложное самоорганизующееся поведение. В природе многие непрерывные динамические системы имеют такую способность: начиная со случайного начального состояния они эволюционируют в высокоорганизованную структуру. (Примером служит снежинка). Эта эволюция может быть описана в терминах аттракторов, которые, по-видимому, притягивают систему к некоторому подмножеству всех возможных конфигураций.

Была проведена параллель между классами клеточных автоматов и некоторыми типами аттракторов, наблюдаемых в физических системах. Автоматы класса 1 аналогичны непрерывной системе с простейшим аттрактором — предельной точкой, которая неизменно приводит систему к одному и тому же заключительному состоянию. Эволюция автомата из класса 2 более похожа на эволюцию системы с предельным циклом, которая представляет собой последовательность бесконечно повторяющихся конфигураций.

Автоматы из класса 3 с их хаотическими узорами можно сопоставить с более интересными объектами, называемыми странными аттракторами, которые присущи таким физическим явлениям, как возникновение турбулентного течения. В системе, управляемой странным аттрактором, эволюция стремится к некоторому подмножеству всех возможных конфигураций, однако это подмножество может иметь крайне сложную структуру. Когда это множество представляется как массив точек в пространстве, она во многих случаях является фракталью, геометрической фигурой с дробным числом измерений.

Различие между классами автоматов можно выяснить, рассмотрев простой эксперимент. Предположим, что клеточный автомат начал свою эволюцию с какой-то случайно выбранной начальной конфигурации и делает несколько временных шагов; затем отмечается заключительное состояние. Теперь вернемся к исходному состоянию, изменим значение единственной клетки и дадим системе возможность проделать такое же число временных шагов. Какой эффект окажет это небольшое

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

изменение на заключительное состояние? У автоматов класса 1 никакого изменения не произойдет: система из класса 1 приходит в одно и то же заключительное состояние из любого начального состояния. У автоматов класса 2 может наблюдаться некоторый эффект, но он ограничен небольшой областью вблизи измененной клетки. В системе класса 3, изменив единственную клетку, можно вызвать такое нарушение, которое распространится на всю схему.

Правила класса 4 очень редко встречаются и являются самыми сложными. Некоторые совсем простые функции перехода попадают в этот класс; например, в окрестности, включающей центральную клетку и по две клетки с каждой стороны от нее, правило, устанавливающее, что значение центральной клетки равно 1, если две или четыре клетки равны 1, попадает в класс 4. Чувствительность к малым изменениям в начальном состоянии в классе 4 даже больше, чем в классе 3. Было выдвинуто предположение, что для предсказания будущего состояния автомата класса 4 не может быть более эффективной процедуры, чем разрешить автомату самому вычислить это состояние.

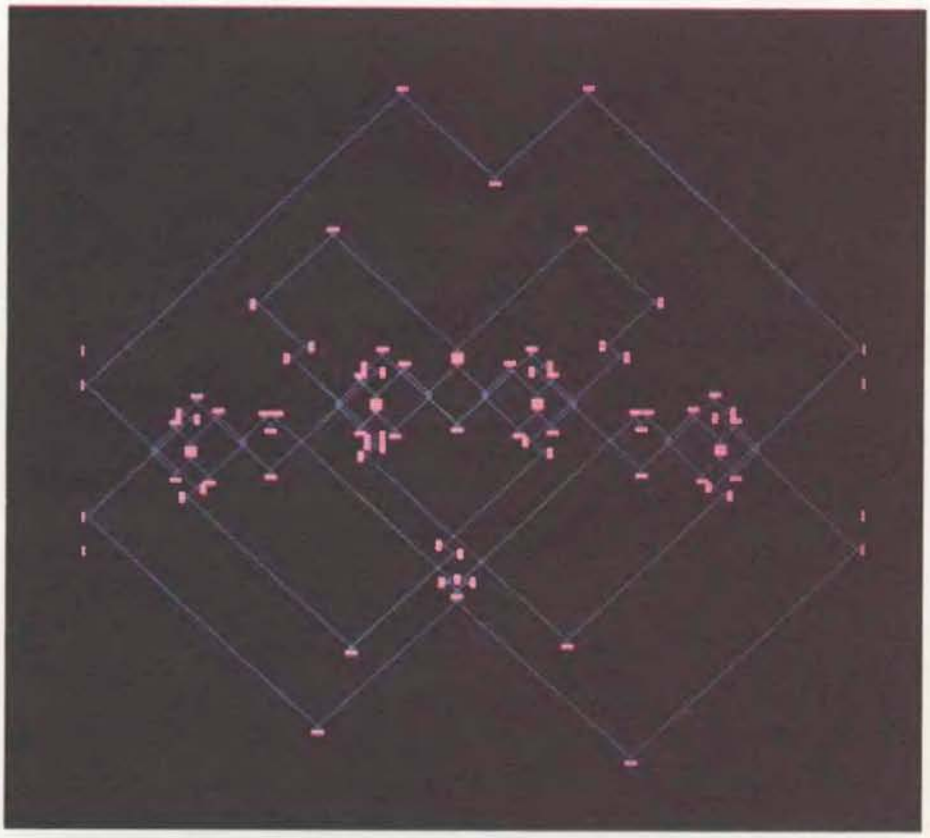
Это предположение можно интерпретировать более широко, а именно что автоматы класса 4 можно квалифицировать как универсальные вычислительные машины. Машина Тьюринга — наиболее известное устройство подобного рода: если некоторая функция может быть вообще вычислена, предполагается, что это может сделать машина Тьюринга. Можно доказать, что другие вычислительные машины тоже универсальны, если они эквивалентны машине Тьюринга. Было показано, что некоторые двумерные клеточные автоматы (включая игру «Жизнь») являются универсальными вычислительными машинами, и было также дано доказательство для сложных одномерных систем, в которых каждая клетка имеет 18 возможных состояний. Автоматы класса 4 были бы самой простой известной универсальной вычислительной машиной. Установлено, что они имеют большинство основных компонент. Не хватает лишь одного элемента — счетчика: устройства, выдающего последовательность импульсов через регулярные интервалы, подобно «скользящей пушке» в игре «Жизнь».

Аналогия клеточных автоматов с вычислительными машинами наводит на мысль, что их самоорганизующееся поведение может быть описано в терминах их вычислительных характеристик. Так, например, множество конфигураций, порожденных эволюцией клеточного автомата, можно представить как некий формальный язык. Каждая конфигурация рассматривается как слово языка, образованного в соответствии с множеством грамматических правил из последовательности символов, представляющих значения клеток автомата. Вольфрам показал, что конфигурация, порожденная любым клеточным автоматом за конечное время, может быть описана простым классом формальных языков, известных под названием регулярных. Для любого из этих регулярных языков можно найти простейшую грамматику. Такая грамматика дает простейшее описание конфигураций клеточного автомата и ее емкость можно принять за меру сложности конфигураций. Для клеточных автоматов классов 1 и 2 сложность стремится к конечному пределу за длительный период времени, так что структуры, порожденные этой системой, описываются регулярными языками. Однако для клеточных автоматов классов 3 и 4, по-видимому, требуются более сложные формальные языки.

СУЩЕСТВУЕТ особый класс клеточных автоматов, называемых обратимыми. Из любого начального состояния на любое число временных шагов допускается эволюция обратимого автомата, а затем автомат останавливается и запускается обратным ходом, после чего он возвращается в свое точное начальное состояние. Конфигурации, образованные типичным обратимым автоматом, качественно отличны от конфигураций, свойственных необратимому автомату. В частности, если конфигурация вначале случайна, то она и стремится остаться случайной — самоорганизующейся структуры не возникает.

Необходимым условием обратимости является детерминированность правила перехода в обоих направлениях, вперед и назад, т.е. каждое возможное состояние окрестности должно иметь единственное предыдущее состояние и единственное последующее состояние. Игра «Жизнь» необратима, потому что предыдущий этап какого-нибудь состояния нельзя определить однозначно; например, если текущее состояние клетки — «мертва», в предыдущем поколении она могла иметь любое число «живых» соседей, отличное от трех. Систематический способ создания обратимых правил перехода был изобретен Фредкином, а позднее исследован Марголусом. Суть этого метода — заставить следующее состояние клетки зависеть от двух предыдущих состояний окрестности. Состояние в момент $t + 1$ дается некоторой функцией окрестности в момент t минус та же функция в момент $t - 1$. Тогда обращение производится непосредственно: состояние в момент $t - 1$ должно даваться состоянием в момент t минус состояние в момент $t + 1$.

Из-за требования детерминизма в двух направлениях в эволюции обратимого автомата не должны встречаться аттракторы. Присутствие аттрактора ведет к тому, что в ходе эволюции многие начальные состояния развиваются



Компьютер «на бильярдных шарах» в действии

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NARODU.RU

такими путями, которые сливаются друг с другом; в обратной эволюции точки слияния стали бы точками ветвления, в которых нарушалось бы требование детерминизма. Точно так же обратимый клеточный автомат в своей эволюции не может образовать петли или выйти из нее, т.е. не может иметь циклических состояний, потому что снова возникает точка ветвления в том или ином направлении. Поскольку аттракторы и соответствующие им самоорганизующиеся конфигурации исключаются, может показаться, что обратимые правила перехода приводят к очень «скучным» клеточным автоматам, однако это компенсируется другими интересными особенностями таких систем. Самое замечательное — это то, что информация, заключающаяся в клеточной конфигурации обратимого автомата, оказывается сохраняемой величиной (т.е. не возрастающей и не убывающей в ходе эволюции автомата). Это свойство делает обратимые системы ценными моделями вычислений.

Марголус построил компьютер, имитирующий клеточный автомат, основанный на воображаемой механической системе, ранее исследованной Фредкином, — модель вычисления на основе бильярдных шаров. В этой модели биты информации (1 или 0) несут идеальные бильярдные шары, которые движутся без трения и отскакивают один от другого и от других препятствий идеально упруго. Наличие шара в указанном положении означает двоичную 1, а его отсутствие — двоичный 0. Умелым расположением бортов можно создать различные логические вентили, подобные тем, которые имеются в электронно-вычислительной машине. Например, в схеме «И» один бильярдный шар проходит через выходную область (и тем самым регистрируется двоичная 1), если только два шара приближаются к вентилю одновременно вдоль специфических траекторий.

Вариант такой модели клеточного автомата, построенный Марголусом, основан на простом и в некотором смысле необычном обратимом правиле перехода. Клетки рассматриваются не по отдельности, а блоками по 4; любая возможная конфигурация в пределах блока преобразуется в единственную производную конфигурацию. Правило составлено так, что одна единица на фоне остальных нулей распространяется в одном из четырех диагональных направлений решетки со скоростью 1 клетка за временной шаг; изолированная единица является воплощением бильярдного шара. «Монолитный» блок, состоящий из четырех единиц, неопределенно долго остается неизменным и действует как абсолютный отражатель. Когда моделирование производится на машине Тоффоли, имитирующей клеточный автомат, то «бильярдные шары» мечутся по экрану дисплея, образуя сложные пересекающиеся траектории. Наблюдая это упорядоченное (пусть даже безумное) движение, трудно помнить о том, что в программе не содержатся представления траекторий шаров, а просто применяется одно-единственное правило ко всем клеткам.

Модель на основе бильярдных шаров и ее воплощение в виде клеточного автомата тесно связаны с теорией вычислений. Было выдвинуто предположение, что любая вычислительная машина должна иметь компоненты, которые рассеивают энергию и информацию; в соответствии с этой теорией должен существовать «термодинамический предел» эффективности компьютера точно так же, как существует предел к.п.д. теплового двигателя. Неизбежные, по предположению, потери информации и энергии являются прямым следствием необратимости вычислительного процесса. (Когда компьютер складывает 5 и 3, чтобы получить результат 8, процесс не может быть обращен, потому что существует бесконечно много чисел, которые при сложении дают тот же результат.)

Фредкин, Тоффоли и Марголус подчеркивают, что модель на основе бильярдных шаров противоречит понятию неизбежного рассеяния. Действительно, бильярдные шары не могут сами себя создавать или разрушать, и вся информация, определяющая их начальную конфигурацию, сохраняется в ходе эволюции системы. Входы операции сложения могут быть легко восстановлены обращением траекторий. В принципе вычислительная машина, построенная на основе бильярдных шаров, могла бы действовать без внутренних затрат энергии.

С особой ясностью связь между физическими процессами и вычислениями была установлена Тоффоли в его заявлении, которое можно интерпретировать как описание самого большого из всех клеточных автоматов. «В некотором смысле, — пишет он, — в течение миллиардов лет природа постоянно вычисляла «следующее состояние» Вселенной; все, что нам надо сделать, — и действительно, что мы *можем* сделать, — это «войти в колею» этого гигантского непрекращающегося процесса вычисления и попытаться угадать, какая часть его движется в нужном нам направлении».

Издательство **МИР** *предлагает:*

М. Новради
СТЕРЕОХИМИЯ
Перевод с английского

Книга состоит из трех глав, посвященных соответственно статической, динамической и прикладной стереохимии. В гл. 1 рассматривается строение стереоизомерных органических и элементоорганических соединений на основе принципов молекулярной симметрии и хиральности. В гл. 2 на большом числе примеров разбираются основные закономерности динамической стереохимии. В гл. 3 рассматриваются различные практические приложения принципов стереоселективности и стереоконтроля для понимания разнообразных химических превращений.

Книга полезна для самых разных категорий читателей. Студенты химических специальностей найдут для себя в ней новые теоретические подходы и новые примеры из области практической стереохимии, дополняющие основной курс преподавания этой науки. Научные сотрудники всех химических профилей смогут с ее помощью существенно повысить свою теоретическую подготовку и создать полное представление о реальных возможностях стереохимических подходов и методов для решения целого ряда актуальных научных задач. Специалисты по физическим методам исследования смогут по этой книге ознакомиться со многими актуальными научными направлениями, в развитие которых важный вклад может внести использование современных приборов и новых методик эксперимента. И наконец, научные сотрудники, для которых стереохимия является основной специальностью, смогут воспользоваться этой книгой как удобным современным справочником, содержащим интереснейшие сведения из ряда зарубежных обзоров, монографий и периодических изданий.

1984, 22 л. Цена 3 р. 60 к.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Вулканы и солнечные закаты; искусство графического представления информации; рекомбинантная ДНК; определитель сортов яблонь

ФИЛИП МОРРИСОН

Том Симкин, Ричард Фиск. КРАКАТАУ, ГОД 1883: ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА И ЕГО ПОСЛЕДСТВИЯ
KRAKATAU 1883: THE VOLCANIC ERUPTION AND ITS EFFECTS, by Tom Simkin and Richard S. Fiske. Smithsonian Institution Press ($25)

Аден и Марджори Мейнел. СОЛНЕЧНЫЕ ЗАКАТЫ, СУМЕРКИ И НОЧНОЕ НЕБО
SUNSETS, TWILIGHTS, AND EVENING SKIES, by Aden and Marjorie Meinel. Cambridge University Press ($29.95)

Когда во время второй мировой войны комплектовалась закрытая специальная библиотека научно-технической литературы в Лос-Аламосе, в число тщательно отобранных для нее томов были включены две книги, явно выходящие за пределы тематики библиотеки. Одна из них — научно-фантастический роман чешского писателя Карела Чапека «Кракатит». Его герой — химик, владеющий секретом получения взрывчатого вещества (кракатита) колоссальной разрушительной силы, ставший в конце концов пешкой в руках политиканов, стремившихся завладеть его открытием. Вторая книга — по обыкновению великолепно изданный отчет Лондонского Королевского общества за 1888 г., содержащий материалы его комиссии по изучению последствий извержения Кракатау. Нет ничего удивительного, что извержение этого вулкана, унесшее много человеческих жизней и в той или иной мере ошушавшееся во всех уголках земного шара, получило необычайно быстрое и исчерпывающее освещение в прессе, поразив воображение современников.

Через сто лет после извержения Кракатау два молодых вулканолога собрали воедино все имеющиеся сведения о нем, продолжив таким образом дело, начатое авторами вышеупомянутого отчета Лондонского Королевского общества. Результатом их усилий явилась хорошо документированная, исчерпывающая, увлекательная, прекрасно оформленная и сравнительно недорогая книга. Издание снабжено предисловием и краткой хронологической таблицей; около ста страниц текста составляют свидетельства очевидцев катастрофического извержения; впервые переведенный на английский язык отчет главы экспедиции, посланной семь недель спустя на место происшествия администрацией голландской Ост-Индии, а также подборка научных статей о вулкане Кракатау.

Статьи эти посвящены геологии вулкана, мощным волнам, распространившимся при взрыве в атмосфере и океане, редчайшим оптическим атмосферным явлениям, влиянию извержения на климат, а также постепенному возрождению искалеченного и лишенного жизни острова. Различные интерпретации всех этих явлений, сменявшие одна другую на протяжении столетия, прошедшего со дня извержения, со всей наглядностью иллюстрируют переплетение истины и заблуждений, характеризующее научное развитие любой эпохи. Молодой горный инженер Р. Вербек, возглавлявший комитет по изучению геологических аспектов извержения, нуждался в услугах фотографа. Однако специалиста, к которому он обратился, испугали тяготы полевой жизни и вместо него был взят «старший сержант рисовальщик Р. Б. Шрёдерс». Рисунки Шрёдерса, сделанные с помощью камеры-люциды, репродуцированы в книге методом современной хромолитографии и отличаются необычайной точностью и выразительностью. Самый интересный из них — рисунок рассеченного конуса вулкана — был помещен в ноябрьском (1983 г.) номере журнала «Scientific American». (См. «В мире науки», № 1, 1984. — *Прим. ред.*)

Поскольку геологические аспекты извержения рассматривались недавно в одном из номеров журнала «Scientific American», а необычным атмосферным явлениям посвящена вторая из рецензируемых книг, мы остановимся здесь главным образом на волнах, порожденных извержением. Ведь именно разрушители-цунами оказались самым страшным орудием в руках Смерти. Так, в непосредственной близости от места извержения вода поднялась более чем на 40 м. Сила приливной волны была такова, что военный корабль, стоявший на рейде у одного из островов, оказался на суше в нескольких милях от берега, а утопавшие в зелени прибрежные торговые поселения были попросту смыты волнами. Недели спустя после катастрофы жители еще продолжали сжигать и хоронить трупы, которыми были буквально усеяны острова. Даже в таких удаленных от места извержения точках земного шара, как Сан-Франциско или пролив Ла-Манш, были зарегистрированы вызванные извержением приливные волны высотой в несколько дюймов. Однако эти волны слишком быстро появились у берегов Европы и Америки, чтобы это явление можно было объяснить с помощью законов гидродинамики.

В интересной статье, написанной двадцать лет назад Ф. Прессом и Д. Харкридером, был сделан важный шаг на пути к решению загадки, вот уже столетие волновавшей умы ученых. Авторы статьи считают, что эффекты, замеченные на больших расстояниях, не были отголосками первичных океанских волн, возникших непосредственно в районе катаклизма. Главную роль сыграло вторичное возмущение слоев воды, вызванное волной давления в атмосфере. (Как утверждали очевидцы, «грохот далекой канонады тяжелых орудий» достиг островов, удаленных на 3 тыс. миль от Кракатау, через 4 часа, как и положено звуку.) Известно, что скорость распространения одного из собственных колебаний атмосферы близка к фазовой скорости длинных волн наиболее глубоких морей. Именно эти колебания воздуха, для которых, естественно, не существует сухопутных барьеров, возбудили в удаленных от Зондских островов морях волны неожиданно большой амплитуды и скорости. Следует заметить, что не одно лишь извержение способно вызвать подобный эффект: ведь кракатит все еще угрожает человечеству, а, как утверждают Симкин и Фиск, «наземный взрыв мощностью 100—150 мегатонн вызовет последствия, сравнимые с последствиями извержения Кракатау».

Супруги Мейнел — астрономы из Тусона (шт. Аризона) — пользуются широкой известностью среди своих коллег во всем мире. Помимо основных научных интересов (ныне связанных с использованием солнечной энергии) они вот уже два десятилетия наблюдают и изучают солнечные закаты. Именно этому их увлечению и посвящена рецензируемая книга. В очаровательной манере той ушедшей в про-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

шлое эпохи, когда научные труды были понятны даже непосвященному читателю, они увлекательно повествуют об интереснейших природных явлениях. Десятки цветных фотографий, на которых запечатлены пылающие закаты или багровое ночное небо пустыни, воскрешают в памяти рассказы тех, кто столетие назад с восхищением и удивлением наблюдал фантастические закаты, расцвеченные извержением Кракатау.

Астрономические наблюдения требуют открытых пространств и перспективы. Поэтому понятно, что авторов не интересуют стиснутые горами долины или низкие дождевые облака. Их привлекают широкие горизонты и чистый воздух пустынь.

Прозрачность чистого воздуха, находящая объяснение в квантовой природе молекул, позволяет выделить эффекты рассеяния света на пыли и капельках. Объектом же исследования является вся атмосфера Земли, рассматриваемая как сферический слой. Книга открывается изложением геометрии и физики солнечных закатов, иллюстрируемым для наглядности диаграммами и графиками. Отдельная глава посвящена зеленому мерцанию. Авторы просто и наглядно объясняют, почему для наблюдателя, стоящего на вершине горы, ее треугольная тень сходится к горизонту в моменты восхода и захода Солнца. Конкретная форма горы при этом не существенна, последовательность форм теней сливается в перспективе в одну точку, соответствующую тени от самого наблюдателя. Подобно тому как каждый из нас всегда находится на вершине собственного мира — на конце радиуса-вектора, проведенного из центра Земли, — наблюдатель находится на вершине пирамидальной тени горы.

Наиболее интересный раздел книги — тот, где рассказывается о наблюдениях (хотя и с далекого расстояния) за вулканами. Облака пыли и аэрозольных частиц, разумеется, сопровождали не одно лишь извержение Кракатау. Читатель найдет здесь фотографии солнечных закатов, необычные цвета которых вызваны недавними извержениями вулканов Агунг, Эль-Чичон, Фуэго и других, с объяснением причин, вызвавших тот или иной эффект. Для интерпретации некоторых явлений требуются более сложные приборы, чем острый глаз наблюдателя и хронометр, однако для начала и этого может оказаться достаточно. Как известно, великолепные малиновые и багровые закаты, вызванные извержением Агунга, сменились через полгода обычными; то же произошло и после извержения Кракатау. Этому явлению нетрудно было найти объяснение: нескольких месяцев достаточно для того, чтобы осели пылевые частицы, оказавшиеся в воздухе в результате катаклизма. Однако как объяснить тот факт, что в обоих случаях «пылающие» закаты вновь появлялись в течение нескольких лет осенью и зимой? Более интенсивно окрашенный верхний край вечерней зари и некоторые особенности спектра явно указывали на участие в возникновении этого природного явления верхних аэрозольных слоев. Вполне вероятно, что стратосферная аэрозоль, вызывающая это явление, представляет собой не что иное, как капельки серной кислоты (они были обнаружены на стеклах кабин высотных самолетов), образовавшиеся не из пыли, а из двуокиси серы, выброшенной вулканом в атмосферу. Это вещество постепенно диффундирует вверх, достигая наконец озонового слоя, где и образуются капельки кислоты. Количество этих капелек определяется скоростью образования озона, которая в свою очередь зависит от солнечной радиации, а значит, и от времени года. Ежегодно образуются новые и новые капельки кислоты, пока не истощится весь выброшенный вулканом газ. Авторы отмечают, что синее солнце и изумрудно-зеленая луна — тоже не монополия Кракатау. В северной части Китая подобные оптические эффекты, связанные здесь с наличием лессовой пыли в атмосфере, весьма нередки. Это явление представляет собой сложный пример проявления зависимости рассеяния света от угла и длины волны.

Внимание авторов привлекает и ночное небо. Ведь именно ночью наблюдаются такие интересные явления, как предрассветная заря, высокие облака естественного и искусственного происхождения, эффекты, вызванные межпланетной пылью в плоскости эклиптики, наши таинственные гости (кометы и астероиды), а также городские огни. Будущий наблюдатель почерпнет из книги много интересных и полезных сведений об этих явлениях. Сравнивая климат Земли с условиями на других планетах, авторы с удовольствием констатируют, что сравнительная прозрачность воздуха делает нашу планету «самым лучшим местом для наблюдения сумеречной глории». Надо сказать, что нам повезло, ибо так было не всегда: вероятно, в теплую и дождливую эпоху мезозоя небо было почти всегда затянуто тучами, не лучшим местом для астрономических наблюдений была и заболоченная Земля каменноугольного периода. Авторы завершают свою прекрасную книгу поэтическими строками: «Рассвет и закат взывают к радости!»

Эдвард Р. Тафт. ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЧИСЛОВОЙ ИНФОРМАЦИИ THE VISUAL DISPLAY OF QUANTITATIVE INFORMATION, by Edward R.Tufte. Graphics Press, Box 430, Cheshire, Conn.06410 ($ 34)

ПЕРЕД нами контурная карта некоторых районов Восточной Европы, на которую нанесено лишь несколько рек и городов. Всю карту пересекает извилистая линия, явно не соответствующая ни одной из известных рек. Широкая на западе, она постепенно сужается на пути к Москве. Затем этот поток поворачивает обратно на запад, превращаясь в тоненькую струйку. Этот своеобразный график изображает трагическую судьбу Великой армии Наполеона, уничтоженной в 1812 г. русским народом и его союзником — лютым морозом. Ширина полосы в каждой точке пропорциональна числу солдат, шагавших за своим императором. В Россию тогда вторглась 422-тысячная армия; на обратном пути Неман пересекло лишь около 10 тыс. солдат. К карте прилагается график зимней температуры, привязанный по времени к движению отступающей армии. Автор книги, в которой воспроизведен этот шедевр талантливого французского инженера Шарля Жозефа Минара, созданный им в 1861 г., считает карту «возможно, лучшим из когда-либо построенных статистических графиков».

Сама же книга представляет собой оригинальную, красиво оформленную, великолепно написанную и богатую фактами работу, воплощающую гармонический союз точных наук и искусства. Под искусством здесь подразумевается специфическое искусство графического представления эмпирических данных, которое в наши дни так необходимо ученым и инженерам. Известно, что карты появились задолго до первых графиков; возможно, наглядное представление пространственных связей возникло даже раньше, чем письменность. Однако практически самой ранней из известных нам тематических карт является опубликованная в 1686 г. в «Философских трудах Лондонского Королевского общества» карта ветров, составленная Эдмундом Галлеем. Направления ветров на ней были обозначены «небольшими штрихами».

Степень абстрактного мышления, позволяющая представить данные графически, должна быть существенно высока, и достигнуть ее нашим предкам было нелегко. В книге приведен один из древнейших графиков временно́й зависимости (он изображает наклонение орбит планет), взятый из рукописи, датируемой XI столетием. Однако широкое распространение графики зависимости от времени получают лишь в конце XVIII в. В научный обиход их ввел около 1770 г. выдающийся

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

медик и математик И. Г. Ламберт, а десятью годами позже политический экономист У. Плейфэр построил целый атлас экономических данных, снабженный графиками зависимости от времени таких показателей, как заработная плата и торговый баланс. Он также впервые использовал столь привычные в наши дни прямоугольные и круговые диаграммы.

Из всех видов графических представлений информации широкая публика, как правило, сталкивается только с картами, графиками зависимости от времени и диаграммами (последние отличаются особой наглядностью). Таков вывод, к которому привело статистическое исследование, выполненное автором книги, профессором Тафтом. Так, графики зависимости различных величин друг от друга (кроме зависимости от времени) составляют около 40% иллюстраций в еженедельных научных журналах. В то же время примерно в половине из полутора десятков наиболее известных газет и общественно-политических журналов мира таких, как «Time», «Правда» и «The Wall Street Journal», они вообще не встречаются. В «The New York Times» такие графики попадаются крайне редко — один на двести иллюстраций. Не удивительно, что «Asahi» (наряду с такими изданиями, как «Spiegel» и «The Economist») использует графики гораздо чаще: ведь любовь японцев к цифрам такова, что в стране даже отмечается своеобразный праздник — Национальный день статистики, — сопровождающийся конкурсами на лучший график и диаграмму.

Конечно, убедительными графиками можно красиво проиллюстрировать любую статистическую ложь. Подобный подход и отношение к графикам как к «средству объяснения очевидных вещей профанам», по мнению Тафта, отрицательно повлияли на развитие этого искусства в 1930-60-е годы. Во второй половине книги автор становится в позицию критика и более отстаивает свою теорию, чем рассказывает о различных формах графического представления данных. Основа основ его теории проста — информация прежде всего! С этой точки зрения он анализирует самые различные примеры: от электроэнцефалограммы из восьми кривых, где нет ничего графически лишнего, до многоцветных диаграмм с ложной перспективой, содержащих, однако, очень мало информации. Такие диаграммы наряду с различными видами двойной штриховки, эффектными, но лишенными смысла, и пояснительными надписями, наспех введенными с клавиатуры терминала, вызывают его резкое осуждение. Все эти элементы приобрели в последнее время широкую популярность в мире компьютерной графики, вездесущей рекламы и телевидения.

Завершается книга тем, чем зачастую пренебрегают авторы даже самой справедливой критики: полезными предложениями. Статистик и экономист по профессии, Тафт глубоко заинтересовался вопросами графического представления информации. Весьма интересными являются предложенные им способы более эффективного использования осей графиков разброса данных. Такие предложения, как, например, применение белой сетки для задания масштаба прямоугольных диаграмм и гистограмм, несомненно, приобретут в будущем широкую популярность, во всяком случае они согласуются с теорией Тафта. Очень удобным автору представляется использование серий небольших графиков, внешне напоминающих кадры на кинопленке. В качестве примера он приводит серию схематических планов Лос-Анджелеса (каждый из них размером с ноготь большого пальца), содержащих в совокупности огромное количество статистических данных.

Тафт также обращает наше внимание на тот факт, что в картах, диаграммах и графиках читателя чаще всего раздражает и утомляет не высокая плотность информации, а, наоборот, ее недостаток. Так, обычная прямоугольная диаграмма показывает данные со средней плотностью 1/40 числа на квадратный сантиметр. Гораздо лучше дело обстоит, например, с графиком из газеты «Times», показывающим годовое изменение погоды. Здесь плотность информации — около тридцати чисел на 1 $см^2$. Но и это еще далеко не предел. Информационное содержание выпущенной в 1973 г. контурной карты коммун Франции составляет около 1400 чисел на 1 $см^2$. Рекордная на сегодняшний день величина (17 тыс. чисел на 1 $см^2$) достигнута создателями широкоизвестной карты галактической плотности.

Заключительная глава посвящена техническим деталям: толщине линий, форме графиков, оптимальному сочетанию слов, цифр и рисунков. Автор выбрал для книги очень подходящий эпиграф: «Я хочу достичь той насыщенности чувств, которая составляет картину», — слова, принадлежащие Анри Матиссу. Основной задачей создателя графиков является возможно более простая передача по-настоящему сложных вещей. Рецензируемая книга предоставит ему в помощь целую галерею образцов, приемлемую теорию подхода к работе над графиками и диаграммами и целый ряд примеров, которые помогут читателю избежать в будущем некоторых распространенных ошибок. Можно надеяться, что книга не только вызовет интерес у широкого круга читателей-неспециалистов, но и окажется весьма полезной для тех, кто связан с компьютерной графикой.

Издательство **МИР** *предлагает:*

Ч. Сеттерфилд

ПРАКТИЧЕСКИЙ КУРС ГЕТЕРОГЕННОГО КАТАЛИЗА

Перевод с английского

В книге основное внимание уделено тем катализаторам и таким реакциям, которые имеют промышленное значение. Большой опыт лектора и широкая эрудиция позволили автору — профессору Массачусетского технологического института — в лаконичной форме изложить обширные данные о катализе, основных типах катализаторов, крупнотоннажных каталитических процессах.

В гл. 1 даны основные понятия и определения, а также краткий очерк развития гетерогенного катализа. В гл. 2 охарактеризована адсорбция, изотермы и теплоты адсорбции. Гл. 3 посвящена скоростям и кинетическим моделям каталитических реакций. В гл. 4 рассматриваются приготовление и производство катализаторов. Гл. 5 и 6 посвящены двум распространенным типам гетерогенных катализаторов: металлам на носителях и катализаторам кислотной природы. В гл. 7 дается характеристика типов кислотных центров алюмосиликатных катализаторов. Гл. 8—10 посвящены следующим группам каталитических производств: окислению, переработке нефти и углеводородов, синтеза на основе CO и водорода. В гл. 11 описаны методы испытаний катализаторов на лабораторных и опытных установках.

Для химиков широкого профиля — работников научно-исследовательских институтов и заводских лабораторий, студентов химико-технологических вузов.

1984, 36 л.
Цена 5 р. 70 к.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Издательство **МИР** *предлагает:*

Ф. Л. Уипл

СЕМЬЯ СОЛНЦА

Перевод с английского

Кольца Юпитера и Урана, горы вдвое выше Эвереста на Марсе, грозы и облака из капелек серной кислоты на Венере, действующие вулканы на Ио, океаны жидкого азота на Титане. С этими и другими удивительными открытиями, сделанными с помощью космических аппаратов и интенсивных наземных наблюдений, знакомит книга выдающегося американского астрофизика.

Для широкого круга читателей со средним образованием, желающих познакомиться с достижениями современной науки.

1984. 19 л., 1 р. 50 к.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Джеймс Д. Уотсон, Джон Туз, Дейвид Т. Курц. РЕКОМБИНАНТНАЯ ДНК: Краткий курс
RECOMBINANT DNA: A SHORT COURSE, by James D.Watson, John Tooze and David T.Kurtz. W.H.Freeman and Company ($ 27.95)

«НЕТ ВЕЩЕСТВА важнее ДНК». Астрономы, наверное, стали бы оспаривать это утверждение, но мы позволим себе с ним согласиться. В лаконичной, живой и образной форме три известных ученых и талантливый художник Дж.Кельвин знакомят читателя с основными успехами молекулярной биологии, достигнутыми к середине 1983 г. Авторы обсуждают ключевые проблемы: как живая клетка расшифровывает, корректирует и реализует генетическую информацию. Книга написана в лучших традициях журнала «Scientific American» и отличается чистотой и строгостью стиля. Всесторонний анализ проблемы занимает 18 глав. В основном обсуждаются экспериментальные данные и непосредственно следующие из них гипотезы, но в последней главе читателю открывается новый захватывающий мир — биотехнология и клиническая практика.

Книга проникнута идеей преемственности и взаимного влияния исследований. Приведена хронология основных открытий, которую сопровождают прекрасные фотографии участников событий. Невольно вспоминается другой, более подробный обзор истории молекулярной биологии — «История ДНК», опубликованная Уотсоном и Тузом в 1981 г. В той книге были лишь вкратце описаны научные достижения, которые в новом курсе рассматриваются во всех деталях. Авторы верны хронологическому принципу подачи материала. Основы молекулярной биологии как науки были заложены около 25 лет назад, когда открыли генетическую трансформацию у бактерий, затем была установлена двуспиральная структура молекулы ДНК и механизм ее репликации. В конце 60-х годов был расшифрован генетический код. Следующий взлет молекулярной биологии начался с открытия в 70-х годах ферментов рестрикции.

В первых четырех главах излагаются результаты исследований, предшествовавших генетической инженерии, вплоть до работ, посвященных регуляции экспрессии генов у видов, более эволюционно продвинутых, чем бактерии.

В главах с 5-й по 14-ю обсуждается центральная проблема генетической инженерии: как заставить клетку синтезировать нужную экспериментатору ДНК (отметим, что эта часть написана с большим искусством: понимание проблемы создается из анализа продуманных последовательных экспериментов). Решение задачи подсказано эволюцией самой жизни, которая, особенно в мире бактерий, исполнена постоянной «борьбы» между чужеродной ДНК, способной «эксплуатировать» клетку-хозяина, и клеткой, стремящейся противостоять вторжению. Так, бактерии обзавелись ферментами, которые способны по необычным «словам» в ДНК обнаружить чужеродный генетический материал. Эти ферменты рестрикции, точно ножницы редактора, разрезают текст, записанный в ДНК, в определенных местах, как бы по условным фразам. Некоторые бактерии приспособились иначе: в их клетках содержатся мини-хромосомы — кольцевые ДНК небольшой длины, которые присутствуют во множестве копий. В ответ на действие того или иного антибиотика соответствующие мини-хромосомы быстро реплицируются, и в клетке синтезируются ферменты, способные нейтрализовать молекулы данного антибиотика. Ученые — эти хитроумные «редакторы» — научились вставлять короткие «тексты» в мини-хромосомы бактерий, используя так называемые липкие концы, при помощи которых чужая ДНК встраивается в бактериальную. Клетка копирует новые, рекомбинантные молекулы наравне со своими собственными.

Природа изобрела и другие пути, которые также позволяют внедрить чужеродный генетический материал в клетку, причем эта ДНК будет воспроизводиться, даже если клетке она не нужна. Известны бактериальные вирусы; мини-хромосомы существуют не только в бактериях, но и в более высокоорганизованных клетках, например в опухолях растений, у дрожжей и даже у животных. Во всех случаях действуют механизмы, с помощью которых «типография» клетки принимает чужой текст и печатает его. В результате чужеродные фрагменты ДНК клонируются в бактериальной культуре. (Оставим на этом аналогию с полиграфическим производством, тем более что в своей книге авторы к ней не прибегают.) В настоящее время удается клонировать в бактериях последовательности длиной до 50 тыс. пар оснований. Для сравнения напомним, что одна хромосома человека в 200 раз длиннее.

Путем механического отбора с помощью светового микроскопа из культуры клеток был получен препарат Х-хромосом человека. Хромосомы разрезали на фрагменты ферментами рестрикции и ввели с помощью вируса в бактериальную клетку. В итоге получили вирусные колонии. В каждой колонии должно было содержаться множество копий того или иного фрагмента человеческой ДНК, составляющего лишь 1% или даже меньше от всей хромосомы. Бóльшая часть ДНК человека оказалась распределенной по отдельным вирусным колониям. Теперь можно было различными способами анализировать эту ДНК: картировать гены методом гибридизации, определять нуклеотидную последовательность кодирующих участков и повторов.

На этом примере ясна типичная схема получения рекомбинантной ДНК. Используя ферменты рестрикции, можно изучать фрагменты длиной в несколько нуклеотидных пар, т.е. исследовать ДНК на уровне сайтов. Прежде самое большее, что можно было различить на отдельных хромосомах, — полосы после окрашивания под микроскопом. Удавалось также цитогенетическими методами картировать хромосомы с разрешением порядка миллиона пар оснований. Авторы пишут: «В недалеком будущем мы, несомненно, сможем получить полные карты всех хромосом человека со средним разрешением, а некоторые фрагменты ДНК, важные для научных исследований и для медицины, картировать с высоким разрешением».

Рецензия дает, конечно, далеко не полное представление об этой замечательной книге. Подробное и четкое изложение материала делает ее одним из наиболее удачных пособий по молекулярной биологии, достойным продолжением фундаментального труда Дж. Уотсона о структуре и функционировании гена. К исследованиям в области молекулярной биологии судьба благоволила. Опасностей удавалось избежать, успехи же «размножались со скоростью бактерий». Такого стремительного прогресса никто не ожидал. Однако немало исследователей оставили молекулярную генетику и занялись проблемами нейробиологии как раз на заре генетической инженерии. Возможно, скоро наступит эра нейробиологии и биологии развития, но молекулярная биология останется их блестящим предшественником.

Дж.Балтитьюд. ЯБЛОНИ: ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ МЕЖДУНАРОДНЫХ СОРТОВ
APPLES: A GUIDE TO THE IDENTIFICATION OF INTERNATIONAL VARIETIES, by John Bultitude. University of Washington Press ($50)

В 1905 г. опытная сельскохозяйственная станция шт. Нью-Йорк выпустила двухтомное издание, посвященное плодовым деревьям, — «Яблони Нью-Йорка» С.Бича («The Apples of New York», S.A. Beach). В книге были описаны разнообразные сорта яблонь, текст сопровождался множеством цветных и черно-белых фотографий. Предлагаемый вниманию читателей определитель, отражая современное состояние яблоневодства, по сути представляет собой расширенный ва-

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

риант великолепного труда Бича. Дж. Балтитьюд — всемирно известный специалист по сортам яблонь, разведением их он занимался всю жизнь. В основу определителя легла замечательная коллекция National Fruit Trials, включающая 2000 сортов. В книге приводятся прекрасные цветные фотографии 250 наиболее известных сортов. На каждом снимке изображено яблоко на ветке — как удивительно разнообразие всевозможных оттенков красного, зеленого и золотистого цветов! Фотография поясняется описанием сорта и краткой историей его создания. Для того чтобы облегчить определение сортов, автор приводит также фотографии продольного и поперечного сечений плодов.

На мировом рынке представлено сравнительно немного сортов — лишь те, которые пользуются спросом у садоводов и потребителей. Тех и других объединяет стремление найти такой сорт, который бы одновременно удовлетворял целому ряду требований, касающихся урожайности яблонь, внешнего вида яблок, их размера, вкусовых качеств и возможностей хранения. В 1905 г. в США самым распространенным сортом был «болдуин»; сейчас более половины урожая яблок приходится на сорта «делишес» и «голден делишес». В Великобритании климат прохладнее, поэтому яблони сорта «делишес» дают там не такие крупные плоды, как в Америке. У англичан наиболее популярен сорт «кокс оранж пепин»: на его долю приходится более половины всего рынка. В Европе эти три сорта также широко распространены. В Австралии 56% урожая дает сорт с зелеными плодами «грани смит», в Новой Зеландии рынок более чем наполовину обеспечивают сорта «делишес» и «грани смит». Сортовое разнообразие в целом сохраняется, но в основном на периферии.

В XIX в. широко проводилась селекция яблонь путем скрещивания известных сортов. Однако наиболее удачные коммерческие сорта возникли случайно в результате соматических мутаций. Так в 1880 г. в шт. Айова на подвое спонтанно образовался побег, который дал начало сорту «делишес». Случайно получился и сорт «грани смит»: более 100 лет назад, во всяком случае до 1868 г., в Австралии некая миссис Томас Смит бросила в землю семечко, из него выросла яблоня, от которой и пошел сорт. Среди мутантов основных сортов отбирают наилучшие, часто при этом руководствуются цветом плодов. Отобранные линии размножают вегетативно — путем прививок или клонирования, потому что вести селекцию по семенам обычно не удается. Генетики постепенно начинают вмешиваться в процесс выведения новых сортов, однако пока что случаю по-прежнему принадлежит главная роль.

Любознательный читатель наверняка обратит внимание на сорт с крайне непривлекательными плодами, который к тому же дает очень низкий урожай. Это едва покрасневшее зеленое яблоко возвращает нас в сад матери Исаака Ньютона в Вулсторпе. Вот уже три столетия, как этот сорт поддерживают.

Среди героев книги — сорта «кортланд», «макинтош», «мутсус» (в Великобритании его называют «криспинс»), «норзен спайс», «астраханский красный», «джонатан», «графенштейнский», всех не перечислить. То, чего не найти на рынке, стоит поискать в каком-нибудь местном парке или старом фруктовом саду.

Издательство **МИР** *предлагает:*

Сабадвари Ф., Робинсон А.

ИСТОРИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Перевод с английского

В настоящее время единственная полная сводка по истории важнейших направлений и методов качественного и количественного анализа, написанная высокопрофессионально и снабженная обширным списком оригинальной литературы; последнее делает книгу также своеобразным историческим справочником. Написана венгерским историком Ф. Сабадвари и английским химиком-аналитиком А. Робинсоном.

Для широкого круга химиков всех специальностей.

1984, 15 л. Цена 1 р. 10 коп.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Издательство **МИР** *предлагает:*

А. Брус, Р. Каули

СТРУКТУРНЫЕ ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ

Перевод с английского

Монография посвящена изложению современной микроскопической теории критических явлений при структурных фазовых переходах. Результаты теории сопоставляются с последними экспериментами по рассеянию нейтронов, рентгеновских лучей, света. Особое внимание обращено на не решенные еще проблемы теории и наблюдаемые в экспериментах явления, не нашедшие однозначного теоретического объяснения. Книга написана с большим педагогическим мастерством.

Для научных работников, изучающих структурные, в том числе сегнетоэлектрические фазовые переходы, а также для широких кругов физиков, физикохимиков, аспирантов и студентов, интересующихся физикой твердого тела.

1984, 25 л. Цена 2 р. 80 к.

Л. Леймит

МАКЕТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Перевод с английского

Описываются методы повышения качества проектирования объектов и заводов металлургической, химической и нефтеперерабатывающей промышленности, основанные на пространственном мелкомасштабном макетировании с использованием типовых узлов и деталей. Особый интерес представляет применение макетов при решении вопроса о рациональном размещении оборудования, что позволяет обеспечить нормальные условия его монтажа, регулировки и эксплуатации.

Для инженеров, проектирующих заводы и предприятия, а также аспирантов и студентов соответствующих специальностей вузов.

1984, 48 л. Цена 3 р. 90 к.

Библиография

НЕСПОКОЙНЫЕ ГЛУБИНЫ

THE ATMOSPHERE AND THE OCEAN. R. W. Stewart in *Scientific American*, Vol. 221, No. 3, pages 76—86; September, 1969.

THE FACE OF THE DEEP. Bruce C. Heezen and Charles D. Hollister. Oxford University Press, 1971.

DEEP CIRCULATION OF THE WORLD OCEAN. Bruce A. Warren in *Evolution of Physical Oceanography: Scientific Surveys in Honor of Henry Stommel*, edited by Bruce A. Warren and Carl Wunsch. The MIT Press, 1981.

THE ENVIRONMENT OF THE DEEP SEA. Edited by W. G. Ernst and J. G. Morin. Prentice-Hall, Inc., 1982.

Бурков В. А. ОБЩАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА — Л.: Гидрометеоиздат, 1980.

ЛАВИННАЯ СЕДИМЕНТАЦИЯ В ОКЕАНЕ. Под ред. А. П. Лисицина. — Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1982.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФОРМАЦИИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА. Под ред. П. Л. Безрукова. — М.: Наука, 1979.

НАСЕЛЕНИЕ КИТАЯ

CHINA'S POPULATION: PROBLEMS AND PROSPECTS. Liu Zheng, Song Jian et al. New World Press, Beijing, 1981.

RESEARCH ON THE POPULATION OF CHINA: PROCEEDINGS OF A WORKSHOP. Edited by Robert J. Lapham and Rodolpho A. Bulatao. Committee on Population and Demography, Assembly of Behavioral and Social Sciences, National Research Council, 1981.

POPULATION TRENDS IN CHINA AND INDIA. Ansley J. Coale in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 80, No. 6, pages 1757—1763; March, 1983.

POPULATION AND BIRTH PLANNING IN THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA. In *Population Reports*, Series J, No. 25; Vol. 10, No. 1, pages J=577—J=618; January—February, 1982.

ON THE RESULTS OF THE CHINESE CENSUS. Li Chengrui in *Population and Development Review*, Vol. 9, No. 2, pages 326—344; June, 1983.

Баженова Е. С. О ПЕРЕПИСИ НАСЕЛЕНИЯ КНР. — Проблемы Дальнего Востока, № 3, 1983.

Милонов В. С. ВОПРОСЫ ЭКОНОМИКИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В КИТАЕ: научно-аналитический обзор. — М.: Изд-во ИНИОН, 1983.

«За рубежом», № 43, 1983, с. 23

КАК ГЕНЫ КОНТРОЛИРУЮТ ВРОЖДЕННОЕ ПОВЕДЕНИЕ

A FAMILY OF GENES THAT CODES FOR ELH, A NEUROPEPTIDE ELICITING A STEREOTYPED PATTERN OF BEHAVIOR IN APLYSIA. Richard H. Scheller, James F. Jackson, Linda Beth McAllister, James H. Schwartz, Eric R. Kandel and Richard Axel in *Cell*, Vol. 28, No. 4, pages 707—719; April, 1982.

A SINGLE GENE ENCODES MULTIPLE NEUROPEPTIDES MEDIATING A STEREOTYPED BEHAVIOR. Richard H. Scheller, James F. Jackson, Linda B. McAllister, Barry S. Rothman, Earl Mayeri and Richard Axel in *Cell*, Vol. 32, No. 1, pages 7—22; January, 1983.

IN SITU HYBRIDIZATION TO STUDY THE ORIGIN AND FATE OF IDENTIFIED NEURONS. Linda B. McAllister, Richard H. Scheller, Eric R. Kandel and Richard Axel in *Science*, Vol. 222, No. 4625, pages 800—808; November 18, 1983.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ГОМИНОИДОВ И ГОМИНИД

CURRENT ARGUMENT OF EARLY MAN. Edited by L.-K. Konigsson. Pergamon Press, 1980.

NEW INTERPRETATION OF APE AND HUMAN ANCESTRY. Edited by R. L. Ciochon and R. S. Corruccini. Plenum Press, 1983.

ЭКСИТОННОЕ ВЕЩЕСТВО

EXCITONS. D. L. Dexter and R. S. Knox. Interscience Publishers, 1965.

ELECTRON-HOLE CONDENSATION IN SEMICONDUCTORS. Carson D. Jeffries in *Science*, Vol. 189, No. 4207, pages 955—964; September 19, 1975.

THE ELECTRON-HOLE LIQUID IN SEMICONDUCTORS: EXPERIMENTAL ASPECTS. J. C. Hensel, T. G. Phillips and G. A. Thomas in *Solid State Physics*, Vol. 32, pages 88—314; 1977.

THE ELECTRON-HOLE LIQUID IN SEMICONDUCTORS: THEORETICAL ASPECTS. T. M. Rice in *Solid State Physics*, Vol. 32, pages 1—86; 1977.

THERMODYNAMICS OF EXCITONS. J. P. Wolfe in *Physics Today*, Vol. 35, No. 12, pages 46—54; March, 1982.

Багаев В. С., Покровский Я. Е. ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫЕ КАПЛИ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ. — Природа, 1978, № 3, с. 3—13.

ЗВУКИ МЫШЦ

A GUIDED TOUR OF THE FAST FOURIER TRANSFORM. G. D. Berglund in *IEEE*

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Издательство
МИР
предлагает:

Э. Корниш-Боуден

ОСНОВЫ МАТЕМАТИКИ ДЛЯ БИОХИМИКОВ

Перевод с английского

Очень кратко, но вместе с тем ясно и доступно изложены основные понятия и символы математики, свойства экспоненциальной и логарифмической функций, основы дифференциального и интегрального исчисления, частные производные. Математический материал иллюстрируется конкретными примерами из области биохимии, каждая глава заканчивается задачами для самостоятельного решения.

Для биохимиков, химиков и биологов, использующих математический аппарат в своих исследованиях.

1984, 7 л. Цена 60 к.

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ В МЕТЕОРОЛОГИИ, ОКЕАНОГРАФИИ И ГИДРОЛОГИИ

Перевод с английского

Излагаются проблемы, относящиеся к организации и проведению наблюдений, обработке данных и интерпретации результатов дистанционного зондирования Земли из космоса. Значительное внимание уделено применению современных средств вычислительной техники для этих целей. Приводимый справочный материал дает возможность использовать книгу как руководство при решении практических задач.

Для инженеров, аспирантов и студентов старших курсов соответствующих специальностей вузов.

1984, 41 л. Цена 4 р. 40 к.

Spectrum, Vol. 6, No. 7, pages 41—52; July, 1969.

LOW FREQUENCY SOUNDS FROM SUSTAINED CONTRACTION OF HUMAN SKELETAL MUSCLE. Gerald Oster and Joshua S. Jaffe in *Biophysical Journal*, Vol. 30, No. 1, pages 119—127; April, 1980.

MUSCLES AND THEIR NEURAL CONTROL. Geoffrey Hoyle. John Wiley and Sons, Inc., 1983.

ПРИСПОСОБИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ДОМОВОЙ МЫШИ

ADAPTATION OF MICE TO COLD. S. A. Barnett in *Biological Reviews*, Vol. 40, No. 1, pages 5—51; February, 1965.

SOCIAL RANK IN HOUSE MICE: DIFFERENTIATION BY ULTRAVIOLET VISUALIZATION OF URINARY MARKING PATTERNS. Claude Desjardins, J. A. Maruniak and F. H. Bronson in *Science*, Vol. 182, No. 4115, pages 939—941; November 30, 1973.

THE REPRODUCTIVE ECOLOGY OF THE HOUSE MOUSE. F. H. Bronson in *The Quarterly Review of Biology*, Vol. 54, No. 3, pages 265—299; September, 1979.

BIOLOGY OF THE HOUSE MOUSE: THE PROCEEDINGS OF A SYMPOSIUM HELD AT THE ZOOLOGICAL SOCIETY OF LONDON ON 22 AND 23 NOVEMBER 1979. Edited by R. J. Berry. Academic Press, 1981.

ФЛОРЕНС НАЙТИНГЕЙЛ

NOTES ON NURSING: WHAT IT IS, AND WHAT IT IS NOT. Florence Nightingale. Harrison and Sons, 1859.

THE LIFE OF FLORENCE NIGHTINGALE. Sir Edward Cook. Macmillan and Co., 1913.

STUDIES IN THE HISTORY OF STATISTICAL METHOD, WITH SPECIAL REFFERENCE TO CERTAIN EDUCATIONAL PROBLEMS. Helen M. Walker. The Williams and Wilkins Company, 1929.

VICTORIAN SOCIAL MEDICINE: THE IDEAS AND METHODS OF WILLIAM FARR. John M. Eyler. The Johns Hopkins University Press, 1979.

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

PHYSICS AND COMPUTATION. Tommaso Toffoli in *International Journal of Theoretical Physics*, Vol. 21, Nos. 3/4, pages 165—175; April, 1982.

STATISTICAL MECHANICS OF CELLULAR AUTOMATA. Stephen Wolfram in *Reviews of Modern Physics*, Vol. 55, No. 3, pages 601—644; July, 1983.

CELLULAR AUTOMATA. Stephen Wolfram in *Los Alamos Science*, pages 2—21; Fall, 1983.

DOING PHYSICS WITH MICROCOMPUTERS. Per Bak in *Physics Today*, Vol. 36, No. 12, pages 25—28; December, 1983.

WHEELS, LIFE, AND OTHER MATHEMATICAL AMUSEMENTS. Martin Gardner. W. H. Freeman and Company, 1984.

CELLULAR AUTOMATA: PROCEEDINGS OF AN INTERDISCIPLINARY WORKSHOP. Edited by Stephen Wolfram, J. Doyne Farmer and Tommaso Toffoli, in *Physica D.*, Vol. 10D, Nos. 1 and 2; January, 1984.

НАУКА ВОКРУГ НАС

IMAGING OF UNDERWATER OBJECTS. Lawrence E. Kinsler in *American Journal of Physics*, Vol. 13, No. 4, pages 255—257; August, 1945.

AT THE EDGE OF THE WINDOW. Robert Harmon and John Cline in *Rod and Reel*, No. 7, pages 41—45; March/April, 1980.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано к печати 3.05.84
По оригинал-макету. Формат 60 × 90¹/₈.
Гарнитуры таймс, гелиос.
Печать офсетная.
Объем 7,00 бум. л.
Усл. печ. л. 14,00
Усл. кр.-отт. 44,36
Уч.-изд. л. 17,57
Изд. № 36/3475. Зак. 340.
Тираж 20000. 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 издательств, полиграфии и книжной торговли.
127576, Москва, Илимская, 7

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Издательство **МИР** *предлагает:*

Р. Клейтон

ФОТОСИНТЕЗ

Физические механизмы и химические модели

Перевод с английского

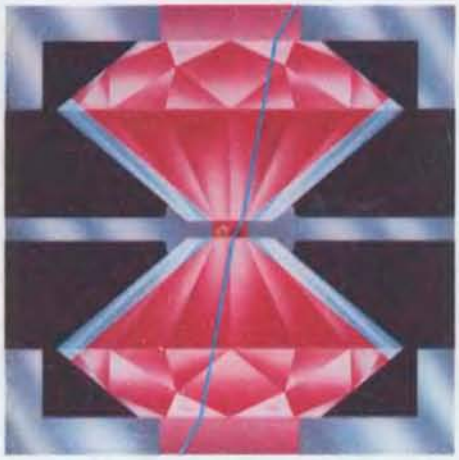
В книге одного из ведущих ученых в области фотосинтеза Р. Клейтона проблемы конверсии солнечной энергии обсуждаются и анализируются с точки зрения физики и химии. Помимо научных аспектов рассматриваются вопросы моделирования первичных электрохимических стадий природного фотосинтеза с целью построения фотокатализаторов, электрохимических ячеек, генераторов фототоков на основе органических молекул.

Для научных работников — биохимиков, биофизиков, биологов.

1984, 20 л. Цена 3 р. 30 к.

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

В следующем номере:



АЛМАЗНЫЕ НАКОВАЛЬНИ В ФИЗИКЕ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОБЛАКА,
ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЕ И СТРОЕНИЕ ГАЛАКТИК

СМЕШАННЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ: НОВЫЕ МЕТОДЫ
В ПРАКТИКЕ И ТЕОРИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

ТОРНАДО — ИХ СТРОЕНИЕ, ЭВОЛЮЦИЯ, ИЗУЧЕНИЕ

ЗРЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА И ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВИДЕНИЯ

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОСНОВЫ АДГЕЗИИ КЛЕТОК
В РАЗВИВАЮЩЕМСЯ ЭМБРИОНЕ

ГНЕЗДОВАНИЕ И ЗАБОТА
О ПОТОМСТВЕ У ДИНОЗАВРОВ

О КУЛЬТИВИРОВАНИИ РИСА В ДРЕВНЕЙШИЕ ЭПОХИ
НА ТЕРРИТОРИИ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ

ФИЗИКА В КУЛИНАРИИ: ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ
КАЧЕСТВО ДОМАШНЕГО МОРОЖЕНОГО

ТЫСЯЧЕЗНАЧНЫЕ ЧИСЛА
И КАК ИМИ ОПЕРИРУЕТ КОМПЬЮТЕР

ЦЕНА 2 Р. ИНДЕКС 91310 ISSN 0208-0621