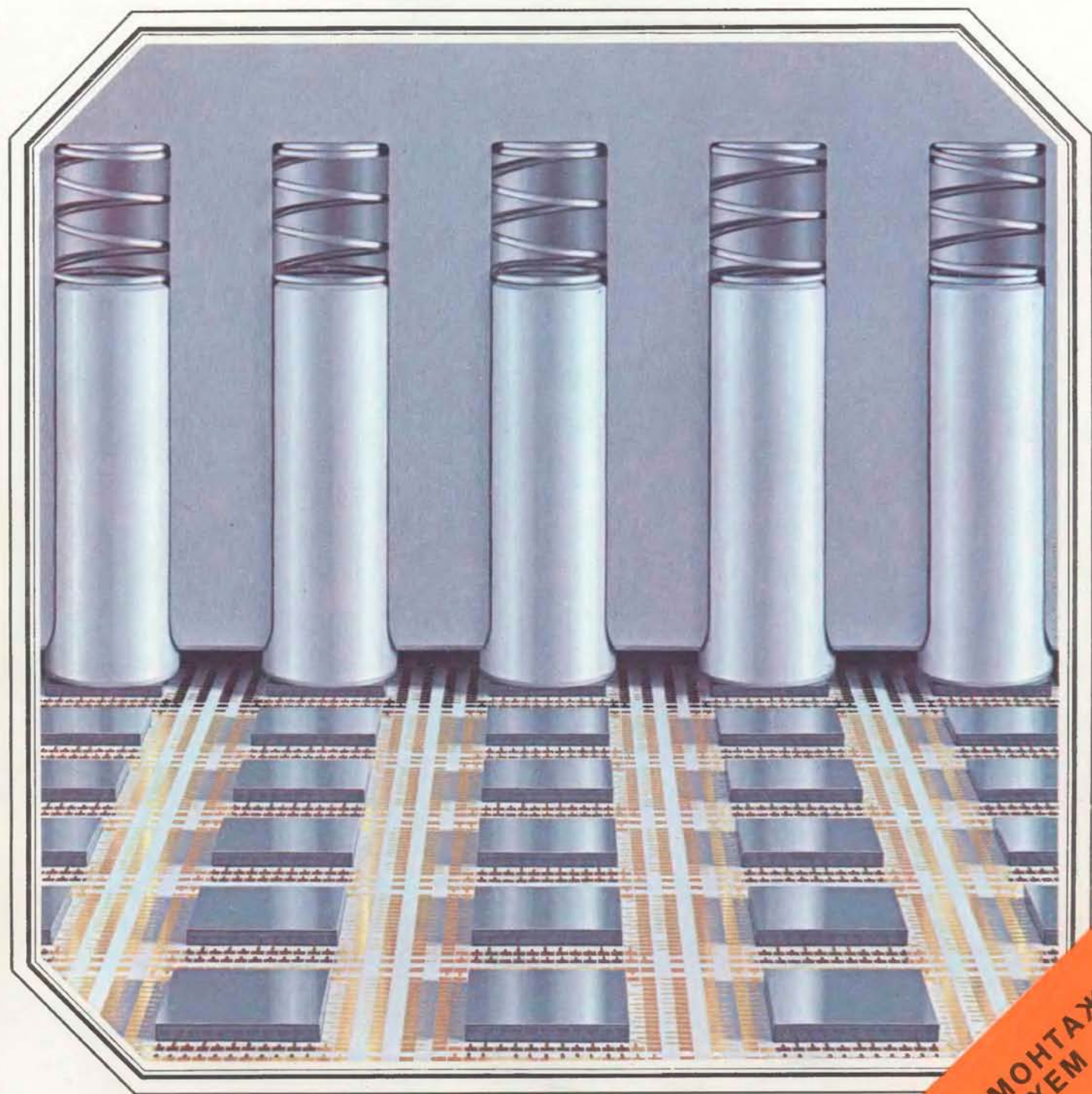


# В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC  
AMERICAN

*Издание на русском языке*



Сентябрь **9** 1983

СБОРКА И МОНТАЖ  
МИКРОСХЕМ

Издательство **МИР** предлагает:

Гааль Э., Медьешу Г., Верецкеи Л.  
**ЭЛЕКТРОФОРЕЗ В РАЗДЕЛЕНИИ  
 БИОЛОГИЧЕСКИХ МАКРОМОЛЕКУЛ**

Перевод с английского



Новая книга венгерских авторов посвящена методу, позволяющему разделять макромолекулярные вещества и исследовать каждое из них в отдельности. Рассмотрены теоретические основы электрофореза на бумаге, в колонках и блоках, в гелях, обработка электрофореграмм, особенности электрофореза белков, нуклеопротеидов, нуклеиновых кислот, гликозаминогликанов, варианты иммуноэлектрофореза. Обсуждаются следующие вопросы: теоретические и технические основы методов электрофореза; аналитический электрофорез с движущейся границей в свободной среде; зональный электрофорез на фильтровальной бумаге, других поддерживающих средах и на ацетате целлюлозы; элек-

трофорез в колонках, горизонтальных и вертикальных блоках; электрофорез в гелях (агаровом, агарозном, крахмальном, полиакриламидном); изоэлектрофокусирование и изотахофорез; методы обработки электрофореграмм для выявления зон разделенных макромолекул; электрофорез и иммуноэлектрофорез белков и ферментов; электрофорез нуклеиновых кислот, нуклеопротеидов, полинуклеотидов, гликозаминогликанов.

Книга предназначена для биологов всех специальностей, пользующихся методами современной биохимии, для врачей-лаборантов, а также для студентов и преподавателей университетов, медицинских, педагогических и сельскохозяйственных институтов.

ЗАКАЗЫ НА ЭТУ КНИГУ НАПРАВЛЯЙТЕ ПО АДРЕСУ: 129820 Москва, И-110, ГСП, 1-й Рижский пер., 2, издательство «Мир», отдел распространения. Организациям следует заверять свой заказ печатью.

Индивидуальным заказчикам книга будет выслана наложенным платежом.

1982, 30 л. Цена 3 р. 20 к.



# В МИРЕ НАУКИ

*Scientific American* · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

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

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» МОСКВА

№ 9 · СЕНТЯБРЬ 1983

*В номере:*

- СТАТЬИ**
- 4 Как раскалываются материки *Венсан Куртийо, Грегори Э. Винк*  
Материки раскалываются, и их части расходятся в разные стороны. Этот процесс длится на протяжении миллионов лет и заметно изменяет очертания материков. Изучение движения материков дает возможность получить сведения о свойствах плит, из которых состоит земная кора (Scientific American, July 1983, Vol. 249, No. 1)
- 13 Замедление темпов урбанизации в США *Лэрри Лонг, Диана де Ар*  
Впервые темпы роста сельского и городского населения сравнялись. В то же время территориальное расширение и слияние городских районов привело к появлению гигантских «сверхгородов» (Scientific American, July 1983, Vol. 249, No. 1)
- 24 Лососевые рыбы: стада, созданные самой природой *Лорен Р. Дональдсон, Тимоти Джойнер*  
Семейство лососевых, куда входят такие ценные промысловые рыбы, как лосось и форель, характеризуется исключительной генетической адаптабельностью. Это делает возможным восстановление истощенных рыбных запасов, создание новых стад и благоприятствует промышленному разведению лососевых (Scientific American, July 1983, Vol. 249, No. 1)
- 34 Обучение у морской улитки *Дэниэл Л. Элкон*  
У моллюска *Hermisenda* можно вырабатывать условные рефлексы, т.е. обучать его ассоциировать два стимула. Удалось определить нервные механизмы, лежащие в основе обучения у этой улитки; не исключено, что подобные механизмы действуют и в мозгу человека (Scientific American, July 1983, Vol. 249, No. 1)
- 46 Сборка и монтаж микронэлектронных схем *Элберт Дж. Блоджет-младший*  
Конструкции корпусов кремниевых интегральных схем, методы их монтажа и охлаждения, а также способы выполнения межсоединений оказывают существенное влияние на рабочие характеристики вычислительной машины. Главная задача конструкторов схем и машин — разместить максимальное число кристаллов ИС в минимальном объеме (Scientific American, July 1983, Vol. 249, No. 1)
- 59 Развитие листьев у пальм *Дональд Р. Каплан*  
Сложные листья растений обычно образуются в результате либо дифференцированного роста, либо избирательного отмирания клеток. Однако у пальм листья проходят своеобразный путь развития, в котором сочетаются оба этих процесса (Scientific American, July 1983, Vol. 249, No. 1)
- 66 Частицы с обнаженной прелестью *Нариман Б. Мистри, Рональд А. Полинг, Эдвард Г. Торндайк*  
Открыты частицы, в состав которых входит пятый кварк с «ароматом», известным под названием «прелесть». В этих частицах «прелестный» кварк появляется в комбинации с антикварком другого аромата, так что «прелесть» новых составных частиц не скрыта (Scientific American, July 1983, Vol. 249, No. 1)
- 80 Креольские языки *Дерек Бикертон*  
Между этими языками, на которых говорят в различных уголках земли, обнаруживается поразительное сходство. Исследования развития креольского языка на Гавайских островах позволяют предположить, что, когда дети учатся говорить, у них сначала формируется своего рода креольский язык абстрактного типа (Scientific American, July 1983, Vol. 249, No. 1)
- РУБРИКИ**
- 3 Об авторах  
22 50 и 100 лет назад  
23, 45, 77 Наука и общество  
88 Наука вокруг нас  
94 Книги  
99 Библиография

# SCIENTIFIC AMERICAN

## BOARD OF EDITORS

Gerard Piel  
PUBLISHER

Dennis Flanagan  
EDITOR

Brian P. Hayes  
ASSOCIATE EDITOR

Philip Morrison  
BOOK EDITOR

Francis Bello  
John M. Benditt  
Peter G. Brown  
Michael Feirtag  
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

© 1983 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

ЛИТЕРАТУРНЫЕ РЕДАКТОРЫ  
Л. И. Леонова  
М. М. Попова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР  
С. А. Стулов

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР  
Л. П. Чуркина

КОРРЕКТОР  
И. И. Дериколенко

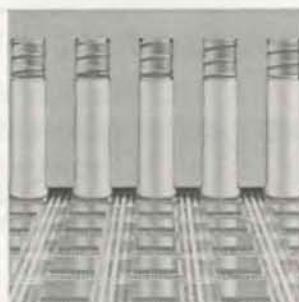
ОФОРМЛЕНИЕ ОБЛОЖКИ,  
ТИПОГРАФИКА РУССКОГО ИЗДАНИЯ,  
МАКЕТ СМЕННЫХ ПОЛОС:  
М. Г. Жуков

ТИТУЛЬНАЯ НАДПИСЬ,  
ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ:  
В. В. Ефимов

АДРЕС РЕДАКЦИИ  
129820, Москва, И-110, ГСП  
1-й Рижский пер., 2  
ТЕЛЕФОН РЕДАКЦИИ  
286.2588

© Перевод  
на русский язык и оформление:  
издательство «Мир», 1983

## На обложке



## СБОРКА И МОНТАЖ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ

Столбики, выступающие над мозаичным полом на цветной фотографии на обложке, — это часть охлаждающего модуля, который содержит более 100 кремниевых кристаллов центрального процессора большой цифровой вычислительной машины. Кристаллы смонтированы лицевой поверхностью вниз на керамической подложке, через которую к ним подходит около 12 тыс. выводов питания и сигнальных цепей. Столбики, или плунжеры, прижаты к тыльной стороне кристаллов и отводят от них тепло. Во многих ЭВМ технология монтажа и охлаждения микроэлектронных приборов представляет собой важнейший фактор, определяющий производительность центрального процессора (см. статью Элберта Дж. Блоджета «Сборка и монтаж микроэлектронных схем» на с. 46). Модуль сконструирован специалистами компании International Business Machines Corp.

## Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Marvin Mattelson

| СТР.  | АВТОР/ИСТОЧНИК  | СТР.  | АВТОР/ИСТОЧНИК  | СТР.  | АВТОР/ИСТОЧНИК   |
|-------|---|-------|---|-------|--|
| 4     | U.S. Geological Survey, EROS Data Center  | 35    | Pierre A. Henkart National Cancer Institute (вверху), Alan M. Kuzirian, Marine Biological Laboratory, Woods Hole, Mass. (внизу) | 60    | © Walter Chandoha                                      |
| 6     | Andrew Tomko  | 36    | Jerome Kuhl   | 61    | Ilil Arbel   |
| 7     | Andrew Tomko (вверху), Vincent Courtillot, University of Paris (внизу)  | 37—38 | Daniel L. Alkon, Marine Biological Laboratory, Woods Hole, Mass. (вверху), Jerome Kuhl (внизу)                                  | 62—63 | Donald R. Kaplan, University of California at Berkeley |
| 8—11  | Andrew Tomko  | 39—43 | Jerome Kuhl   | 64    | Ilil Arbel   |
| 14    | National Aeronautics and Space Administration, Toby Carlson, Pennsylvania State University, and Annabelle Carlson | 47    | International Business Machines Corporation   | 65    | Donald R. Kaplan, University of California at Berkeley |
| 15—21 | Albert E. Miller  | 48—50 | Gabor Kiss  | 67    | Allen Beechel  |
| 24    | Weststock   | 51    | International Business Machines Corporation   | 68    | Edward Bell  |
| 27    | Enid Kotschnig  | 52—54 | Gabor Kiss  | 69—75 | Allen Beechel  |
| 28—30 | Sally Black   | 55    | International Business Machines Corporation (вверху), Gabor Kiss (внизу)  | 81    | Collection of Ray Jerome Baker and Robert E. Van Dyke  |
| 31    | University of Washington  | 56    | International Business Machines   | 82    | Ilil Arbel   |
| 32    | Lauren R. Donaldson, University of Washington College of Ocean and Fishery Sciences                               |       |   | 83—86 | Edward Bell  |
|       |   |       |   | 88—92 | Michael Goodman  |

## Об авторах

Vincent Courtillot, Gregory E. Vink (ВЕНСАН КУРТИЙО, ГРЕГОРИ Э. ВИНК «Как раскалываются материки») — геофизики. Прежде чем написать совместно статью, провели независимые исследования. Куртийо — профессор, декан факультета наук о Земле в Парижском университете. Сначала учился в Парижской горной школе, затем — в США. В 1972 г. получил в Станфордском университете степень магистра по геофизике. В 1977 г. Парижский университет присвоил ему степень доктора философии по геофизике. Принимал участие в недавней французско-китайской геологической экспедиции на Тибет. Винк — аспирант Принстонского университета. В 1979 г. в Колгейтском университете получил степень бакалавра. В настоящее время работает над диссертацией, посвященной эволюции Норвежского моря и Северного Ледовитого океана в стиле тектоники плит.

Larry Long, Diana DeAre (ЛЭРРИ ЛОНГ, ДИАНА ДЕ АР «Замедление темпов урбанизации в США») — сотрудники Бюро переписей населения (БПН) США. Занимаются вопросами территориального распределения населения и его занятости. Л. Лонг работает в Центре демографических исследований БПН. Окончил Техасский университет в г. Остине, где в 1969 г. получил степень доктора философии в области социологии. До перехода в БПН выполнял исследовательскую работу в Пенсильванском университете. Д. де Ар работает в Отделении демографии БПН. Степень бакалавра получила в 1971 г. в Университете Деполя, а степени магистра и доктора философии в области географии — в Техасском университете. В БПН работает с 1975 г.

Lauren R. Donaldson, Timothy Joyner (ЛОРЕН Р. ДОНАЛЬДСОН, ТИМОТИ ДЖОЙНЕР «Лососевые рыбы: стада, созданные самой природой») — эксперты по рыбному хозяйству. Дональдсон — заслуженный профессор по рыболовству Университета шт. Вашингтон, в котором он получил степени магистра и доктора философии. С 1932 г. работал в университетском Колледже океанографии и рыбного промысла. Возглавлял работы по изучению миграции лососей в экспериментальные водоемы университета. В течение многих лет был руководителем лаборатории радиационной биологии в Университете шт. Вашингтон, в которой изучалось влияние радиоактивного излучения на живые организмы. Джойнер учился в Университете Брауна. В 1962 г. получил степень доктора философии в области рыбного

хозяйства (в частности, за исследования, которые он вел в лаборатории радиационной биологии), после чего перешел в Национальную службу морского рыбного хозяйства. В 1975 г. вышел на пенсию; в настоящее время консультант по вопросам рыбного хозяйства.

Daniel L. Alkon (ДЭНИЭЛ Л. ЭЛКОН «Обучение у морской улитки») — медик, научный работник, возглавляет отдел по изучению нервной системы в Национальном институте неврологических расстройств и инсульта. Одновременно Элкон сотрудник Лаборатории биологии моря в Вудс-Холе (шт. Массачусетс). Степень бакалавра получил в 1965 г. в Пенсильванском университете, а степень магистра — в 1969 г. в Медицинском колледже Корнеллского университета. После окончания интернатуры работал в системе Национальных институтов здравоохранения. Научные интересы Элкона включают нейрофармакологию, физиологию сенсорных систем и поведение животных.

Albert J. Blodgett, jr. (ЭЛБЕРТ ДЖ. БЛОДЖЕТ-МЛАДШИЙ) «Сборка и монтаж микроэлектронных схем» — управляющий конструкторского бюро Исследовательского центра Томаса Уотсона фирмы International Business Machines (IBM). В 1960 г. окончил Йельский университет и получил степень бакалавра. В том же году поступил на работу в конструкторское бюро фирмы IBM. Через два года был зачислен в аспирантуру Станфордского университета стипендиатом фирмы IBM. По окончании аспирантуры получил степень магистра и доктора философии по электротехнике и в 1966 г. вернулся на работу в ту же фирму. Среди прочих разработок Блоджет руководил созданием микросталлических логических модулей, на базе которых была построена система обработки данных S/360. Под его руководством разработаны также многослойные керамические модули, используемые в системах обработки данных 43XX и 308X.

Donald R. Kaplan (ДОНАЛЬД Р. КАПЛАН «Развитие листьев у пальм») — профессор ботаники Калифорнийского университета в Беркли. В 1960 г. в Северо-Западном университете получил степень бакалавра искусств, а в 1965 г. в университете в Беркли — степень доктора философии в области ботаники, после чего работал в Королевском ботаническом саду (Великобритания). Позже вернулся в США и стал сотрудником биологического факультета Калифорнийского универси-

тета в Эрвине; в 1968 г. перешел в Калифорнийский университет в Беркли.

Nariman B. Mistry, Ronald A. Poling, Edward H. Thorndike (НАРИМАН Б. МИСТРИ, РОНАЛЬД А. ПОЛИНГ, ЭДВАРД Г. ТОРНДАЙК «Частичцы с обнаженной прелестью») входят в состав группы из 75 физиков — представителей университетов, которые изучают В-мезоны с помощью детектора CLEO на Корнеллском электронном накопительном кольце CESR. Мистри — научный сотрудник лаборатории ядерных исследований Ньюмана в Корнеллском университете. Родился в Индии, окончил Бомбейский университет. В 1958 г. переехал в США и продолжал образование в Колумбийском университете, где в 1963 г. получил степень доктора философии; затем стал работать в Корнеллском университете. Полинг — научный сотрудник в Рочестерском университете, специалист в области физики и астрономии. Степень бакалавра получил в 1976 г. в Нью-Йоркском университете в Буффало, а доктора философии — в 1981 г. в Рочестерском университете. Торндайк — профессор физики в Рочестерском университете. В 1956 г. окончил Уэслианский университет, получив степень бакалавра искусств, а в 1957 г. в Станфордском университете получил степень магистра. Степень доктора философии была присуждена ему в 1960 г. Гарвардским университетом. С 1981 г. представляет Рочестерский университет в группе исследователей, работающих на детекторе CLEO.

Derek Bickerton (ДЕРЕК БИКЕРТОН «Креольские языки») говорит о себе: «Степень бакалавра я получил в 1949 г. в Кембриджском университете, но научной деятельностью не занимался до 1964 г., пока не стал преподавать английскую литературу в университетском колледже в Кейп-Косте в Гане. В 1966—1967 гг. изучал лингвистику в Лидском университете, затем перешел на должность старшего преподавателя английского языка в Университете Гайаны, в котором проработал 4 года. Некоторое время работал в Университете Ланкастера в Англии, а в 1972 г. переехал на Гавайи, где работал в Университете в Маноа. В отличие от Великобритании ученый в США должен иметь степень доктора наук. Поэтому я воспользовался правом, которое имеют выпускники Кембриджского университета, представить опубликованные работы вместо написания диссертации. В число представленных работ входила моя книга «Развитие креольской языковой системы» («Dynamics of a Creole System», Cambridge University Press, 1975). В 1976 г. мне была присуждена степень доктора. В том же году получил должность профессора».



# Как раскалываются материки

*Материки раскалываются, и их части расходятся в разные стороны. Этот процесс длится на протяжении миллионов лет и заметно изменяет очертания материков.*

*Изучение движения материков дает возможность получить сведения о свойствах плит, из которых состоит земная кора*

**ВЕНСАН КУРТИЙО, ГРЕГОРИ Э. ВИНК**

**С**ОГЛАСНО теории тектоники плит кора Земли состоит из отдельных плит толщиной примерно 100 км, движущихся относительно друг друга. На основе этой теории можно объяснить разнообразные явления. Распределение землетрясений и вулканов по земному шару связано с движением плит: их зарождением в срединно-океанических хребтах, разрушением при столкновениях или в зонах субдукции, где они погружаются в мантию Земли, а также трением одной плиты о другую вдоль границ, называемых трансформными разломами. Кроме того, сходство очертаний материков, отстоящих ныне на тысячи километров друг от друга (например, восточного края Южной Америки и западного края Африки), показывает, что когда-то они были единой плитой, которая затем раскололась, а ее части разошлись в разные стороны. Это предположение подтверждают и данные о распределении на разных материках ископаемых остатков растений и животных.

Если допустить, что в процессе движения плиты не изменяют свою форму, то их относительные перемещения можно рассчитать с помощью математических теорем, описывающих движение твердых тел по сферической поверхности. И действительно, пути, пройденные большинством крупных плит Земли за последние 150—200 млн. лет, были проанализированы специа-

листами с большой точностью. В то же время анализ движения плит, которые считаются жесткими, позволяет понять только их кинематику. Предположив, что плиты обладают жесткостью, необходимо принять также, что геометрия их границ неизменна, а это в свою очередь не позволяет построить реалистическую модель того, как раскалывается континентальная кора. Например, раскол, отделивший Южную Америку от Африки, должен был бы в этом случае возникнуть мгновенно вдоль одной линии, что совершенно невероятно.

К настоящему времени собраны многочисленные доказательства того, что участки континентальной коры действительно меняют свою форму. Самое очевидное из этих доказательств — горные хребты, образование которых часто объясняется столкновением двух плит. Кроме того, характер размещения очагов землетрясений у границ плит приводит к предположению о том, что эти границы совсем не узкие, а возникновение землетрясений на большом удалении от краев плит показывает, что разрядка напряжений, а значит, и образование деформаций могут происходить и в средней части плиты. Исследования, результаты которых описаны в этой статье, позволяют представить себе раскол континентальной коры как процесс, продолжающийся миллионы лет и развивающийся вдоль зоны шириной несколько сотен кило-

метров. Более того, эти исследования приводят к выводу, что кора в такой зоне ведет себя совсем не как жесткое тело.

**В**АЖНЕЙШИЕ доказательства в поддержку теории тектоники плит найдены на океаническом дне при изучении магнитных аномалий. В общих чертах их образование можно описать следующим образом: вулканический материал, поднимающийся из мантии и превращающийся в осевой зоне срединно-океанического хребта в новую океаническую кору, достаточно горяч, и мельчайшие магнитные частицы — домены — могут ориентироваться вдоль магнитного поля Земли. Когда материал остывает, эта ориентировка остается «запечатанной» в породе, которая тем временем отодвигается от оси хребта, а на ее месте образуется новая кора. Надо учесть, что в магнитном поле Земли происходят нерегулярные изменения и в течение каждого миллиона лет оно примерно пять раз испытывает инверсию, т.е. меняет знак на противоположный. Поэтому, когда новая океаническая кора расходится от оси хребта, это выглядит так, будто две идущие в разные стороны «ленты» гигантского магнитофона записывают характер инверсий магнитного поля Земли. По этим «записям» можно измерить возраст океанического дна и определить скорость, с которой расходятся плиты. Установлено, что эта скорость изменяется от менее 1 см до более 15 см в год. Кроме того, если ось хребта смещена по серии трансформных разломов, то картина магнитных аномалий в океанической коре должна воспроизводить это смещение.

Однако иногда расположение магнитных аномалий не согласуется со смещением оси хребта. Эти расхождения толковались вначале как внезапные «скачки» хребта на новое место. Трудность здесь состоит в том, что в некоторых случаях эти скачки так многочисленны и происходят так часто, что

ВПАДИНА АФАР на северо-востоке Африки — одно из двух мест на Земле (другое место — Исландия), где срединно-океанический хребет выходит на сушу. Ось каждого такого хребта представляет собой рифт (разлом, от которого тектонические плиты расходятся в разные стороны и где происходит становление новой океанической коры). Данные о положении рифтов во впадине Афар противоречивы. По мнению авторов, один рифт проходит из Аденского залива, расположенное на Таджикира — клювообразное ответвление Аденского залива, расположенное на снимке справа. Рифт, достигший в настоящее время озера Ассаль (непосредственно к западу от залива Таджикира), продолжает развиваться в сторону впадины и в конце концов должен соединиться с другим рифтом, распространяющимся к югу из Красного моря (вход в Красное море — в верхней части снимка, справа). Тогда этот процесс приведет к появлению новой океанической впадины. Фото-монтаж сделан из шести спектральных космических снимков, полученных со спутников «Ландсат».

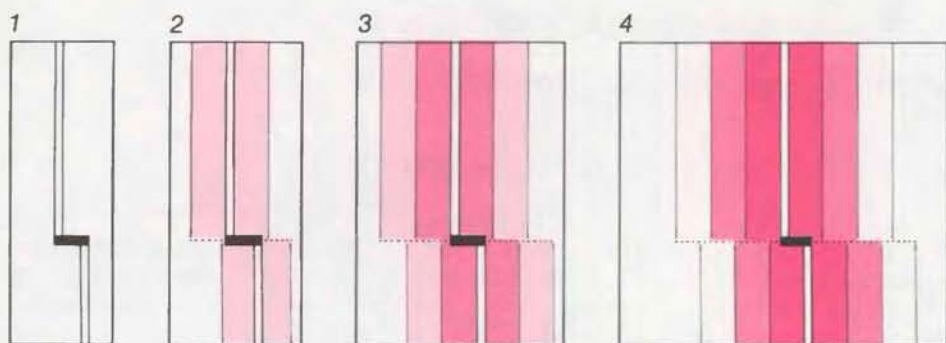
весь процесс проще считать непрерывной эволюцией границы плиты. Рассмотрим необычную V-образную картину магнитных аномалий, установленную в Тихом океане, — сначала вблизи островов Галапагос, а затем на подводном хребте Хуан-де-Фука у Тихоокеанского побережья Северной Америки. Изучая такие системы ано-

малий, Р. Хей, работавший тогда в Гавайском институте геофизики, и его коллеги — в частности, Ф. Дюннебир (Гавайский институт), У. Морган (Принстонский университет) и П. Фогт (Научно-исследовательская лаборатория ВМС США) — предложили модель, согласно которой рифт (крупный разлом в зоне растяжения

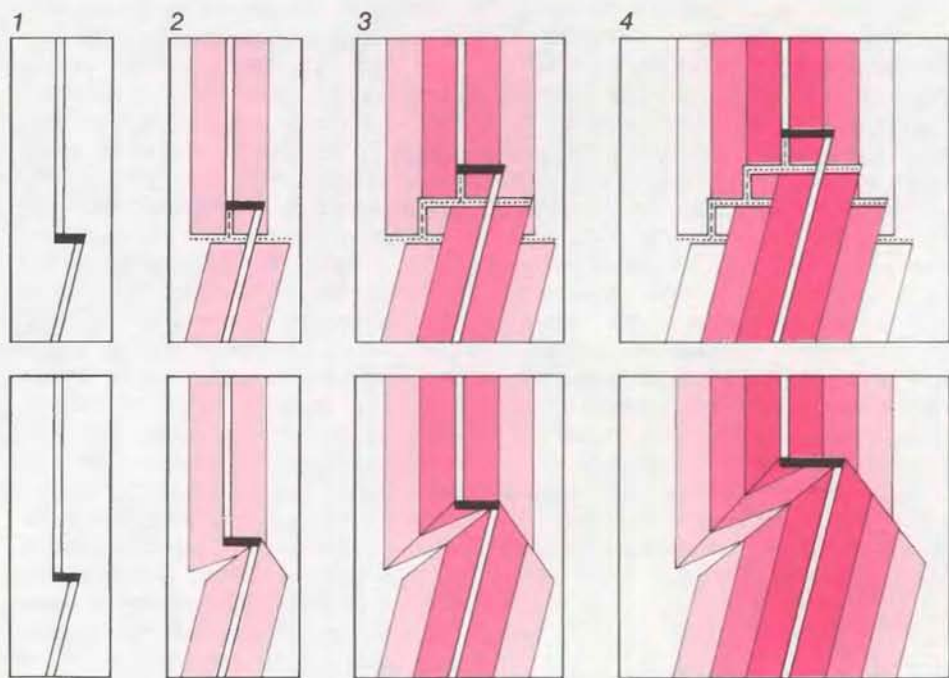
земной коры. — *Перев.*) распространяется через океаническую кору со скоростью, сравнимой со скоростью расхождения плит в стороны от него.

Как объясняют Ричард Хей и Таня Этуотер (Калифорнийский университет в Санта-Барбаре), этот процесс развивается там, где два рифта смещены трансформным разломом. Если моделировать его как последовательность отдельных стадий, то каждая такая стадия представит собой внезапный скачок, при котором конец рифта продвигается вперед, создавая новый разлом и передвигая блок океанической коры с одной стороны рифта на другую сторону, т.е. от одной плиты к другой (см. рисунки на с. 7). В результате образуется V-образный расходящийся «след» (как за кормой корабля), частично состоящий из небольших кусков коры между утратившими активность разломами. Если же считать, что процесс развивается непрерывно, как это в действительности и происходит в земной коре, то возникающий след должен представлять собой V-образную область нарушения единой картины магнитных аномалий. Р. Хей указал, что это нарушение может быть ошибочно истолковано как тектонический разрыв. (Такое толкование ошибочно потому, что никакого смещения между плитами вдоль этого нарушения никогда не отмечалось.) Поэтому Хей назвал оба ограничения V-образного «кильватерного следа» псевдоразломами.

**РАСКОЛ** континентальной коры должен включать также распространение рифтов, но детали этого процесса выяснять не удалось. В начале 70-х годов Дж. Уилсон из Торонтского университета, а также К. Берк и Дж. Дьюн из Нью-Йоркского университета (в Олбани) высказали предположение о возможной связи между «горячими толчками», тройными сочленениями и расколом континентов. Они предположили, что если какой-либо материк окажется в неподвижном состоянии относительно подстилающей мантии, то тепловые аномалии («горячие точки») в мантии могут заставить этот материк вспучиваться куполом и раскалываться на своде тремя лучами рифтов. (Образование купола и разрыв его свода часто дают трехлучевую картину нарушений, такую же, как, например, на верхней корке пирога, выпеченного в духовке.) Из трех рифтов может затем образоваться система двух активных рифтов, а третий затухнет, отомрет. (По мнению Берка и Дьюн, примеры такого развития можно найти на нарушенных разломах окраинах Атлантического океана.) Если активные рифты, распространяющиеся от разных точек тройного сочленения, соединятся, то материк окажется разделенным на части.

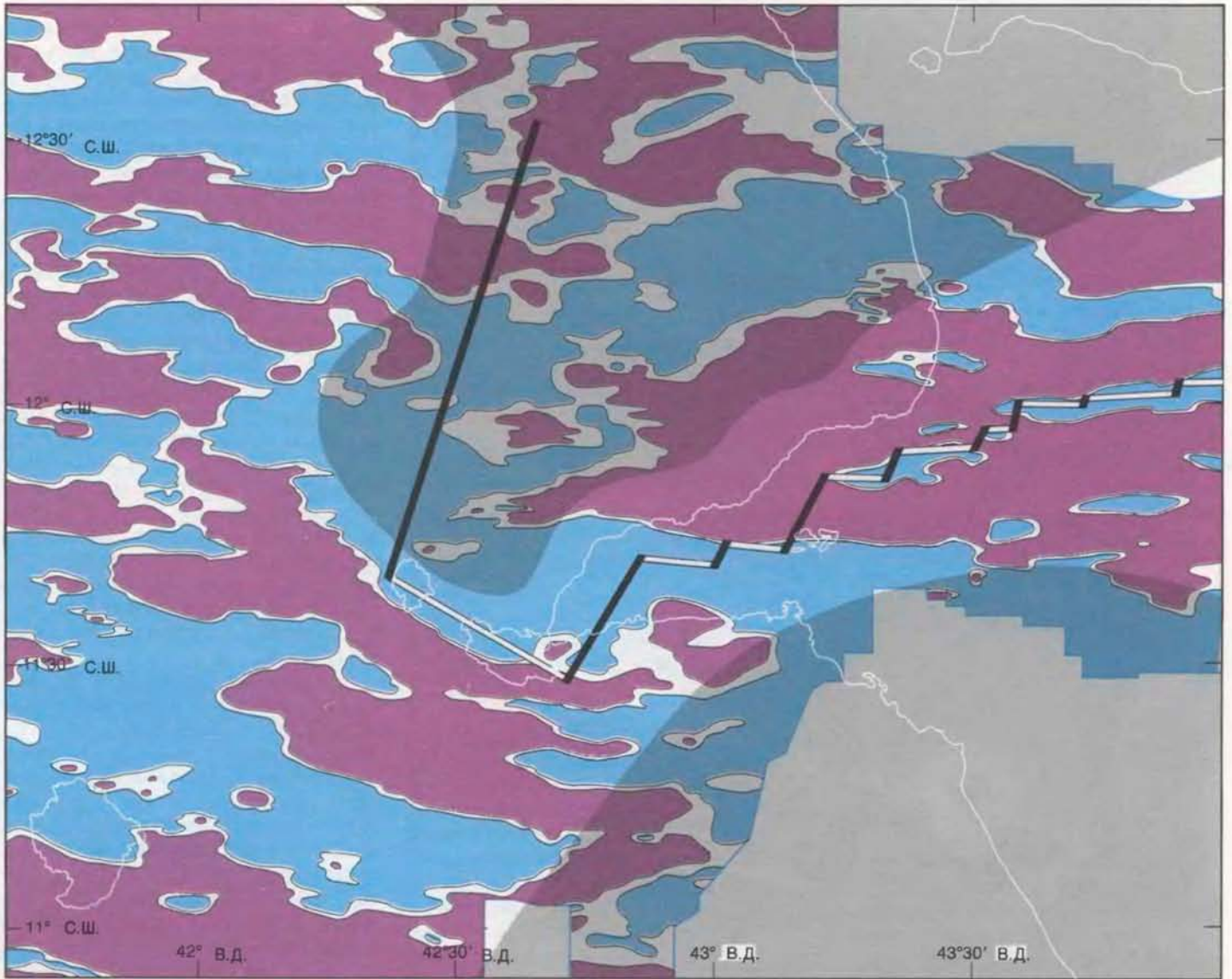


**МАГНИТНЫЕ АНОМАЛИИ** на океаническом дне — главное доказательство того, что новая океаническая кора разрастается в обе стороны от каждого срединно-океанического хребта. Сам рифт смещен (схема 1) по трансформному разлому (показан черным цветом). Новая кора образуется непрерывно. Сначала она горячая, так что ее естественная намагниченность ориентируется вдоль магнитного поля Земли. Когда кора остывает и консолидируется, эта остаточная намагниченность остается в породе; следовательно, в обе стороны от рифта расходятся полосы намагниченной коры (схема 2). Время от времени магнитное поле Земли меняет полярность — испытывает инверсию. Каждая такая инверсия создает две новые полосовые магнитные аномалии (схемы 3 и 4).



**НАРУШЕННАЯ КАРТИНА** размещения магнитных аномалий — свидетельство того, что рифты продолжают развиваться. Вверху показаны последовательные стадии развития модели, которую предложили Р. Хей и его коллеги из Калифорнийского университета в Сан-Диего. Два рифта, идущие под углом друг к другу, смещаются трансформным разломом (схема 1). Новая океаническая кора занимает свое место и разрастается в стороны; затем конец южного рифта продвигается на север, отводя отсеченный им блок новой океанической коры с восточной стороны рифта на западную, т.е. от одной плиты к другой (схема 2). Последующие эпизоды разрастания морского дна и распространения рифта (схемы 3, 4) создают V-образную область нарушения связной картины магнитных аномалий. Внизу тот же процесс показан развивающимся непрерывно: разрастание морского дна идет одновременно с распространением рифта.





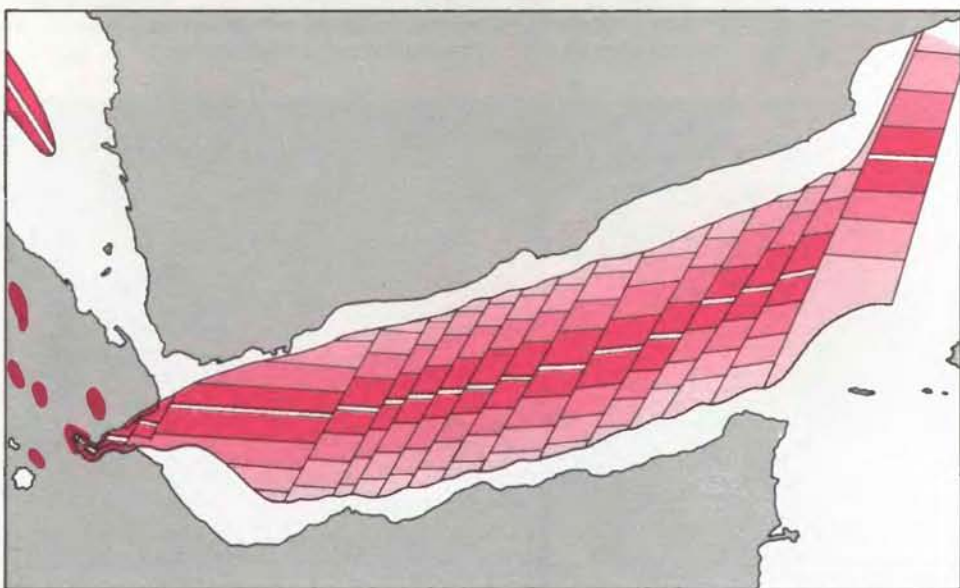
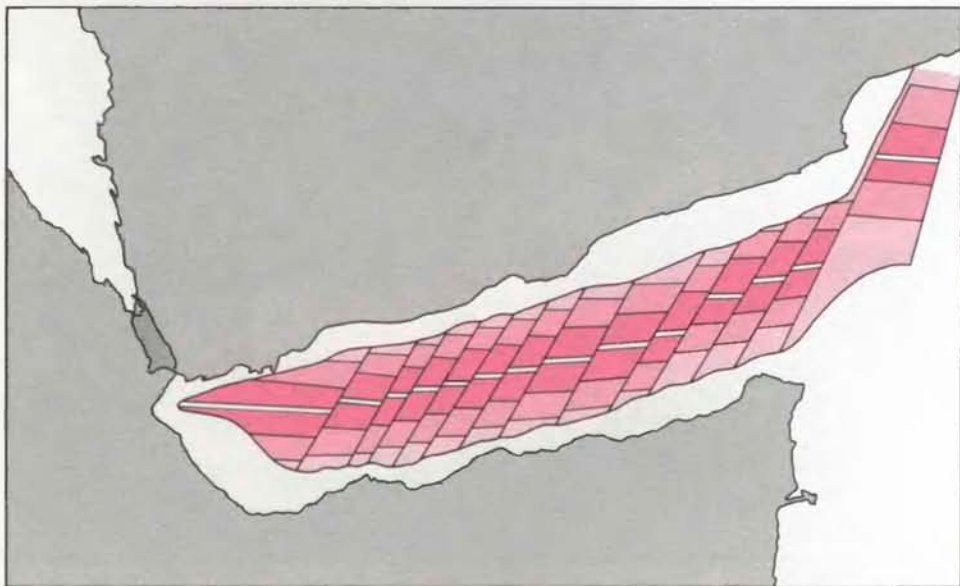
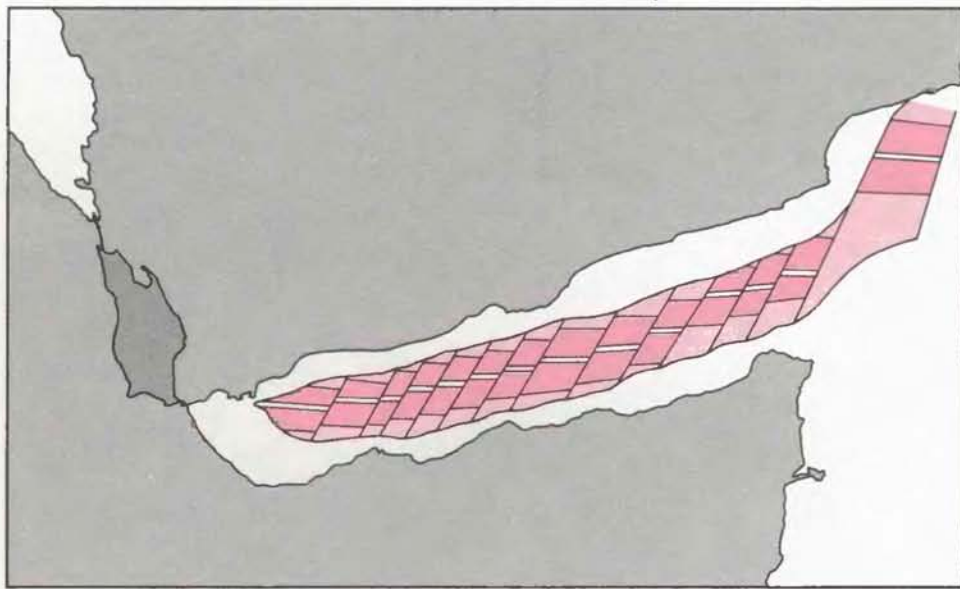
КАРТА МАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ района Афара и дна Аденского залива показывает, что на этой площади располагаются различные типы коры. В заливе аномалии (фиолетовый и синий цвет) имеют большую интенсивность и вытянутую

форму, типичную для океанической коры. В других местах, особенно в направлении на северо-восток, аномалии затухают. Область развития слабых аномалий называется зоной спокойного магнитного поля (серый цвет).



ВИД ВДОЛЬ ОСИ рифта Аденского залива. Снимок сделан с западного берега озера Ассаль, расположенного во впадине на 155 м ниже уровня моря (камера направлена на

восток). Рифт находится в центре и обрамляется с обеих сторон сбросами, которые идут параллельно его оси, образуя серию уступов.



**РЕКОНСТРУКЦИИ АДЕНСКОГО ЗАЛИВА.** Так он выглядел 10 млн. лет назад (вверху) и 7 млн. лет назад (в середине). Реконструкции строятся следующим образом: из современной карты магнитных аномалий на дне залива (внизу) вырезается площадь, занятая аномалиями моложе указанного возраста. Направление распространения рифта — с востока на запад. Перекрытие между Аравией и Африкой (темно-серый цвет) показывает, что в процессе образования рифта плиты растягиваются. Активные вулканические хребты на современной карте (ярко окрашены) свидетельствуют о деформации коры.

Позднее были высказаны еще две гипотезы. Согласно предположению Моргана, рифт развивается вдоль следа «горячей точки». Движение материка над такой тепловой аномалией в подстилающей мантии приводит к появлению на земной поверхности цепочки вулканов. Одновременно на глубине эта тепловая аномалия вызывает уменьшение толщины и ослабление прочности коры, что облегчает ее раскалывание — образование рифта. Другая гипотеза предложена Р. Хеем и П. Фоггом. Они считают, что процесс, напоминающий модель распространения рифта в океанической коре, мог бы быть в некоторой степени причиной развития рифтов и на материках. Однако модель для океанического дна предусматривает, что, когда один рифт продвигается, другой должен отступать. Таким образом, эта модель только объясняет изменение геометрической формы уже существовавших границ плит, но ее нельзя применять для объяснения раскола континента, т.е. для процесса, в котором образуется новая граница.

И в данном случае важную роль играют сведения о магнитных аномалиях. В 1977 г. один из авторов (Куртийо), работая с Ж.-Л. Ле Муэлем и А. Галдеано (из Парижского университета), составил магнитную карту одного из районов западной части Аденского залива и прилегающей части суши, относящейся к впадине Афар в пределах Эфиопии и Республики Джибути. Афар — это своего рода естественная лаборатория, где процесс разрастания морского дна можно изучать без препятствий, создаваемых тысячами метров морской воды. Как и Исландия, Афар представляет собой обнаженный участок мировой системы срединно-океанических хребтов. Многие исследователи считают, что в этой сухопутной обстановке можно получить важные сведения об основном механизме процесса рифтообразования. Еще в 1938 г. французский палеонтолог и философ П. Тейяр де Шарден был убежден, что Афар — место, где должна проверяться теория дрейфа континентов А. Вегенера. Позднее ученые, погружавшиеся в научно-исследовательских подводных аппаратах к поверхности Срединно-Атлантического хребта у 37° с.ш. в ходе океанологических работ по франко-американскому проекту FAMOUS, были поражены сходством рифта в Афаре с тем, что они видели под почти трехкилометровой толщиной воды.

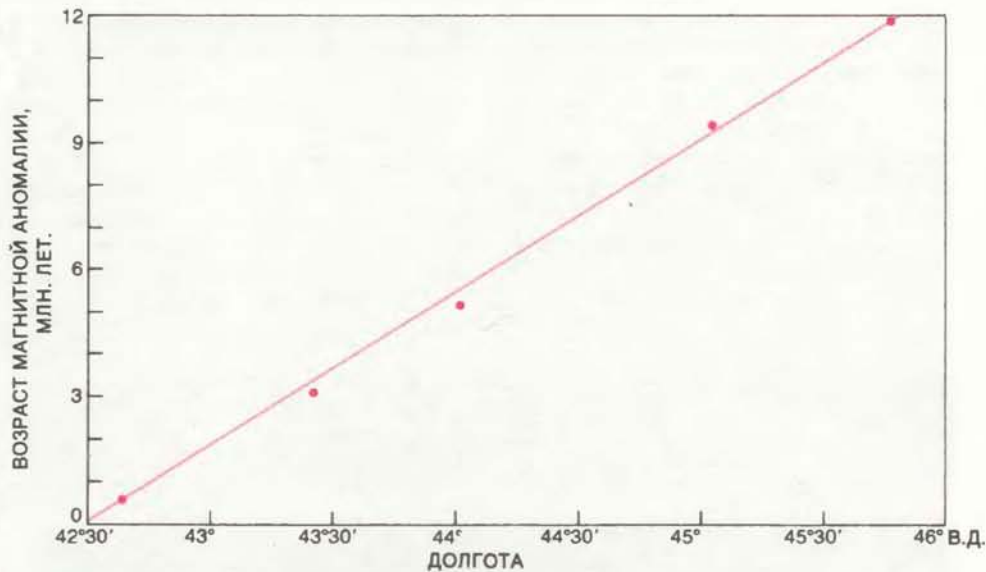
**НАИБОЛЕЕ** ясное указание на то, какие геологические события произошли в Афаре, дают магнитные карты (см. рисунок на с. 7 вверху). На этих картах видно, что в данном районе контактируют два различных типа коры.

В коре одного типа магнитные аномалии очень интенсивны и образуют параллельные полосы, что типично для аномалий, возникающих при разрастании морского дна. Полосовые аномалии коррелируются с периодами между инверсиями магнитного поля Земли, поэтому их можно датировать. В коре другого типа магнитные аномалии шире, имеют более округлые контуры и меньшую интенсивность. Область развития таких аномалий можно охарактеризовать как зону спокойного магнитного поля.

Зона спокойного магнитного поля имеет форму огромного расходящегося клина, резко нарушающего связную картину, характерную для океанической коры. Эта зона срезает полосы магнитных аномалий, омечающие разрастание морского дна; следовательно, возраст ее границ можно установить достаточно точно. В Аденском заливе, между 45 и 46° в.д., эти границы образовались около 10 млн. лет назад: они срезают магнитные аномалии, соответствующие океаническому дну такого возраста. К западу края зоны постепенно становятся моложе. Вблизи озера Ассаль в Афаре они совсем молоды. Ряд отмеченных там землетрясений и рождение нового вулкана в районе озера Ассаль в ноябре 1978 г. подтверждают, что сегодня окрестности этого озера — район повышенной тектонической активности.

Самое простое истолкование различных наблюдений состоит в том, что рифт распространяется на запад в район ранее сформировавшейся океанической и континентальной коры. Края зоны спокойного магнитного поля возникли в течение прошлых эпизодов продвижения рифта, во время которых создавалась новая океаническая кора. В результате этого процесса образовался Аденский залив. Угол между краями V-образного клина составляет около 30° и соответствует простой тригонометрической зависимости между скоростью разрастания морского дна при раскрытии Аденского залива (1,5 см в год) и скоростью продвижения рифта на запад (3 см в год).

Такая интерпретация подтвердилась при изучении сейсмической активности данного района, которое провели Ж.-К. Рюгг и Ж.-К. Лепин из Парижского университета. Они отметили, что очаги землетрясений, возникающих под Аденским заливом, группируются в полосу 10-километровой ширины, идущую почти вдоль рифта. (Положение самого рифта определяется по рельефу дна залива и по самой молодой магнитной аномалии.) Полоса очагов землетрясений переходит от Аденского залива в залив Таджура и далее совпадает с рифтом Губбэт — Ассаль, который идет от залива Таджура к озеру Ассаль. Там она, по-видимому, заканчивается,



СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ рифта, проходящего по дну Аденского залива, определена путем сравнения нескольких реконструкций. По горизонтальной оси откладывается положение западного конца магнитной аномалии, а по вертикальной — ее возраст. Наклон линии, соединяющей точки на диаграмме, дает значение скорости распространения 3 см в год. Окончание линии в точке, где возраст равен нулю, а долгота — около 42°30', показывает, что к настоящему времени рифт распространился до озера Ассаль.

и там же, как мы считаем, находится в настоящее время конец продвигающегося на запад рифта. Западнее озера Ассаль границы сейсмичного района становятся расплывчатыми, из чего можно заключить, что кора здесь деформируется на более широкой площади.

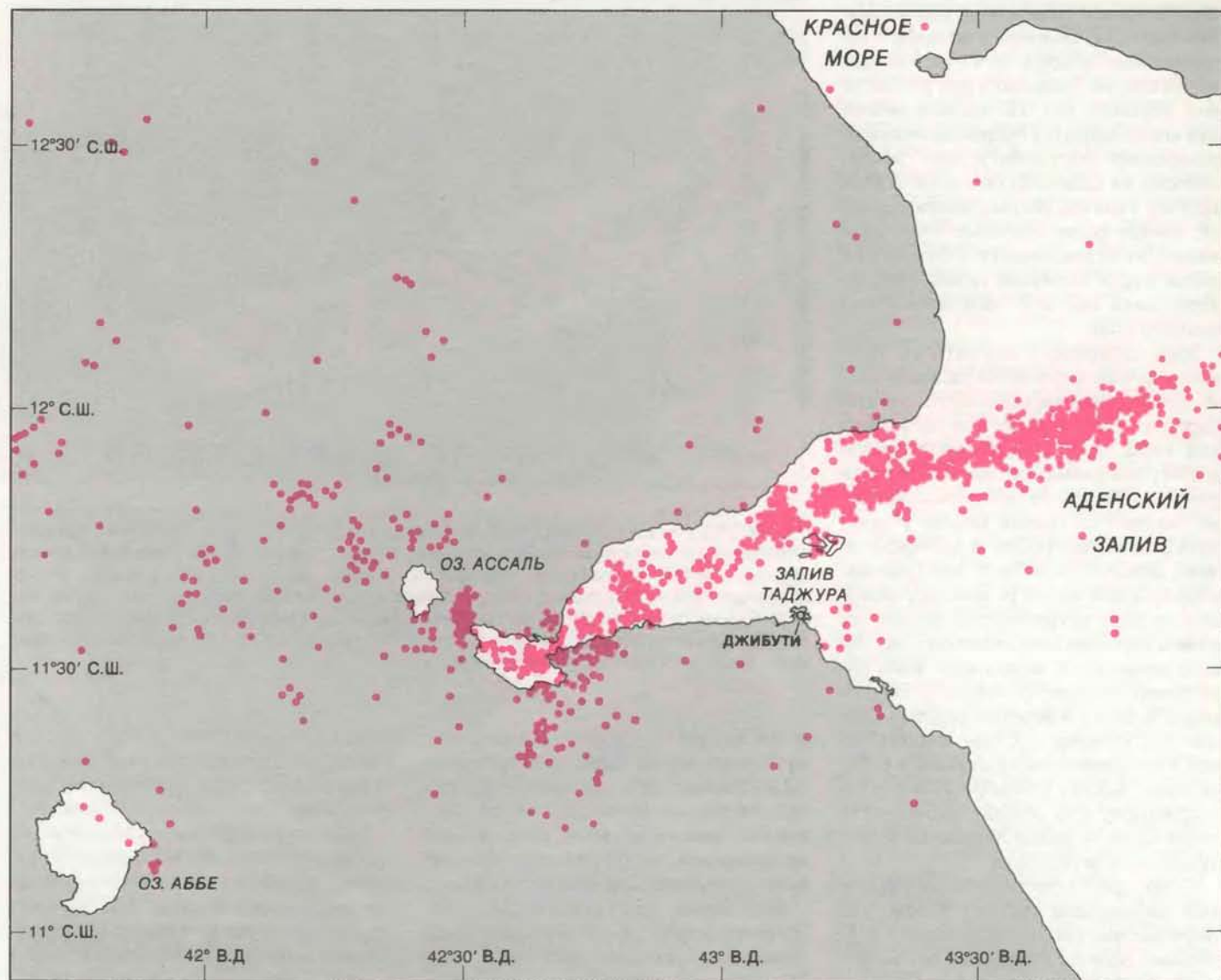
Еще одним доказательством могут служить возраст и химический состав базальтов Афара, которые определили М. Трэй (Парижский университет), Ж. Варе (Бюро геологических и горных исследований Франции) и О. Ришар (Парижский университет в Орсе). Базальты — это вулканические породы, слагающие океаническую кору. Те базальты, которые залегают по берегам залива Таджура, имеют толеитовый состав: они обеднены оливином, но содержат ортопироксен. Такие базальты образуются при частичном плавлении больших масс мантийного материала под срединно-океаническим хребтом. Ближе к озеру Ассаль и к окончанию рифта базальты становятся более щелочными, т.е. богаче натрием и калием. Это указывает на меньшую степень частичного плавления, чем при образовании толеитов. В обоих случаях возраст базальтов почти совпадает с возрастом океанической коры соответствующих районов, определенным по магнитным аномалиям.

**ИТАК**, главный признак продолжающегося рифтообразования во впадине Афар — это резкое изменение отчетливо выраженной картины магнитных аномалий океанического типа на пересечении с краем континента, сильно нарушенным разломами. Поэтому

зона спокойного магнитного поля в Афаре может считаться участком континентальной коры, изменившим свои очертания в ходе развития рифта.

В других районах мира также имеются признаки постепенного распространения рифтов, в ходе которого очертания материков менялись. Эти признаки обнаруживаются при попытках реконструкции древних континентов, когда ученые пытаются определить, как выглядела континентальная кора до раскола. В этих случаях обычно стремятся как можно точнее совместить противоположные края материков, разделенных ныне океаном. Каждый блок поворачивают вокруг оси, проходящей через центр Земли [и через некоторый центр («полус») вращения плит, находящийся на земной поверхности. — *Перев.*], пока магнитные аномалии одного и того же возраста не совпадут. Если края этих блоков образовались мгновенно и, следовательно, параллельны самым древним магнитным аномалиям океанического дна, возникшего после раскола древнего материка, то реконструкция будет удачной: границы отдельных фрагментов точно совпадут и при этом определится время раскола. Если же рифт развивался постепенно, то хорошей реконструкции не получится: поскольку края разных блоков образуются не в одно и то же время, они будут срезать магнитные аномалии.

В таких случаях совмещение краев континентов не позволяет определить конфигурацию, которую имел древний материк до раскола. Для правильной реконструкции надо совместить точки, где началось образование рифта. Кон-



ЭПИЦЕНТРЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, зарегистрированных в районе Афары в 1974 — 1980 гг. исследователями парижского Института физики Земли. Сосредоточение эпицентров вдоль узкой полосы подтверждает положение рифта.

К западу от окончания рифта эпицентры рассеяны по большой площади; следовательно, там кора испытывает деформацию.

туры материков в этом случае местами будут прекрывать, но так и должно быть. Это представляет собой результат растяжения континентальной коры, происходящего тогда, когда рифт продвигается вперед и разрывает кору.

По-видимому, именно такой процесс происходил в Аденском заливе. Если, например, мы попытаемся реконструировать относительное положение Африканской и Аравийской плит, существовавшее 10 млн. лет назад (этот возраст имеет магнитная аномалия, известная как аномалия номер 5), то увидим, что берега залива смыкаются. Более того, обнаружится, что у  $43^{\circ}30'$  в.д. границы плит перекрываются. Десять миллионов лет назад там находилось окончание рифта. Этим объясняется факт, отмеченный в 1970 г. А. Лоттоном и его сотрудниками из английского Национального института океанографии и подтвержденный Дж. Кохраном из Геологической обсервато-

рии Ламонт-Догерти: к западу от меридиана  $43^{\circ}30'$  в.д. аномалия 5 и более древние аномалии не прослеживаются.

Перекрытия обнаружены и в реконструкциях, выполненных одним из авторов (Винком) для Северной Атлантики. В частности, перекрытие контуров северной Гренландии и Шпицбергена означает, что растяжение на краях обоих этих массивов достигает 100 км. Другой пример — совмещение контуров Южной Америки и Африки. Классическая реконструкция выполнена Э. Буллардом из Кембриджского университета. В качестве границ материков Буллард использовал изобаты (линии одинаковой глубины моря) 1000 м по обе стороны Атлантического океана и поворачивал их относительно одного и того же центра вращения. Была разработана программа для ЭВМ, обеспечивавшая минимальные зияния и перекрытия. Но и в этом случае оставалось зияние шириной 250 км между

южной оконечностью Африки и краем подводного плато, на котором расположены Фолклендские (Мальвинские) острова. Работы по проекту глубоководного бурения, проводившиеся Скриппсовским океанографическим институтом, подтвердили, что Фолклендское плато — блок континентальной коры, т.е. опущенная часть Южной Америки. Зияния здесь быть не могло. Если выполнить реконструкцию таким образом, что это зияние будет закрыто, то контуры Южной Америки и Африки перекроются.

В любом случае магнитная съемка Южной Атлантики показывает, что самые древние аномалии океанического дна не параллельны краям Южной Америки и Африки. Эти съемки подтверждают предположение, что рифт, послуживший причиной образования южной части Атлантического океана, развивался постепенно. Наиболее древние магнитные аномалии (одна

возрастом 135 млн. лет у края Африки, а другая возрастом 127 млн. лет у Южной Америки) прослеживаются только в самой южной части океана. Следовательно, дно Атлантики стало разрастаться на юге в то время, когда на севере Африка и Южная Америка еще оставались единым материком. Рифт тогда так далеко еще не распространился.

Имеющиеся данные позволяют составить следующую схему развития рифта, приводящего к расколу материка и образованию новой океанической впадины. Сначала на плите появляется система тектонических нарушений — возможно, вдоль существовавшей раньше ослабленной зоны; это может быть, например, древняя шовная зона (возникшая при более раннем столкновении континентов), или крупная система сдвигов (тектонических разрывов с горизонтальным смещением), или же, как предположил Морган, след «горячей точки». Допустим, что образовавшиеся нарушения лежат в линейной зоне со средней шириной 200 км — как в Рифтовой долине Восточной Африки. При дальнейшем развитии этих нарушений континентальная кора испытывает растяжение и мощность ее уменьшается. Тем не менее относительное движение плит, связанное с этим процессом, незначительно: общее растяжение ограничивается несколькими десятками километров и длится несколько десятков миллионов лет.

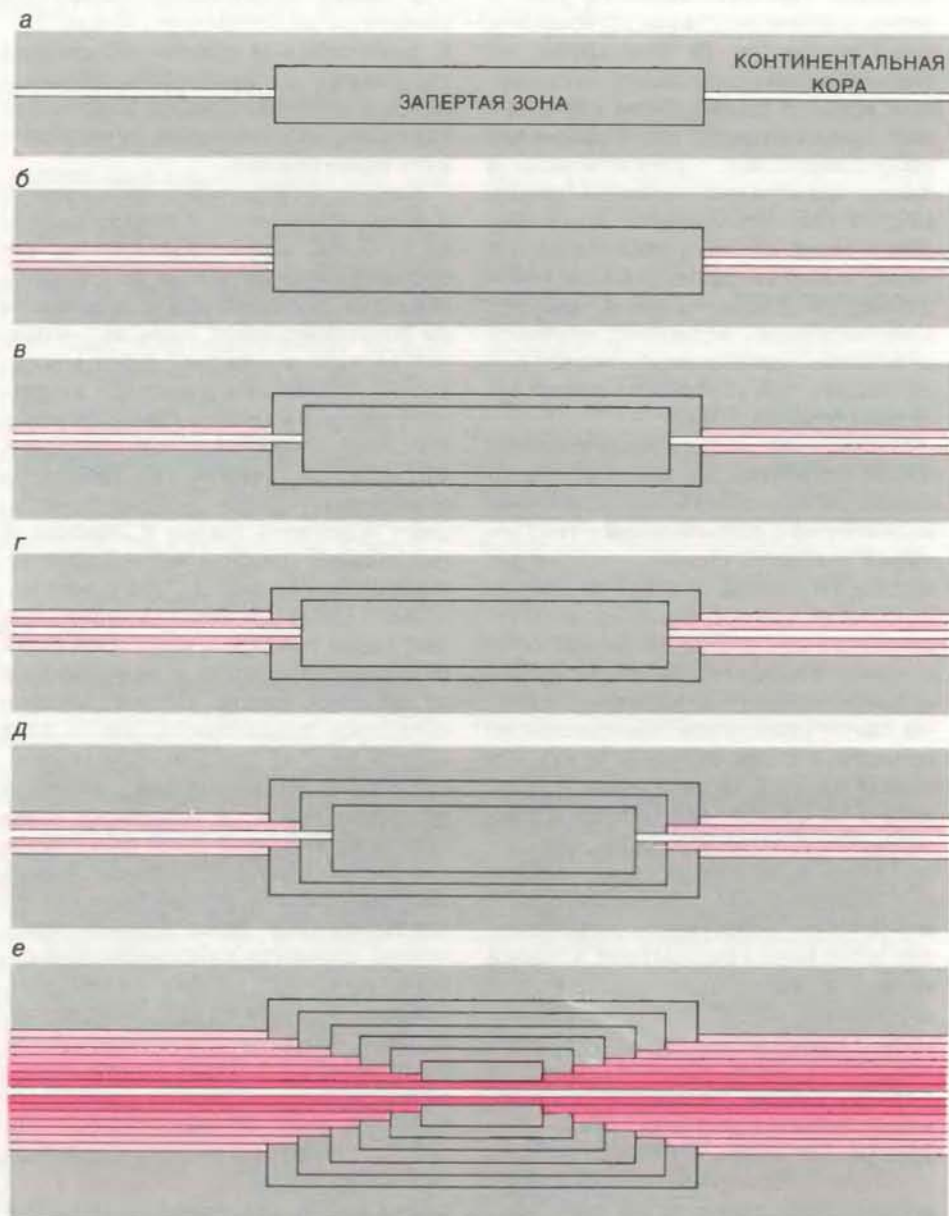
Продолжение процесса растяжения коры приводит к тому, что длина будущей границы плит растет, а прочность коры уменьшается. Однако едва ли механика этого процесса везде имеет одинаковый характер. Поэтому плиты местами продолжают оставаться скрепленными друг с другом, хотя эти «запертые» зоны не могут предотвратить разрыв коры на участках между ними. На таких участках начинается формирование базальтовой океанической коры. Иначе говоря, начинается рифтообразование. Рифты быстро удлиняются, разрывая ставшую тонкой кору. Окончания рифтов входят в оставшиеся запертые зоны и постепенно размывают их.

Рассмотрим теперь какую-нибудь одну запертую зону. Как и в модели Хейя для разрастания морского дна, здесь проще разобраться, представив действительный непрерывный процесс в виде последовательности дискретных стадий. На первой стадии концы рифтов с обеих сторон достигают границы запертой зоны (см. рисунок справа). По всей длине каждого рифта создается новая океаническая кора — она заполняет пространство при расхождении двух плит. Однако внутри запертой зоны новая кора не образуется, следовательно, эта зона должна растягиваться.

На следующей стадии концы рифтов проникают на какое-то расстояние в запертую зону. На этих новых приращениях рифта растяжение коры прекращается и также формируется океаническая кора. Следовательно, бывшие участки запертой зоны, разрезанные рифтом, присоединяются к расходящимся плитам. В остальной части запертой зоны, куда рифты еще не проникли, продолжается растяжение.

Процесс продолжается до тех пор, пока рифты не встретятся и две плиты не окажутся полностью разделенными. От запертой зоны остаются только следы деформации на краях обоих новообразованных континентов. Деформация максимальна в тех местах, где континенты дольше всего были в соприкосновении.

Эту модель можно усовершенствовать, представив процесс непрерыв-



РАСКОЛ МАТЕРИКА на две отдельные плиты представлен в соответствии с моделью, которую разработал один из авторов (Куртийо), в виде дискретных стадий. Процесс начинается вдоль существующей ослабленной зоны. Однако кора неоднородна и поэтому в некоторых местах не поддается быстрому разрушению. На рисунке показана одна такая «запертая зона», не дающая двум рифтам соединиться (а). По всей длине каждого рифта формируется новая океаническая кора: она заполняет место, освободившееся при расхождении частей расколотой континентальной коры. При этом в запертой зоне должно происходить растяжение (б). Затем концы рифтов начинают проникать внутрь этой зоны (в). Формируется новая порция океанической коры, а в оставшейся части запертой зоны растяжение продолжается (г). Концы рифтов сближаются (д). В итоге рифты соединяются и плита разделяется на две части (е). Следы существования запертой зоны сохранились на краях обоих новых материков в виде деформированных участков. Эту модель можно представить и в непрерывном развитии; тогда размер запертой зоны и скорость сближения рифтов будут меняться во времени, а деформированные участки будут иметь разные очертания.

ным. Тогда получается — и это достаточно естественно, — что если такие параметры, как скорость распространения рифта, меняются во времени, то деформация создает различные очертания континента. Например, такие очертания, которые определенно будут перекрываться, если попытаться совместить края расколовшихся континентов. Это означает, что продвижение рифтов замедляется, когда рифты начинают рассекать запертую зону, а затем, в конечной стадии раскола, оно снова ускоряется. (В этом случае деформированная зона имеет затупленный край.) В более общем плане модель предсказывает, что деформация раскалывающейся континентальной плиты захватывает краевую полосу каждой новообразованной плиты шириной около 100 км, а также запертые зоны, которые растягиваются очень сильно. Разрушение коры в запертой зоне послужило, возможно, причиной отсутствия интенсивных магнитных аномалий в зоне спокойного магнитного поля впадины Афар.

Однако если считать Афар запертой зоной, находящейся в процессе деформации, то надо искать второй развивающийся рифт, сопряженный с тем, который способствовал раскрытию Аденского залива. Рифтовую долину Восточной Африки, имеющую долгую историю очень слабых движений, нельзя считать подходящим «партнером»; это, по-видимому, отмирающий рифт. На такую роль лучше подходит более молодая и более активная структура южной части Красного моря. Р. Гердлер и П. Стайлс, работавшие в Университете г. Ньюкасл-Апон-Тайн, попытались идентифицировать магнитные аномалии Красного моря, чтобы можно было сопоставить разрастание дна этого моря с раскрытием Аденского залива. Задача осложнялась сильно нарушенной структурой дна Красного моря и малой скоростью его расширения. К настоящему времени Гердлеру и Стайлсу удалось распознать две вероятные фазы разрастания: одну — 30—15 млн. лет назад, а вторую — более молодую, начавшуюся 5 млн. лет назад и продолжающуюся по сей день. Магнитная съемка, проведенная Г. Рёзером (Федеральный институт наук о Земле и природных ресурсов, Ганновер), показывает наличие в Красном море V-образной зоны океанических аномалий — совершенно такой же, как в Аденском заливе. Зона спокойного магнитного поля Красного моря, по-видимому, соответствует более ранней фазе разрастания.

Конец этого гипотетического рифта, способствующего раскрытию Красного моря, находится сейчас между 15 и 16° с.ш. Расстояние от этого места до окончания Ассальско-Аденского рифта 300 км. Таким образом, это и есть дли-

на предполагаемой запертой зоны Афара, которой еще предстоит испытать раскол. Сравнение структуры впадины Афар с описанной выше моделью позволяет сделать вывод, что запертая зона имела здесь сначала длину 750 км и ширину 150 км. Следовательно, рифты уже «вгрызлись» в эту зону с обеих сторон примерно на 200 км. Экстраполяция современного темпа распространения рифтов приводит к заключению, что данная запертая зона полностью расколется менее чем через 10 млн. лет. К этому времени средняя деформация растяжения составит 80% первоначальной ширины. Та часть зоны, которая расколется последней, будет растянута вдвое сильнее.

Как результаты наших исследований в Афаре согласуются с предположением Уилсона, Берка и Дьюи о том, что образование рифтов связано с куполообразным воздыманием и разрушением континентальной коры над «горячей точкой» в мантии? Афар многократно упоминался в научной литературе как один из самых ярких примеров тройного сочленения, возникающего над «горячей точкой». Три луча этого сочленения — рифт Красного моря, рифт Аденского залива и Эфиопский рифт (самая северная часть Восточно-Африканского рифта). Наши данные, однако, говорят о том, что рифты продвигаются в Афаре к некоторой точке будущего соединения, а не расходятся от какого-то центра. Один из авторов (Куртийо) предположил, что в ходе первой фазы во впадине Афар образовался коленообразный рифт, который послужил причиной раскрытия Красного моря и оставил после себя Рифтовую долину Восточной Африки. Форма «колена» связана, возможно, с уже существовавшими ранее зонами ослабленной прочности и неоднородного состава коры. Вторая фаза активности, продолжающаяся и в настоящее время, привела, вероятно, к раскрытию Аденского залива и вызвала второй эпизод разрастания дна Красного моря. Снова появился рифт коленообразной формы, но, поскольку запертая зона Афара еще не расщелена им, развитие этого рифта пока не завершено. Таким образом, Афарское сочленение можно считать результатом наложения двух коленообразных рифтов.

**ПРОДВИГАЮЩИЕСЯ** через континент и раскалывающие его рифты будут, несомненно, найдены не только в районе Афара. Вероятный кандидат — Калифорнийский залив, несмотря на то, что его сравнительно малые размеры и сильная нарушенность трансформными разломами очень затрудняют интерпретацию данных о магнитных аномалиях. Процесс распространения рифтов заслуживает тщательного изучения, хотя бы пото-

му, что образование сбросов и грабенов на континентальных окраинах и последующее осадконакопление в возникших впадинах оказывают решающее влияние на формирование нефтеносных толщ. Кроме того, изучение рифтообразования может помочь разобрататься в механических свойствах континентальной коры. Например, по данным о расположении рифтов, развитие которых привело к разделению Южной Америки и Африки, можно предположить, что запертые зоны имеют характерную длину около 400 км, ширину около 150 км, а расстояние между такими зонами составляет в среднем 700 км. Эти данные указывают также на то, что разрастание морского дна начинается (т.е. океаническая кора начинает заполнять пространство между стенками рифта) тогда, когда вдоль будущей границы на большей ее части (примерно 2/3) прочность земной коры ослабевает и кора уже не может сопротивляться раскалыванию.

Пытаясь понять, как раскалываются плиты на протяжении тысяч километров, мы проводили анализ для интервалов времени не более чем 1 млн. лет и для расстояний порядка сотен километров. Мы установили, что в таких масштабах времени и пространства очертания участков континентальной коры изменчивы. Среди различных способов, позволяющих изучить развитие деформации коры, ключевую роль играют два метода: детальное исследование океанических магнитных аномалий и столь же детальное исследование краевых зон материков. Чем решительнее мы отойдем от предположения, что тектонические плиты жесткие и не меняют своей формы, тем легче нам будет выработать верное представление о том, как происходит их развитие.

# Замедление темпов урбанизации в США

*Впервые темпы роста сельского и городского населения сравнялись. В то же время территориальное расширение и слияние городских районов привело к появлению гигантских «сверхгородов»*

ЛЭРРИ ЛОНГ, ДИАНА ДЕ АР

**О**ДНОЙ из важнейших черт современного общества с демографической точки зрения является преимуществом рост городского населения над сельским. Урбанизация, а также сопровождающий ее процесс промышленного развития исторически отличали развитые страны от развивающихся. В странах с интенсивным экономическим развитием обычно отмечается наличие двух тенденций, способствующих растущей роли городских районов. Первая состоит в том, что число жителей в городах увеличивается быстрее, чем население страны в целом. Вторая тенденция отражает стремительный рост населения отдельных сельских районов, превращающихся в городские. В США обе эти тенденции в области урбанизации действовали почти непрерывно по крайней мере с 1790 г., когда начали проводиться переписи населения каждые десять лет.

С другой стороны, подробные данные переписи 1980 г. показывают, что в США в период с 1970 по 1980 г. эти две традиционные тенденции претерпели значительные изменения. В течение этого десятилетия первая тенденция вообще прекратила свое существование, т.е. темпы роста сельского и городского населения сравнялись. В настоящее время по-прежнему действует лишь вторая тенденция: в упомянутый период многие сельские районы достигли значительной численности населения и были переклассифицированы в городские. И если бы население в тех районах, которые в 1970 г. считались сельскими, не росло, то впервые за всю историю США доля городского населения уменьшилась бы. Как рост городов в значительной мере зависит от экономических факторов, так и спад их роста также имеет экономические причины. Данные говорят о том, что увеличение населения сельских районов в значительной мере объясняется развитием в них промышленности.

Хотя замедление роста городов приняло широкие масштабы, оно никоим образом не является повсеместным. В северо-восточной части страны пре-

кратили свое существование оба типа урбанизации. На юге и западе они продолжают действовать, правда, медленнее, чем в прошлые годы. Более того, нынешние тенденции различаются и по территориальному признаку. В 50—60-х годах действовала общая тенденция переселения городских жителей в пригородные районы. Во многих случаях и в 70-е годы города и близлежащие пригороды продолжали терять население. При этом отдаленные пригороды разрастались как по численности населения, так и по площади. В результате этого городские районы США стали иметь большую площадь с меньшей плотностью населения.

**Г**ОРОДСКИЕ районы, расширяющиеся территориально, могут в конце концов встретиться с другими такими же районами. Срастание расположенных по соседству городов в течение 70-х годов привело к образованию «сверхгородов», сплошных урбанизированных территорий с населением 1 млн. или более человек. Рост сверхгородов показывает, что нынешние демографические тенденции не обязательно должны вызывать изменение структуры крупных городских центров. Однако экономические преимущества размещения промышленности в городах исчерпывают себя. Поэтому в перспективе, видимо, получат развитие новые, менее концентрированные формы человеческих поселений.

Чтобы установить количество людей, живущих в городских районах, требуется определить понятие «городской», что само по себе может показаться несложным. Можно, например, просто сосчитать число людей, живущих в пределах черты города. Но при этом не будут учтены жители пригородов, которые, конечно же, также относятся к городскому населению. Более того, естественно возникает вопрос о том, сколько жителей должен иметь населенный пункт, чтобы считаться городом.

Существует много способов идентификации городского и сельского насе-

ления. Бюро переписей населения США (БПН) использует различные методы для подсчета городской части населения. Самое старое понятие города включает в себя все инкорпорированные (получившие статус города) населенные пункты с 2,5 тыс. или более жителей. В подобную широкую категорию почти неизбежно попадают некоторые районы, которые нельзя назвать городскими. Согласно другой идентификации, отвечающей современному понятию, городом считается пункт с населением 50 тыс. или более жителей с прилегающими застроенными районами с плотностью населения по крайней мере 1000 человек на 1 кв. милю. Этот урбанизированный район состоит из так называемого центрального города, близлежащих (внутренних) и отдаленных (внешних) пригородов.

Понятие урбанизированного района появилось в результате анализа данных переписи населения США, проведенной в стране в 1950 г. Основанием для его введения явился быстрый рост пригородов в период после второй мировой войны. Урбанизированный район дает довольно полное представление о демографических границах города в отличие от административных, которые часто не соответствуют пределам распространения урбанизации.

Мелкие города, не имеющие пригородов, с числом жителей менее 50 тыс., но более 2500, согласно терминологии БПН, называются «прочими городскими поселениями». Территория, лежащая за пределами как урбанизированных районов, так и мелких городов, считается сельской.

Для анализа последних тенденций в области роста городского и сельского населения мы использовали данные переписи 1980 г., которые были сопоставлены с результатами трех предшествующих переписей, в результате чего было осуществлено последовательное сравнение тенденций в области народонаселения, его плотности и территориального распределения в США с 50-х по 80-е годы.

**НАИБОЛЕЕ** общим и существенным выводом, к которому мы пришли, является то, что в 70-е годы уровень урбанизации впервые перестал расти. Население урбанизированных районов по-прежнему растет, но уже не такими темпами, как в сельской местности. В связи с этим доля населения страны, проживающая в урбанизированных районах, больше не увеличивается. В 1950 г. в этих районах США проживало 46% населения, в 1960 г. — 53%, а в 1970 — 58%. В 1980 г. эта цифра по-прежнему оставалась на уровне 58%, а в настоящее время в некоторых районах США она даже сокращается.

Если же урбанизированные районы распределить по времени, к которому они выросли в достаточной степени, чтобы их можно было так классифицировать, то снижение уровня урбанизации представится нам еще более быстрым. Самыми старыми урбанизированными районами являются те, что были классифицированы так в 1950 г. В 50-х и 60-х годах эти города росли зна-

чительно быстрее, чем население страны в целом. К 70-м же годам, однако, среднегодовой прирост населения в старых городских районах, составлявший 0,8%, был значительно ниже, чем рост населения всей страны, составлявший 1,1%. И если бы не прирост населения в новых урбанизированных районах, превышавший средний уровень по стране, то доля населения, проживавшая в крупных городах, даже уменьшилась бы.

Эти данные говорят о том, что рост более старых городских центров — одна из двух основных тенденций урбанизации — прекратился в США в 70-х годах. Замедление роста старых городов было очень стремительным. В 50-е годы (включая 1960 г.) темпы роста населения в старых и во вновь возникших городских центрах были в 23 раза больше, чем в остальной местности. В 60-е годы (включая 1970 г.) этот показатель снизился до 16. В течение 70-х годов население в городских районах лишь незначительно росло быст-

рее, чем на остальной территории США, что было вызвано быстрым ростом населения в районах, отнесенных к сельским по классификации 1970 г. Это явление стало беспрецедентным в демографической истории США.

При использовании более широкой концепции урбанизированного района можно сделать заключение, что в течение 70-х годов наблюдалось фактическое уменьшение уровня урбанизации. С учетом мелких городов в 1950 г. городских жителей в США было 64%, в 1960 г. — 70%, в 1970 г. — 73,5%, а в 1980 г. этот показатель снизился до 73,3%.

Спад, составляющий менее одного процента, может быть, и не столь велик, но значение его не в величине, а в том, что он наступил после длительного периода непрерывного роста. Преимущество концепции более широкого определения городской территории состоит в том, что ее можно применять к данным переписей, проведенным в прошлом. Уровень урбанизации как тако-



«ТЕРМАЛЬНЫЙ ОСТРОВ» района вокруг Лос-Анджелеса и Лонг-Бича в шт. Калифорния. На карте показаны дневные температуры на поверхности. Данные получены с помощью спутника, запущенного НАСА и обработанные компьютером. Белым цветом показана самая высокая температура, синим — самая низкая, темно-зеленым, светло-зеленым и красным — промежуточные температуры. Термальный

остров — это область повышенной температуры, вызванной высокой плотностью человеческих поселений. Самая жаркая часть — район промышленных сооружений (белый цвет в верхней правой части). Лос-Анджелес и Лонг-Бич образуют урбанизированный район с населением городов свыше 50 тыс. жителей и плотностью в пригородах 1000 человек на 1 кв. милю.



вой уменьшался лишь один раз — в период с 1810 по 1820 г. Спад был вызван приростом населения в нескольких сельских штатах Среднего Запада, вошедших в состав США в результате Луизианской покупки\*.

Замедление роста городского населения может оказаться временным явлением, которое при изменении экономических факторов, таких, например, как цены на горючее, будет полностью переориентировано. Однако представляется более вероятным, что мы являемся свидетелями фундаментального демографического изменения, вызванного не уменьшением абсолютной численности городского населения, а стремительным увеличением темпов роста населения в сельской местности. Его

численность претерпела незначительный спад в 50—60-х годах. В течение же 70-х годов сельское население увеличилось на 12%, т.е. темпы его роста практически сравнялись с темпами в урбанизированных районах и на 9% превысили темпы роста населения в мелких городах. Таким образом, демографический рост за пределами больших городов происходил скорее за счет сельской местности, а не мелких городов.

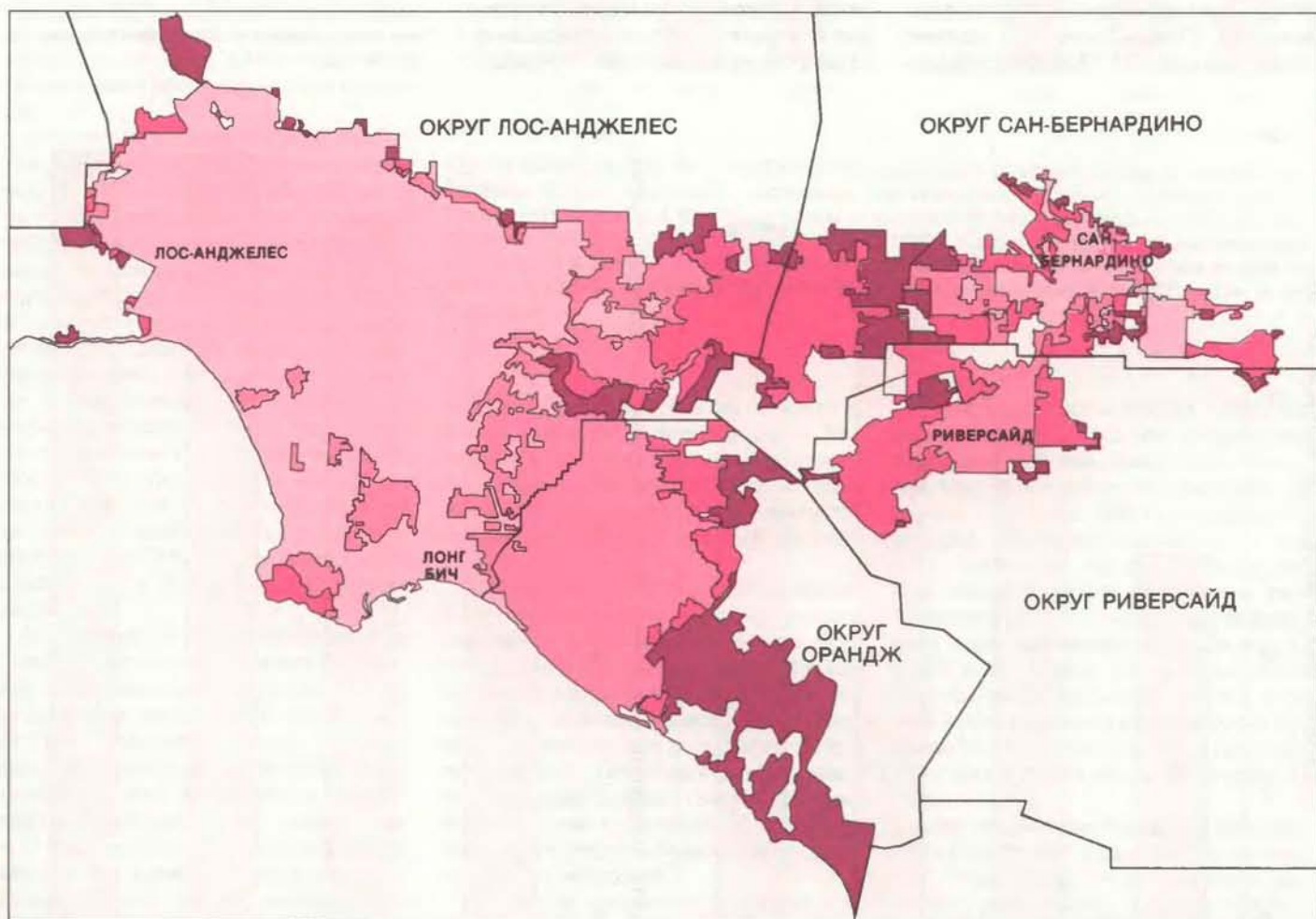
**В ЦЕЛОМ** по США в 70-х годах темпы урбанизации сокращались, хотя в различных районах страны этот процесс происходил не одинаково. Для целей переписи населения Соединенные Штаты Америки разделены на четыре крупных региона. Северо-Восточный регион включает в себя штаты Новой Англии, а также Нью-Джерси, Нью-Йорк и Пенсильванию. В Северный центральный регион входят штаты Великих озер, а также штаты Айова, Канзас, Миссури, Небраска, Северная и Южная Дакота. Южный и Западный

регионы включают остальные штаты, причем самым южным штатом Южного региона является Техас.

В 70-х годах в Северо-Восточном регионе население урбанизированных районов сократилось с 34,8 млн. до 34,4 млн. человек. Доля городского населения по отношению к населению всего региона в целом уменьшилась с 71 до 70%. Кроме того, за десятилетие в этих штатах не возникло ни одного нового городского района. Следовательно, Северо-Восток представляет собой в высшей степени урбанизированный, демографически зрелый регион, в котором уровень урбанизации несколько понизился, так как прекратили свое действие обе основные тенденции урбанизации.

**В СЕВЕРНОМ** центральном регионе имело место незначительное увеличение населения в городских районах — с 31,5 млн. до 31,9 млн. человек. Население же за пределами городских районов росло гораздо более высокими

\* Речь идет о покупке в 1803 г. Соединенными Штатами Америки у Франции обширной территории (885 тыс. кв. миль), простирающейся от Миссисипи до Скалистых гор и от Мексиканского залива до Британской Америки. — Прим. перев.



«СВЕРХГОРОД» Южной Калифорнии включает в себя урбанизированные районы Лос-Анджелеса, Лонг-Бича, Сан-Бернардино и Риверсайда. По мере территориального расширения происходит сращивание городских районов и образование «сверхгородов», т.е. непрерывно застроенных агломераций с населением в миллион или более человек. Показаны границы урбанизированных районов Южной Ка-

лифорнии, установленные в результате переписей: 1950 года — самый темный тон, 1960 года — темный тон, 1970 — светлый тон и 1980 — самый светлый тон. К 1980 г. районы Лос-Анджелеса — Лонг-Бича и Сан-Бернардино — Риверсайда слились в огромный «сверхгород». Подобный рост в целом сопровождался уменьшением плотности населения в городских районах.

темпами, что привело к снижению доли городских жителей с 56 до 54%. С другой стороны, более поздние по времени городские центры в Северном центральном районе (зафиксированные в качестве таковых в 1960 и 1970 гг.) имели темпы роста, превышавшие средний уровень по региону. Кроме того, наблюдался быстрый рост населения в ряде местностей, в связи с чем они были переклассифицированы в городские районы. В результате этого в общем населении Северного центрального региона понижение уровня урбанизации явилось лишь следствием сокращения доли населения в более старых городских центрах.

В Южном и Западном регионах уровень урбанизации возрастал в соответствии с действием основных тенденций. Любопытная деталь: хотя Запад часто считают регионом «обширных открытых пространств», в действительности же он столь же урбанизирован, что и Северо-Восточный регион. В период с 1970 по 1980 г. доля населения, сосредоточенного в урбанизированных районах Запада, возросла до 69%; в то же время доля городского населения в Северо-Восточном регионе сократилась до 70%. Подобное поразительное

сравнение подчеркивает различие между демографическим и географическим содержанием урбанизации — различие, являющееся весьма важным для анализа современных тенденций в этой области. Хотя большая часть территории на Западе не урбанизирована, большинство населения региона живет в городах.

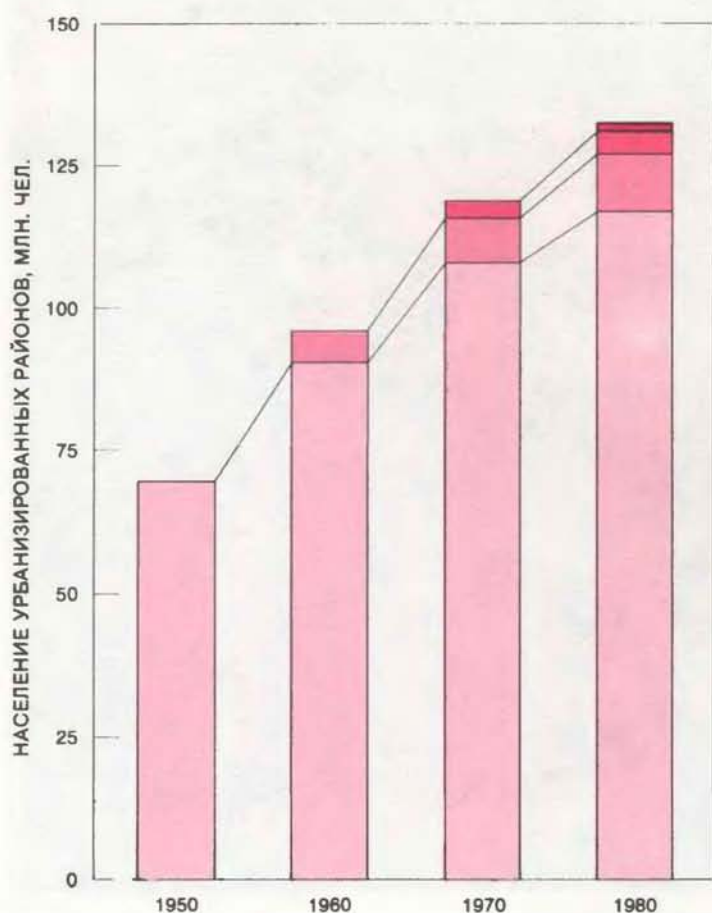
Представляется вероятным, что уровень урбанизации на Западе будет с течением времени выше, чем в Северном центральном и Южном регионах. На Юге население городских районов увеличилось с 29 млн. до 36 млн. человек, что в 1980 г. составило 48% всего населения региона. Как на Западе, так и на Юге относительный прирост населения в городских районах был в 70-х годах ниже, чем в течение двух предшествующих десятилетий.

Когда мы изучали результаты переписей по отдельным штатам, то обнаружили, что «рурализация», т.е. увеличение доли сельского населения, была широко распространенным явлением, наблюдавшимся в штатах с весьма различными уровнями концентрации населения в городских районах. Рурализация в течение 70-х годов происходила в 18 штатах, что значительно превышает

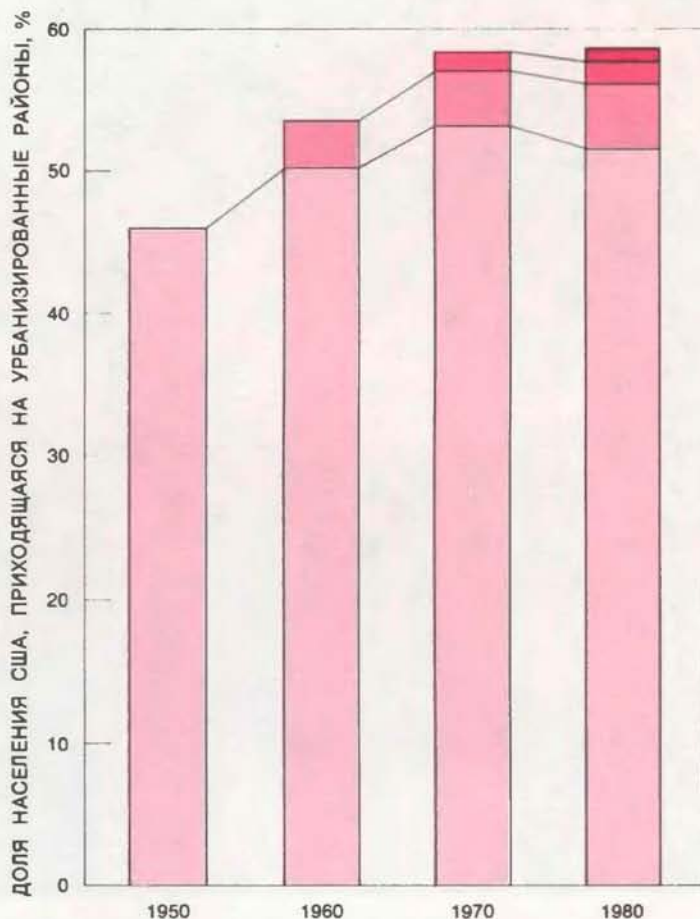
масштабы этого процесса в течение 60-х годов, имевшего место тогда лишь в 4 штатах. Среди упомянутых 18 штатов есть такие, где отмечается стремительный рост всего населения, например Техас и Оклахома, и такие, где общая численность населения уменьшается, как, например, шт. Нью-Йорк. Процесс рурализации можно заметить как в штатах с высоким уровнем урбанизации, так и в тех, где значительная доля населения живет в сельской местности. И действительно, изменение тенденции в противоположном направлении оказалось столь полным, что в 70-х годах было всего лишь 3 штата, где абсолютная численность сельского населения уменьшалась. В 60-х же годах уменьшение сельского населения наблюдалось в 29 штатах.

Ярким примером повсеместного процесса сельского демографического роста в 70-х годах является та часть Восточного побережья, которая часто именуется Мегалополисом\*. Термин

\* Мегалополис (от греч. mégas — большой и pólis — город) — гигантское скопление городов. Применяется для обозначения сверхкрупных агломераций городов. — Прим. перев.



- ПО ПЕРЕПИСИ 1950 Г.
- ПО ПЕРЕПИСИ 1960 Г.
- ПО ПЕРЕПИСИ 1970 Г.
- ПО ПЕРЕПИСИ 1980 Г.



УРОВЕНЬ УРБАНИЗАЦИИ почти прекратил рост. Верхние части колонок диаграмм соответствуют новым урбанизированным районам, которые добавились после переписей 1950, 1960, 1970 и 1980 гг. В период с 1970 по 1980 г. население городских районов продолжало расти (слева). Однако в результате роста населения в сельской местности доля населения урбанизированных районов росла незначительно (справа). Если бы не стремительный рост городских районов, зафиксированный в 1980 г., то эта доля сократилась бы.

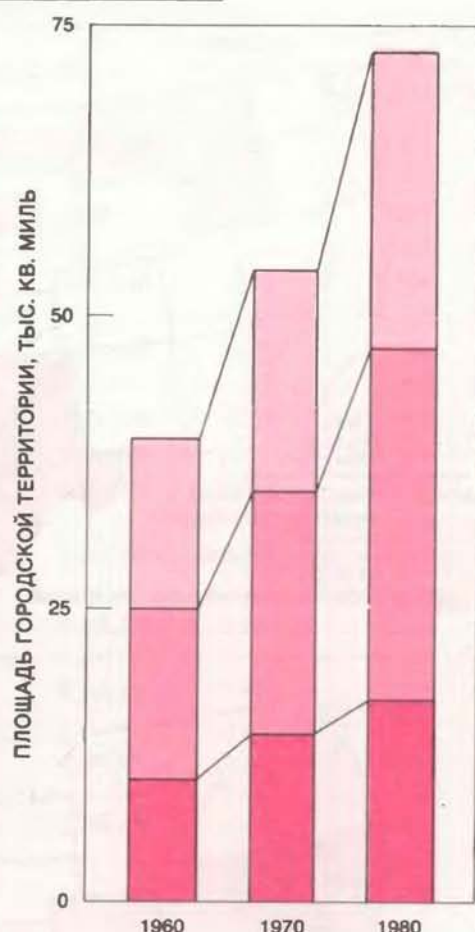
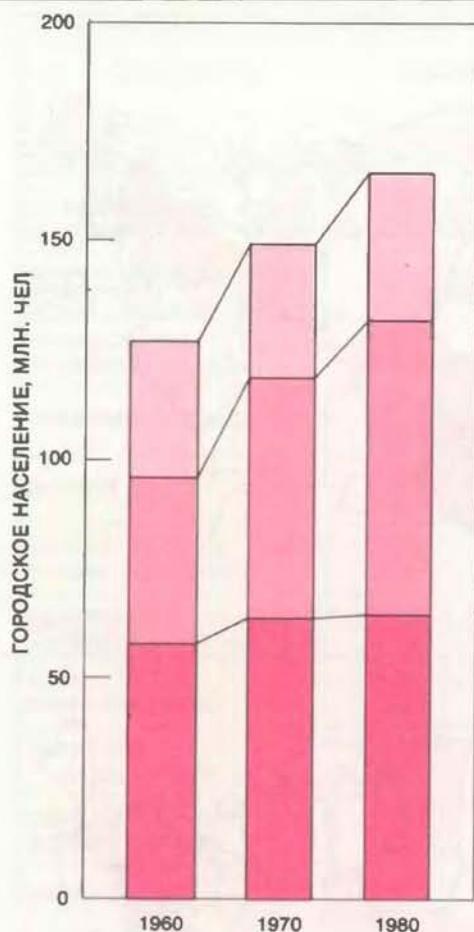
«мегалополис» был введен Жаном Готтманом из Оксфордского университета в его книге под таким же названием, опубликованной в 1961 г. Готтман определил этот район как простирающийся от южной части шт. Нью-Гэмпшир до северной части шт. Виргиния и включающий города Бостон, Нью-Йорк, Филадельфию, Балтимор, Вашингтон и другие, меньшие по размеру городские агломерации между ними. Район, определенный Готтманом, также включает в себя сельские районы по периферии городских центров.

В 1960 г. в пределах Мегалополиса проживало 37 млн. человек, т.е. одна пятая всего населения США. Ко всеобщему удивлению, в период с 1970 по 1980 г. в Мегалополисе прекратился процесс дальнейшей урбанизации. Сельское население в этом регионе увеличивалось в 10 раз быстрее, чем городское, и в результате доля последнего снизилась с 87 до 86%. Демографический рост по границам городских населенных пунктов продолжался, а население центральных городов уменьшалось. Население в сельской местности росло ускоренными темпами, достаточными для того, чтобы превзойти общие темпы роста городского населения.

Не следует, однако, считать, что новая демографическая активность сельских районов связана с ростом числа людей, которые устраиваются жить и работать на фермах. Напротив, это число продолжало в 70-х годах следовать своей давней тенденции к спаду. В отличие от данных о численности населения, получаемых в результате переписи, данные о занятости, как правило, не подразделяются на городскую и сельскую категории, хотя Бюро переписей населения ежегодно собирает информацию о числе рабочих мест в каждом округе. Эти данные основываются на отчетах, представляемых предпринимателями в Управление социального обеспечения и Федеральное налоговое ведомство.

Мы произвели классификацию всех округов с учетом наличия или отсутствия в них городских поселений. Округ определялся как сельский, если в нем не было населенных пунктов с числом жителей, равным 2500 или более, и как городской, если он включал в себя город (или часть пригорода) с населением в 50 тыс. человек. При классификации округов мы также собирали данные о новых рабочих местах, возникших в каждом из них в результате оживления деловой активности, последовавшей за экономическим спадом 1974—1975 гг.

Проделанный нами анализ говорит о том, что одним из главных факторов понижения концентрации населения США явился быстрый рост занятости в сельской местности. В целом по стране



**ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ** населения в урбанизированных районах. Темным тоном выделено население центральных городов, промежуточным тоном — пригородов, светлым тоном — население мелких городов с числом жителей от 2500 до 50 тыс. человек. С 1960 по 1980 г. городское население в целом выросло на 33% (слева). За этот период общая площадь городских районов возросла на 84% (справа). В результате произошло резкое уменьшение плотности населения в городах.

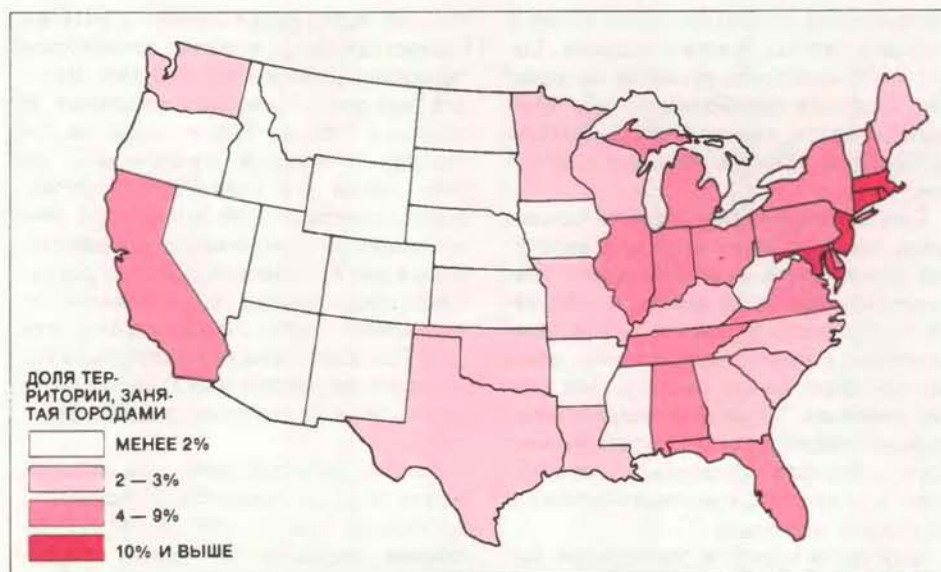
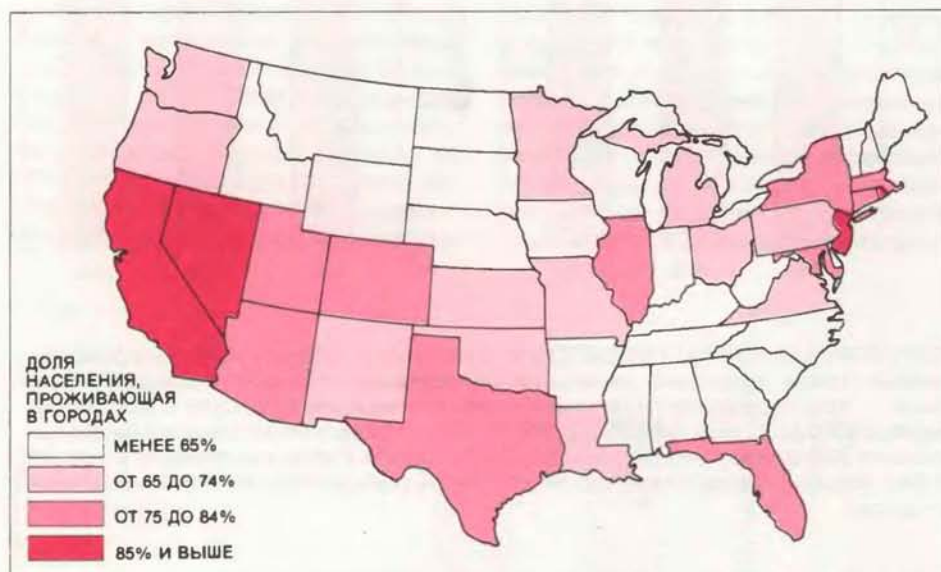
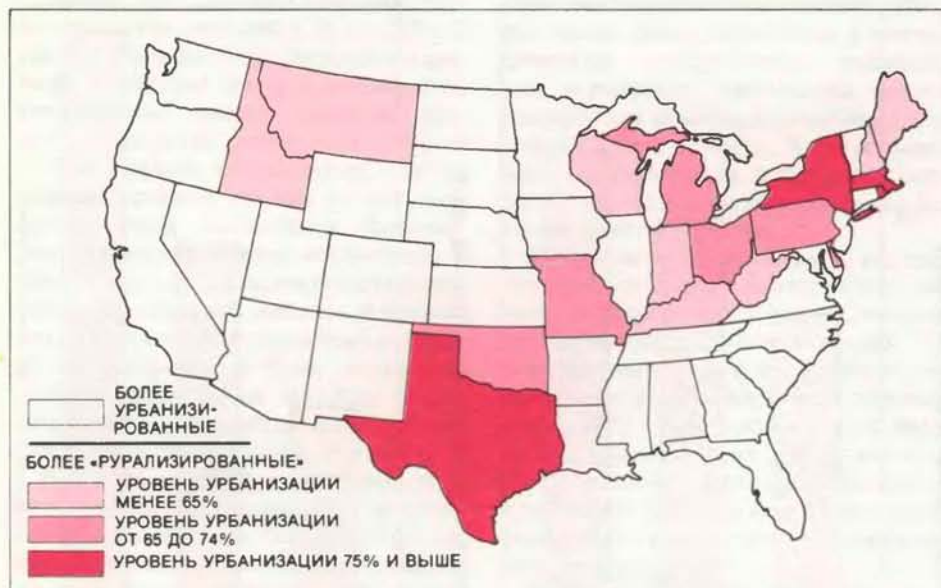
темпы роста занятости были выше в сельских округах, а не в городских. Более того, во многих регионах и отраслях, включая обрабатывающую промышленность, темпы роста занятости были выше также в сельской местности.

Таким образом, значительное замедление темпов роста городского населения может быть отнесено за счет действия экономических факторов. Но, хотя темпы роста населения в урбанизированных районах замедлились, сами районы продолжали расширяться территориально. Подобный разрыв между демографическим и географическим ростом привел к значительным изменениям в структуре землепользования и плотности населения.

Используя широкое определение понятия «городской», можно сказать, что в 60-х годах примерно 14400 кв. миль площади превратились из сельских в городские, а в 70-х годах — около 18700 кв. миль. В настоящее время в США крупные города с пригородами и мелкие города занимают площадь 74 тыс. кв. миль, что составляет

2% всей территории страны. Сразу же бросается в глаза, что рост территории городских районов происходил быстрее, чем рост городского населения. В период с 1960 по 1980 г. площадь городских поселений увеличилась на 84%, тогда как городское население выросло лишь на 33%. Более того, увеличился разрыв между демографическим и географическим темпами роста. В 60-х годах темпы территориального расширения были далеки от того, чтобы в 2 раза превышать темпы роста городского населения; в 1970 же году они были уже в 3 раза выше демографических.

Если территория городских районов растет быстрее городского населения, то отсюда следует, что плотность населения уменьшается. Прежде чем перейти к рассмотрению последствий такой тенденции, кратко остановимся на соотношении между плотностью населения и географической площадью на уровне одного штата. Анализ роста урбанизации с точки зрения как использования земли, так и плотности населения может позволить нам внести неко-



«РУРАЛИЗАЦИЯ», или увеличение доли населения в сельских районах, в 70-х годах имела место в 18 штатах (вверху). В 60-х годах этот процесс наблюдался лишь в 4 штатах. Демографические и территориальные подходы в урбанизации дают различные картины штатов. При демографическом подходе определяется доля населения штата, проживающая в крупных и мелких городах (в середине). Согласно этому подходу, шт. Калифорния является самым урбанизированным. При территориальном подходе измеряется доля земли штата, занятая крупными и мелкими городами (внизу). В этом случае самым урбанизированным штатом становится шт. Нью-Джерси.

торые коррективы в чисто демографический подход. Калифорния, например, является штатом, в котором наибольшая доля населения проживает в городских районах. Запад страны представляет собой регион с высоким уровнем урбанизации, и первое место там принадлежит именно шт. Калифорния, так как 91% жителей штата — горожане. Однако в географическом смысле Калифорния — сельский штат: 96% его территории лежит за пределами городских районов.

В штате Нью-Джерси уже иная картина. Доля городского населения штата — 89%, т.е. примерно такая же, как и в Калифорнии, но по площади сельская местность занимает всего 71% территории. Таким образом, в Нью-Джерси плотность населения на 1 кв. милю составляет 986 человек, что выше плотности в Бельгии, самой густонаселенной стране Европы.

Когда видишь типичный пейзаж Нью-Джерси, может показаться, что урбанизированы не 29% территории штата, а гораздо больше. Однако же понятие «городской» не распространяется на некоторые площади, такие, например, как земли, отданные под заводы, фабрики, нефтеперерабатывающие предприятия, складские сооружения, автомагистрали и прочее, лежащие за пределами урбанизированных районов и границами мелких городов с населением более 2500 человек. Площадь, отданная под вышеупомянутые сооружения, редко рассматривается как сельская, но она и не городская с точки зрения демографии, ибо там проживает очень мало людей.

Как мы отмечали в самом начале, рост урбанизации и развитие промышленности тесно связаны исторически. В традиционной структуре промышленного развития фабрики и заводы строились в городских центрах поблизости от них. Представляется очевидным, что в последние годы факторы, влияющие на размещение промышленных предприятий, претерпели изменения. Об этом свидетельствовало быстрое развитие промышленности в сельской местности. Однако люди, переезжающие в сельскую местность, чтобы там работать, не подпадают под традиционный стереотип сельского жителя. Это в основном представители определенных профессий, имеющие специальную подготовку для работы в современной промышленности. Получается, что новые сельские демографические концентрации представляют собой небольшие центры городской культуры, перенесенные в сельскую местность и обладающие жизнеспособностью в силу последних достижений в области связи, транспорта и методов промышленного производства.

Средняя плотность населения в урбанизированных районах претерпела существенный спад. Она уменьшилась с

3200 человек на 1 кв. милю в 1960 г. до 2300 в 1980 г. В 70-х годах по сравнению с 60-ми годами спад происходил быстрее. С 1950 г. средняя плотность населения в урбанизированных районах уменьшилась почти вдвое.

Этот спад вызван тем, что плотность населения старых городов постепенно уменьшалась, а плотность населения во вновь создаваемых городских районах, как правило, меньше, чем в старых. Уменьшение же плотности городского населения в сочетании с ростом сельского населения ведет к некоторому сближению в показателях плотности населения в городской и сельской местности. В то же время население сельских районов, где проживает 17 человек на 1 кв. милю, по-прежнему значительно уступает по плотности городскому населению.

Уменьшение плотности городского населения происходило повсеместно как в 60-е, так и в 70-е годы. В 60-х годах уменьшение плотности произошло на 81% площади всех урбанизированных районов страны; в 70-х годах — на 87%. Исключение составляли в основном лишь города, расширение границ которых находилось в зависимости от их географического положения. Например, увеличилась плотность населения Гонолулу, так как территориальное расширение его сдерживалось горами и морским побережьем. А плотность населения урбанизированного района, включающего в себя Майами, Форт-Лодердэйл и Уэст-Палм-Бич, увеличилась в результате сращивания этих городов.

**С**РАЩИВАНИЕ трех городов Флориды привело к образованию на площади, превышающей 800 кв. миль, сплошной урбанизированной территории с населением более 3 млн. человек. Подобная агломерация является примером процесса, начавшегося в 70-х годах. Расширяясь территориально, урбанизированные районы часто доходят до границ ближайших городов. В

«СВЕРХГОРОДА» — городские агломерации с населением в 1 млн. и более жителей. Во многих случаях они возникли в результате сращивания нескольких крупных городов. В 1970 г. в США было 24 сверхгорода, к 1980 г. — 29 (приведены в таблице). Развитие сверхгородов показывает, что достижение пика в урбанизации не означает прекращения развития крупнейших городских центров. В 70-х годах площадь всех сверхгородов увеличилась, однако население некоторых из них сократилось (*выделено жирным шрифтом*). Хотя население некоторых городов в границах урбанизированных районов уменьшалось в течение десятилетий, население городских агломераций стало сокращаться лишь в 70-х годах.

| СВЕРХГОРОДА  | НАСЕЛЕНИЕ (1980 Г.) | ПЛОЩАДЬ, КВ. МИЛЬ | ПЛОТНОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ, ЧЕЛ./КВ.МИЛЮ |
|--|---------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Г. НЬЮ-ЙОРК/<br>СЕВ.-ВОСТ. ЧАСТЬ НЬЮ-ДЖЕРСИ/<br>ЮЖН. ЧАСТЬ ШТ. КОННЕКТИКУТ | 17,606,680          | 3,656             | 4,816                             |
| ЛОС-АНДЖЕЛЕС/ ЛОНГ-БИЧ/<br>САН-БЕРНАДИНО/ РИВЕРСАЙД                        | 10,184,611          | 2,187             | 4,657                             |
| ЧИКАГО / СЕВ.-ЗАП. ЧАСТЬ<br>ИНДИАНЫ/<br>ОРОРА / ЭЛДЖИН / ДЖОЛИЕТ           | 7,212,778           | 1,675             | 4,306                             |
| ФИЛАДЕЛЬФИЯ /<br>УИЛМИНГТОН / ТРЕНТОН                                      | 4,779,796           | 1,270             | 3,764                             |
| САН-ФРАНЦИСКО / САН-ХОСЕ   | 4,434,650           | 1,122             | 3,952                             |
| ДЕТРОЙТ  | 3,809,327           | 1,044             | 3,649                             |
| БОСТОН / БРОКТОН / ЛОУЭЛЛ /<br>ЛОРЕНС / ХЕЙВЕРИЛЛ                          | 3,225,386           | 1,084             | 2,975                             |
| МАЙАМИ / ФОРТ-ЛОДЕРДЭЙЛ /<br>ГОЛЛИВУД/ УЭСТ-ПАЛМ-БИЧ                       | 3,103,729           | 816               | 3,804                             |
| ВАШИНГТОН,<br>ОКРУГ КОЛУМБИЯ   | 2,763,105           | 807               | 3,424                             |
| ХЬЮСТОН/<br>Г. ТЕХАС/ ЛАМАРК   | 2,521,857           | 1,169             | 2,157                             |
| КЛИВЛЕНД / АКРОН /<br>ЛОРЕЙН / ЭЛИРИЯ                                      | 2,493,475           | 989               | 2,521                             |
| ДАЛЛАС / ФОРТ-УЭРТ   | 2,451,390           | 1,280             | 1,915                             |
| СЕНТ-ЛУИС  | 1,848,590           | 597               | 3,096                             |
| ПИТТСБУРГ  | 1,810,038           | 713               | 2,539                             |
| СИЭТТЛ/<br>ЭВЕРЕТТ/ТАКОМА  | 1,793,612           | 672               | 2,669                             |
| МИННЕАПОЛИС /СЕНТ-ПОЛ  | 1,787,564           | 980               | 1,824                             |
| БАЛТИМОР   | 1,755,477           | 523               | 3,357                             |
| САН-ДИЕГО  | 1,704,352           | 611               | 2,789                             |
| АТЛАНТА  | 1,613,357           | 905               | 1,783                             |
| ФЕНИКС   | 1,409,279           | 641               | 2,199                             |
| ТАМПА /СЕНТ-ПИТЕРСБУРГ   | 1,354,249           | 527               | 2,570                             |
| ДЕНВЕР   | 1,352,070           | 439               | 3,080                             |
| ЦИНЦИННАТИ/ГАМИЛЬТОН   | 1,228,438           | 465               | 2,642                             |
| МИЛУОКИ  | 1,207,008           | 496               | 2,433                             |
| НЬЮПОРТ-НЬЮС/ХЭМПТОН/<br>НОРФОЛК/ПОРТСМУТ                                  | 1,099,360           | 614               | 1,790                             |
| Г. КАНЗАС  | 1,097,793           | 589               | 1,864                             |
| НОВЫЙ ОРЛЕАН   | 1,078,299           | 230               | 4,688                             |
| ПОРТЛЕНД   | 1,026,144           | 349               | 2,940                             |
| БУФФАЛО  | 1,002,285           | 266               | 3,768                             |

результате слияния соседних территорий образуются аморфные городские регионы, занимающие большие пространства.

В отличие от Мегалополиса, включающего в себя значительные сельские районы, эти сверхгорода представляют собой полностью застроенную городскую территорию. В настоящее время в США насчитывается 29 городских центров с населением в 1 млн. или более человек. Примерно половина из них возникла в результате сращивания двух или более городов. Сверхгорода не имеют правового или административного статуса, хотя они взаимосвязаны в деле планирования обеспечения такими службами, как общественный транспорт, канализация и водоснабжение.

Сверхгорода в демографическом отношении представляют собой жизненно важную часть городской территории. Даже в условиях спада процесса урбанизации доля населения, живущая в них, продолжала увеличиваться. В 1970 г. в США было 24 сверхгорода, в которых проживало 76 млн. человек, или 37% населения страны. В 1980 же году было уже 29 сверхгородов с населением 89 млн. человек, что составляло 39% населения страны. Эти сверхгорода расширялись за счет непрерывного роста своих пригородов, поглощения более мелких городов и слияния с городами одинакового размера. Процесс

появления и развития таких урбанизированных районов показывает, что замедление темпов урбанизации не обязательно влечет за собой исчезновение крупных городских центров.

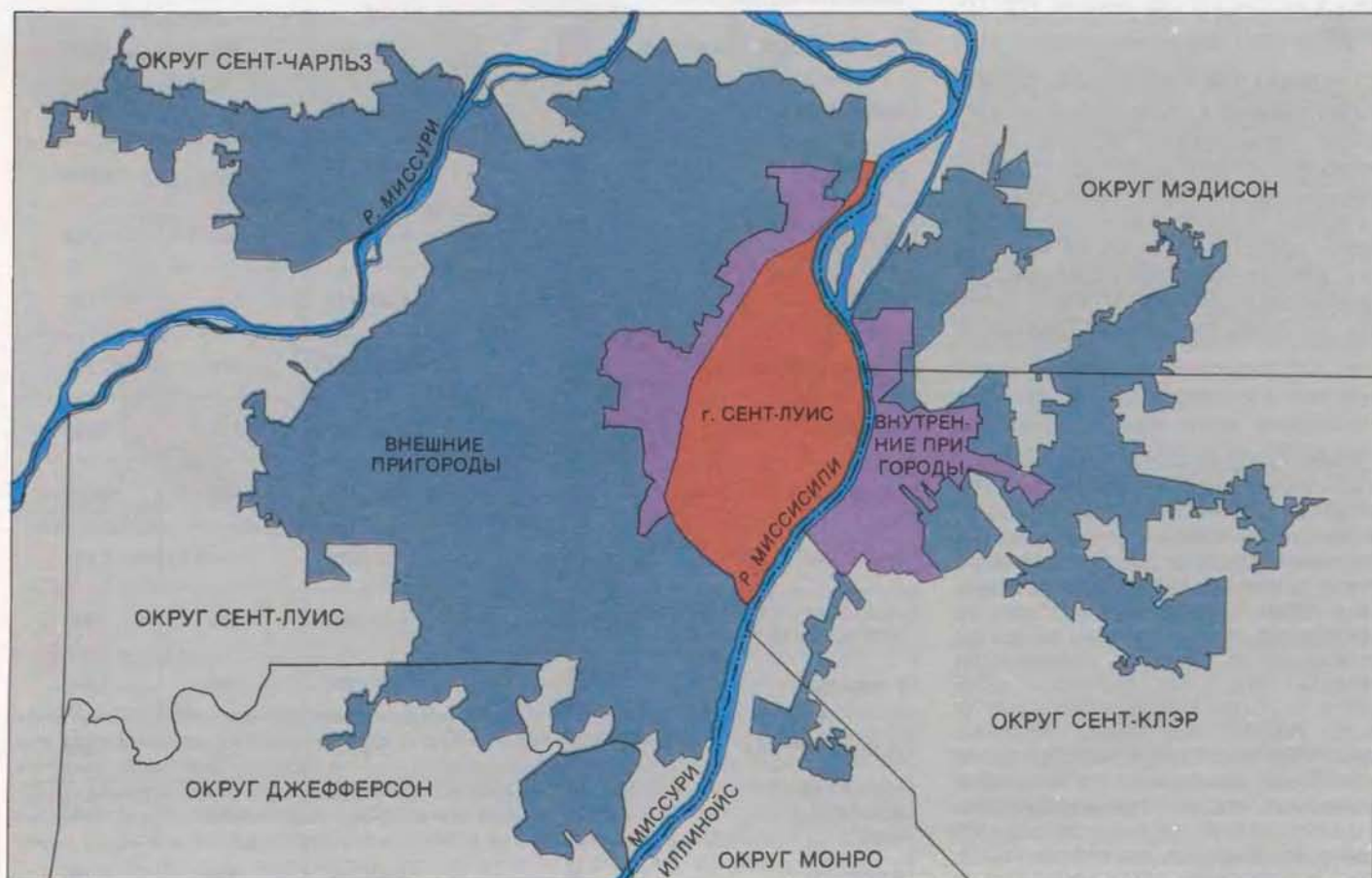
По-прежнему самым крупным сверхгородом США остается гигантский городской район, включающий часть шт. Нью-Йорк (и сам город Нью-Йорк), северную часть шт. Нью-Джерси и южную часть шт. Коннектикут. В 1980 г. население этого района составляло 17,6 млн. человек, и, хотя в течение десятилетия число его жителей сокращалось, в территориальном отношении он продолжал расширяться. Важность различия между городом и урбанизированным районом станет для нас более ясной, если мы сравним Чикаго с Лос-Анджелесом. В самом Чикаго жителей больше, чем в Лос-Анджелесе, но в 1950 г. население урбанизированного района вокруг Лос-Анджелеса превзошло число проживающих в пригородах Чикаго. К 1980 г. в результате процесса урбанизации произошло слияние Лос-Анджелеса с Лонг-Бичем, Сан-Бернардино, Риверсайдом и многими другими мелкими населенными пунктами. В результате возник район, более крупный в территориальном и демографическом отношении, чем городской ареал, включающий Чикаго, Орору, Элгин и Джолит в шт. Иллинойс и Геари в шт. Индиана.

Принято считать, что юг Калифор-

нии имеет низкую плотность населения. Однако, если взять городской ареал Лос-Анджелеса, то в нем примерно 10 млн. жителей проживает на площади 2 тыс. кв. миль. Плотность его населения, составляющая 4700 человек на 1 кв. милю, превышает плотность населения «сверхгородов» вокруг Чикаго, Филадельфии, Бостона и некоторых других, более старых городских районов.

В Калифорнии плотность населения высока потому, что число жителей растет, а возможности для территориального расширения штата ограничены береговой линией, горами и значительными площадями с постройками и автомагистралями. Но именно в южной части Калифорнии менее всего ощущается концентрация населения, так как на западе Атлантического побережья США нет таких резких перепадов в плотности расселения, как в городах и пригородах Северо-Востока или Среднего Запада. И тем не менее урбанизированная часть Южной Калифорнии в среднем заселена более плотно, чем многие городские центры на Северо-Востоке и Среднем Западе.

**ИЗМЕНЕНИЯ** в плотности населения и его территориальном распределении в 70-х годах затронули все части урбанизированных районов — от центрального города до дальних пригородов. В 1960 г. в пригородах, занимав-



ших 36% городской территории, проживало 30% всего городского населения. К 1980 г. число жителей, проживавших в пригородах на площади 42% городской территории, возросло до 41%. За этот же период уменьшилась доля городского населения, проживающего в центральных и мелких городах.

Фактически темпы роста городского населения в пригородах более старых городов были даже выше, чем средние данные по стране. В 1950 г. примерно 30% населения урбанизированных районов проживало в пригородах, а в 1980 г. этот показатель превысил 50%. Более медленный рост наблюдался в новых городских районах. Это происходило частично из-за того, что обычно при образовании города к нему присоединяется лежащая вокруг него территория. Многие же старые города окружены инкорпорированными землями, которые никто не может присоединить и что в конечном итоге ограничивает возможности территориального расширения какого-нибудь центрального города.

Вследствие того что пригороды были районами относительно быстрого демографического роста в 70-х годах, средняя плотность их населения сокращалась в меньшей степени, чем непосредственно в городах. Так, в центральных городах она уменьшилась на 17%, в мелких городах — на 18% и в пригородах — лишь на 15%. В то же

время эти изменения были слишком незначительными, чтобы повлиять на общее соотношение плотности населения городов и пригородов, которое как в 1970, так и в 1980 г. составляло 1,7.

За тем фактом, что соотношение плотностей населения городов и пригородов не изменилось, скрываются некоторые значительные демографические тенденции. Во многих центральных городах урбанизированных районов население сокращалось в течение десятилетий. При этом происходило увеличение населения самих урбанизированных районов, т.е. рост населения пригородов компенсировал его потери в центральном городе. Однако перепись 1980 г. показала, что в настоящее время во многих случаях население теряет весь урбанизированный район. Одна из причин этого состоит в усилении процесса сокращения населения центрального города. Вторая же причина в том, что в пригородах, непосредственно прилегающих к центральному городу, население также начало сокращаться.

Наглядным примером для иллюстрации этого процесса является урбанизированный район, включающий город Сент-Луис, население которого сокращалось как в 60-е, так и в 70-е годы, причем темпы сокращения были выше в 70-х годах. Уменьшение населения было столь значительным, что в настоящее время в Сент-Луисе прожива-

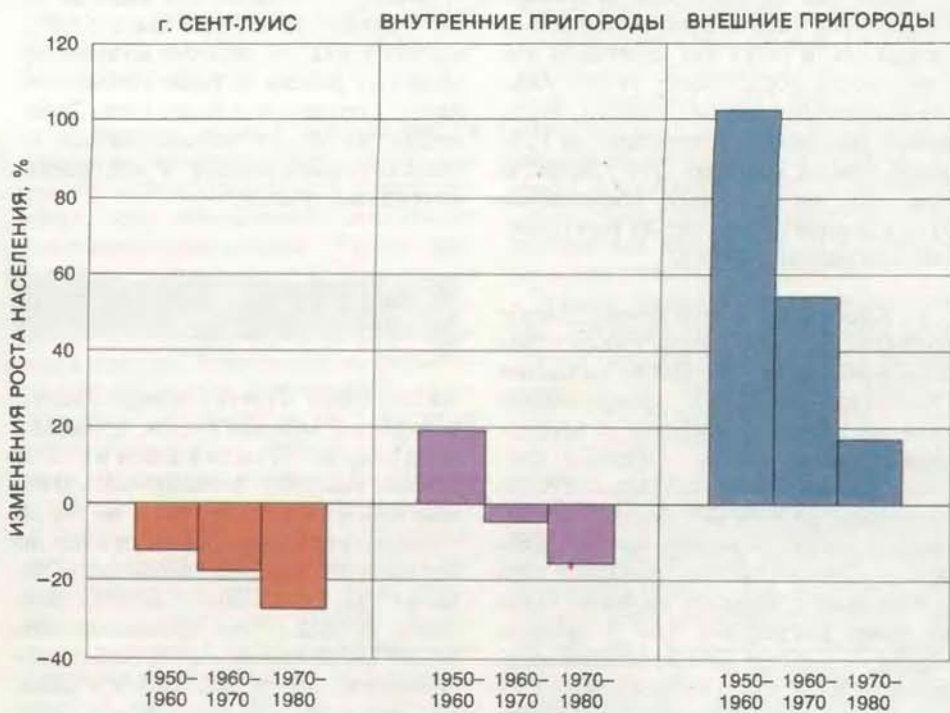
ет примерно столько же жителей, сколько и в 1890 г. Подобно большинству городов Среднего Запада и Северо-Востока, Сент-Луис давно окружен инкорпорированными землями. В этих внутренних пригородах население начало уменьшаться в 60-х годах, а в 70-х годах оно сократилось примерно на 15%. Во внешних же пригородах население по-прежнему растет, хотя темпы этого роста резко падают. В 50-х годах население выросло на 103%, в 60-х — на 55% и в 70-х — на 17%. Подобный же процесс наблюдался и в других городах Среднего Запада и Северо-Востока.

При описании происходящих процессов миграции населения из старых городских центров в пригороды часто используют модель обычного бублика с увеличивающейся дырой посередине. Эта «дыра» имеет наибольшие размеры в тех урбанизированных районах, где раньше всего сформировалась структура «бублика».

**И**ЕСЛИ модель бублика давно действует в отношении промышленных центров Северо-Востока, то в течение 70-х годов она впервые распространилась и на значительную часть территории Соединенных Штатов Америки. Эта модель применима почти к половине всех урбанизированных районов, включая четверть городов Юга.

Уровень миграции населения из центров городов и внутренних пригородов вырос настолько, что стало наблюдаться сокращение населения во все большем числе самих урбанизированных районов. В 50-х годах население сокращалось только в одном из каждых двадцати районов; в 70-х — в одном из каждых шести. В большинстве случаев такое сокращение со стороны кажется незаметным. И действительно, в свете интенсивного заселения внутренних пригородов городов и широкого жилищного строительства во внешних пригородах трудно поверить, что численность населения такого урбанизированного района, как, например, г. Сент-Луис, уменьшилась в 70-х годах на 2%.

Несмотря на продолжающееся сокращение населения, во многих старых городах и городских районах количество семей увеличивается. В течение 70-х годов их число в Сент-Луисе возросло на 12%. Такие явно противоречащие друг другу явления имеют место потому, что происходит уменьшение среднего числа членов семьи. Фертильность замужних женщин уменьшилась, а разводы, раздельное жительство супругов, взрослых детей и фактическое исчезновение расширенной семьи привели к соответствующим изменениям в условиях проживания. Все эти факторы содействовали уменьшению средней численности семьи.



УРБАНИЗИРОВАННЫЙ РАЙОН СЕНТ-ЛУИСА является характерным примером одного из многих старых городов. Слева на карте показаны: границы самого города (оранжевый цвет), внутренние пригороды (сиреневый) и внешние пригороды (синий). Темпы изменения роста населения приведены на диаграмме. Население г. Сент-Луиса уменьшалось в течение десятилетий, и сейчас оно такое же, как в 1890 г. Многие жители переехали в пригороды. Эта тенденция часто описывается как модель «бублика». В 70-х годах миграция населения (увеличение «дыры» в «бублике») происходила в направлении от центра. По-прежнему растет, хотя и быстро уменьшающимися темпами, население внешних пригородов.

В связи с этим некоторые из наиболее значительных демографических тенденций в городских районах в прошедшие три десятилетия не были явно выражены. И требуется проведение такого всеобъемлющего мероприятия, как перепись населения, для того чтобы определить эти тенденции точно. Наша цель в настоящей статье состояла в том, чтобы проанализировать их с помощью определений, применимых ко всему этому периоду. Но и сами определения, однако, не остаются неизменными. Опираясь на результаты переписи населения 1980 г., демографы из БПН уже занялись разработкой нового определения урбанизированного района. Городской район уже больше не ограничивается территорией вокруг городов с населением 50 тыс. человек или более. Начиная с 1980 г. считается, что урбанизированный район — это любая территория, на которой проживает 50 тыс. жителей со средней плотностью 1000 человек на 1 кв. миль. Таким образом, многие люди, живущие в маленьком городке или его окрестностях, стали теперь частью населения урбанизированного района.

Такая перемена не вызывает особых недоумений. В результате введения почти каждого нового определения понятия «городской» число жителей, включаемых в эту категорию, увеличивалось. И действительно, по мере того как уровень урбанизации достигает пика в своем развитии, почти неизбежна некоторая неопределенность относительно понятия «городской житель». И неспособность демографов договориться о том, что такое городская территория, можно считать признаком достижения пика в уровне урбанизации.

Но неопределенность, несомненно, распространяется на гораздо большее число аспектов, которые мы не затрагивали в статье. Так, уже в течение определенного времени почти все жители США являются городскими с точки зрения доступа к удобствам городской жизни независимо от того, живут они в городах или нет. Возможно, наилучшей моделью населения является континуум, один конец которого представляет часть населения, наиболее близкую к понятию городского, а другой — к понятию сельского. В 70-х годах произошло резкое увеличение роста населения в сельских частях страны; в то же время возросли темпы сокращения населения в городских районах. Представляется, что основная причина этого изменения — экономическая: перемещение населения определялось занятостью. И вполне возможно, что и впредь распределение населения в США будет определяться тем, какие районы окажутся конкурентоспособными в представлении новых рабочих мест.

## SCIENTIFIC AMERICAN

ИЮЛЬ 1933 г. Интересная теория происхождения космических лучей разработана профессором Р. Милликеном. Она основывается на предположении, что космические лучи представляют собой электромагнитные волны (т.е. фотоны), подобные рентгеновским лучам или гамма-излучению, но с меньшей длиной волны. Примерно пять лет назад два немецких физика, В. Ботэ и В. Кольхёрстер, на основании эксперимента с использованием счетчиков заряженных частиц убедились, что космические лучи состоят из частиц, обладающих электрическим зарядом. Если это так, то в разных местах земного шара интенсивность излучения должна несколько различаться. Наша планета должна выступать в роли огромного магнита, отклоняющего летящие к нему заряженные частицы. Результат такого воздействия будет наименьшим в районах магнитных полюсов и наибольшим на экваторе, причем интенсивность излучения должна возрастать по направлению от экватора к полюсам. Группа исследователей из Чикагского университета под руководством А. Комптона организовала за последние полтора года девять экспедиций в разные части света для измерения интенсивности космических лучей. Анализ полученных данных показал, что в районе полюсов она примерно на 15% выше, чем на экваторе. Это говорит о том, что, по-видимому, космические лучи в основном состоят из электрически заряженных частиц.

С. Хиббен из Westinghouse Electric and Manufacturing Company на состоявшемся недавно в Нью-Йорке заседании Общества инженеров осветительной техники сделал сообщение о невидимом «черном свете». «Черный свет» представляет собой ультрафиолетовое излучение, на 99% «свободное» от видимого света, — заявил мистер Хиббен. — Оно создается с помощью двух новых ламп с черными колбами. Одна из ламп потребляет ток 2 ампера, другая — 5 ампер. Оба источника изготовлены из особого кобальтового стекла. Колбы этих ламп поглощают 99% видимого света, пропуская 80—85% ультрафиолетового излучения. Длины волн полученного излучения находятся в диапазоне 3200—4000 ангстрем. Это длинноволновое ультрафиолетовое излучение может оказаться полезным во многих процессах, связанных с фотографией и флуоресценцией».

С момента начала эксплуатации в 1928 г. до конца прошлого года воздушный корабль «Граф Цеппелин» совершил 290 рейсов, включая 33 перелета через океан. В общей сложности он провел в воздухе 5370 часов, покрыв расстояние 330 тыс. миль. При средней скорости 61 миль в час знаменитый дирижабль перевез почти 17 тыс. пассажиров, 35 тыс. фунтов почты и 80 тыс. фунтов срочных грузов. Причем за все это время не было ни одной аварии или неполадки, что может служить убедительным доказательством надежности его конструкции и безопасности эксплуатации. Сейчас в Германии заканчивается строительство нового, еще более совершенного воздушного гиганта, который, как и упомянутый дирижабль, будет эксплуатироваться на южноамериканских воздушных линиях. Принципиальное различие между воздушным кораблем и аэропланом заключается в том, что аэроплан — это скоростной аппарат с относительно небольшим радиусом действия, в то время как воздушный корабль, обладая меньшей скоростью, достигает полной эффективности при полетах на большие расстояния, особенно на трансокеанических линиях. Есть основание полагать, что в будущем аэроплан будет редко использоваться в качестве средства транспорта на коротких расстояниях. Возможно, что чаще он будет использоваться для связи с дирижаблями, как это делалось во время регулярных рейсов «Графа Цеппелина» между Германией и Бразилией. Дирижабли же будут использоваться на трансконтинентальных и внутренних воздушных трассах.

## SCIENTIFIC AMERICAN

ИЮЛЬ 1883 г. Почти вся нефть, поступающая на мировой рынок, добывается на участке 150 миль в длину и от 1 до 20 миль в ширину. Большая часть этого нефтеносного района лежит на территории штата Пенсильвания, и лишь небольшая его северная оконечность заходит на территорию штата Нью-Йорк. В 1882 г. эти промыслы дали 31 398 750 баррелей нефти. Небольшое количество нефти добывается в Западной Виргинии, еще немного — из скважин, разбросанных по Огайо, и примерно такая же часть — в канадской провинции Онтарио. Небольшое месторождение нефти имеется в Германии, несколько большее, хотя и недостаточно разработанное, — на юге России. Еще одно месторождение, возможно даже большее, чем в России,



расположено в Индии. Общая добыча на всех остальных нефтяных промыслах, не перечисленных здесь, во много раз уступает объему нефти, добываемому в Пенсильвании. Кроме того, нефть этих малых месторождений, как в Америке, так и в Старом Свете, имеет невысокое качество.

Тормоз Вестингауза устанавливается на паровозе, тендере и на каждом вагоне железнодорожного состава. Расположенный в локомотиве насос нагнетает в главный резервуар на паровозе сжатый воздух под давлением 70—80 фунтов на квадратный дюйм. Через тормозной вентиль машиниста по главной воздушной магистрали воздух накачивается в дополнительные резервуары по всему составу. Когда поезд находится в пути, в пневматической системе на всем ее протяжении поддерживается неизменное давление. Это значит, что в основном резервуаре паровоза, в воздушной магистрали от головы до хвоста поезда, в вентилях и дополнительных резервуарах при каждом вагоне — повсюду находится готовый к действию сжатый воздух. Тормозные цилиндры при этом пусты, а тормозные колодки не прикасаются к колесам. Принцип действия этой системы состоит в том, что избыточное давление в воздушной магистрали удерживает тормоза в свободном состоянии, но любая, как случайная, так и преднамеренная утечка воздуха мгновенно включает тормоза по всему составу. Таким образом, затормозить поезд может машинист, любой из кондукторов, а при необходимости даже и пассажир.

Не лишено, видимо, справедливости давнее высказывание, что в любом веществе можно обнаружить любой элемент, если использовать достаточно чувствительные методы. Ранние наблюдения, проведенные У. Круксом из Федеральной резервной системы, показали, что иттрий широко распространен в природе. Недавно Крукс разработал новый метод эмиссионной спектроскопии, который за счет высокой чувствительности позволил установить содержание иттрия в различных веществах. Розовые кораллы содержат 1 часть иттрия на 200, стронцианит — 1 часть на 500, хондродит с горы Соммы — 1 часть на 4000, кальцит — 1 часть на 10 000, бычья кость — тоже 1 часть на 10 000, найденный в земле метеорит (Альфианелло) — 1 часть на 100 000 и табачный пепел — 1 часть на 1 000 000 частей.

## На помощь!

С УДЯ по приключенческой литературе, лучший способ заманить тигра в засаду — привязать там козленка. Блеющий от испуга козленок — непреодолимый соблазн для хищника. Козы вовсе не единственные из млекопитающих, которые кричат от страха. Так ведут себя многие животные: кролики, овцы, лошади, да и человек тоже. Крики страха обычны и у птиц: у многих видов крики испуга, издаваемые птенцами, заставляют быстро реагировать родителей.

Каково приспособительное значение таких криков? На этот вопрос недавно удалось ответить исследователю из Лундского университета Г. Хёгстедту. В статье, опубликованной в журнале "American Naturalist", Хёгстедт опроверг гипотезу, по которой крик животных рассматривался как сигнал предупреждения других особей того же вида об опасности, и такое поведение считалось формой альтруизма. Наблюдения показывают, что большинство птиц не обращают внимания на крики, которые издают от испуга особи того же вида. Маловероятно и то, что крики страха — ювенильная форма поведения, каким-то образом сохраняющаяся у взрослых животных. В самом деле, лягушки и жабы, у которых нет тесных контактов детенышей с родителями, тоже издают крики страха. Не предназначены ли крики для того, чтобы напугать хищника и дать жертве шанс на спасение? Хёгстедт, считая эту идею не лишённой смысла, предположил, что крики привлекают к месту нападения других хищников, которые надеются поживиться жертвой, а то и нападающим или даже и тем и другим.

Чтобы проверить свое предположение, Хёгстедт записал на пленку крики страха европейского скворца и воспроизводил их на природе, когда в 100—250 м от замаскированного громкоговорителя появлялся хищник. Из хищных птиц в районе наблюдения больше всего было обыкновенных сарычей. Из 32 приблизившихся представителей этого вида 14 устремились к источнику криков. Так же повели себя один из трех мохноногих канюков, два из четырех ястребов-перепелятников, четыре из десяти полевых луней и единственный замеченный ястреб-тетеревятник. Из хищных птиц только пустельги вообще не реагировали на крики. Взрослые пустельги весят 200 г, ястреб-тетеревятник 1300 г, и поэтому, вероятно, первые вынуждены избегать встречи с крупными хищными птицами. Крики скворца привлекли также представителей двух видов хищных

млекопитающих: четырех лисиц и двух из трех диких котов.

Эти данные рассеяли сомнения о том, что крики страха привлекают различных хищников. Однако хищные птицы, охотясь, полагаются больше на зрение, чем на слух. На открытой местности они увидят хищника, атакующего жертву, раньше, чем услышат ее крики. Если это так, то адаптивное преимущество животного, кричащего при нападении одного хищника, чтобы привлечь другого, должно быть очевиднее в случае птиц, которые живут в густой чаще, и менее выражено у птиц, которые большую часть времени проводят в полете или на открытой местности.

Хёгстедт провел соответствующее исследование и обнаружил, что из шести видов птиц, предпочитающих полет или открытую местность (стрижи, деревенские, береговые и городские ласточки, полевые коньки, белые трясогузки), представители двух видов не кричали от страха вовсе, а в остальных четырех видах это делали в среднем только 5% особей. Из шести видов птиц, живущих в чаще (крапивники, восточные соловьи, болотные камышовки, тростниковые камышовки, зеленые пересмешки и садовые славки), в двух видах кричали от страха более 80% особей, а в остальных четырех видах — не менее 32%.

Хёгстедт заключил, что крики страха — это вовсе не альтруистическое, а эгоистическое приспособление. Призыв «на помощь» направлен любому животному, которое способно помешать хищнику. Это дает жертве надежду, что стычка между напавшим на нее хищником и «пиратом» поможет ей убежать. Шанс невелик, но, как известно, утопающий хватается и за соломинку.



# Лососевые рыбы: стада, созданные самой природой

Семейство лососевых,  
куда входят такие ценные промысловые рыбы,  
как лосось и форель, характеризуется исключительной  
генетической адаптацией. Это делает возможным  
восстановление истощенных рыбных запасов,  
создание новых стад и благоприятствует  
промышленному разведению лососевых

ЛОРЕН Р. ДОНАЛЬДСОН, ТИМОТИ ДЖОЙНЕР

**В** ТЕЧЕНИЕ тысячелетий лососевые рыбы, к которым в числе прочих относятся лосось и форель, в изоляции водились в северном полушарии — в холодноводных озерах, ручьях, реках и в открытом море. Но со временем разнообразная деятельность человека, в том числе интенсивный отлов рыбы, изменили эту картину: лососевые исчезли из многих водоемов, а в других их численность резко снизилась. Ряд последних достижений создали, однако, условия для ослабления и даже ликвидации этой тенденции. Достижения эти стали возможны благодаря замечательной генетической адаптативности лососевых и умению рыбоводов с выгодой ее использовать.

Шестьдесят с лишним видов семейства лососевых включают тысячи рас. Каждая раса адаптирована к определенным условиям окружающей среды. Это многообразие рас обеспечивает рыбоводов огромным генофондом, из которого могут быть отобраны желательные признаки, такие, как размер и форма, скорость роста, цвет, вкус и качество мяса, способность существовать в пресной или соленой воде, время и характер миграции.

Используя эти свойства, рыбоводы достигли значительных результатов. Укажем на некоторые из них. 1. Лососевые могут постоянно обитать именно в том холодноводном водоеме, куда

они были выпущены мальками, и возвращаться на нерест после некоторого периода пребывания в море только в него; это означает, что они могут быть вселены как в новые для них водоемы, так и в те, где они когда-то обитали. 2. Уже существует реальная возможность адаптации некоторых видов лососевых к круглогодичной жизни в пресной воде, хотя в естественных условиях они проводят часть жизни в море. 3. Некоторые виды лососевых можно успешно разводить, используя приемы аквакультуры.

Выращенные в питомниках лососи отправляются сейчас в большом количестве к местам выпуска в водоемах Северной Америки, Японии и Сибири. Лососи были успешно переселены в Чили. В фиордах и проливах побережья Чили имеются обильные запасы планктона, которым могут питаться переселенцы. Предполагают, что в недалеком будущем тщательно отобранные стада лососей, выпущенных у южной оконечности Южной Америки, смогут мигрировать в прибрежные воды Антарктики, где будут питаться летними скоплениями криля.

Лосось, вселенный в Великие озера, прекрасно приспособился к жизни в пресной воде, что представлялось многим невозможным. Вдоль скалистых берегов Шотландии и Норвегии рыбоводы выращивают крупных лососей и

радужную форель в отгороженных участках морских заливов, фиордах и в плавучих садках.

Естественное распределение лососевых до того, как человек начал влиять на него, было хорошо известно. Представители рода *Salmo* благородный лосось, или семга (*S. salar*), и кумжа обитали вблизи берегов Северной Атлантики и в прилегающих частях Северного Ледовитого океана. Радужная форель, или стальноголовый лосось\*, и лосось Кларка обитали вблизи берегов северной части Тихого океана. Гольцы, представители рода *Salvelinus*, водились у берегов как в Северной Атлантике, так и в северной части Тихого океана, а также в водоемах бассейна Северного Ледовитого океана. Шесть видов тихоокеанских лососей (род *Oncorhynchus*) были исходно ограничены в распространении берегами северной части Тихого океана от Тайваня до Калифорнии, включая Берингово и Охотское моря и прилегающие части Северного Ледовитого океана.

**В** СЕ лососевые рыбы выходят из икры в пресной воде и проводят здесь по меньшей мере первые недели своей жизни. Во всех трех названных родах лососевых имеются проходные виды: они мигрируют в море, часто на огромные расстояния, перед тем как вернуться на нерест в свои родные реки. Благородный лосось возвращается для икрометания много раз в течение жизни; тихоокеанские лососи возвращаются всего один раз и после нереста погибают. Некоторые виды лососевых остаются в пресной воде всю жизнь.

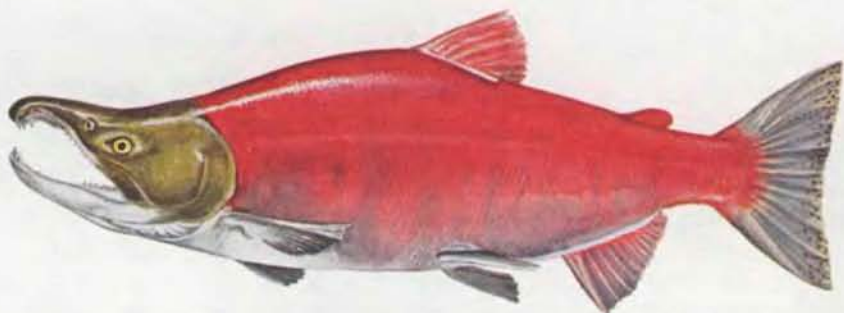
\* Радужная форель (ранее ее описывали как самостоятельный вид) представляет собой жилую (немигрирующую) форму стального лосося (*Salmo gairdnerii*). — Прим. пер.

ЛОСОСИ, ВОЗВРАЩАЮЩИЕСЯ «ДОМОЙ», буквально запрудили реку. Фотография сделана на реке Тазимина на Аляске во время хода красной, или нерки (*Oncorhynchus nerka*). Эти лососи покинули реку в возрасте 2—4 лет, провели 1—3 года в море и теперь возвращаются для нереста, находя путь по неповторимому химическому «аромату» своей родной речки. Рыбы, как бы выстроившиеся шеренгой вблизи берега, отдыхают, перед тем как продолжить свой путь дальше вверх по течению. Расположение «шеренгой» объясняется тем, что рыбы ориентируются строго против течения. Фотография сделана Томасом К. Клайном-младшим из Университета шт. Вашингтон для ежегодного отчета, в котором дается прогноз численности красной, идущей на нерест. Прогноз составляется для промысловых организаций и управлений по охране окружающей среды.

ЧАВЫЧА



НЕРКА (красная)



КИЖУЧ



БЛАГОРОДНЫЙ  
ЛОСОСЬ (СЕМГА)



СТАЛЬНОГОЛОВЫЙ  
ЛОСОСЬ



Реликтовые популяции симы и красной, или нерки, живут в озерах, которые уже тысячелетия не имеют связи с морем.

Способность к возвращению в родной водоем у мигрирующих лососей поистине легендарна. Они плывут вверх против течения многие километры, выскакивая из воды, чтобы преодолеть водопады и рыбоходы, и безошибочно находят путь. Несколько лет назад Артур Д. Хаслер и Джеймс А. Ларсен из Университета шт. Висконсин в Мадисоне обнаружили, что рыбы способны узнавать «дом» посредством обоняния, причем, чтобы рыба почувствовала «фактор дома», достаточно всего нескольких его частей на миллиард частей воды. Этот фактор, действующий на органы обоняния рыб, порождают камни, почва и органическое вещество водоема.

Впервые попытки искусственного разведения лососевых были предприняты в Германии еще тогда, когда был известен только сам факт наличия у этих рыб поразительного «чувства дома». В 1763 г. установили, что, если взятую от самки икру оплодотворить спермой самца, после инкубирования в холодной проточной воде из нее вылупляются мальки. Первые опыты проводили с кумжей (*Salmo trutta*) и благородным лососем (*S. salar*). В 1804 г. в США начали культивировать лососевых, применяя искусственный нерест и инкубирование икры. Опыты эти проводились с одним из американских гольцов (*Salvelinus fontinalis*).

Первый питомник для тихоокеанских лососей был построен в Калифорнии на реке Мак-Клауд в 1870 г. Как и для прежних опытов по разведению этих рыб, их хищнически вылавливали в местах естественного нереста для обеспечения питомника исходным материалом. В течение многих лет во всех рыбопитомниках, создававшихся по Тихоокеанскому побережью от Калифорнии до Японии, дело было поставлено именно таким образом. Питомники предназначались только для инкубации икры, и в них не занимались проблемами кормления и выращивания молоди, которую выпускали совершенно не подготовленной к жизни во внешней среде, полной опасностей. В целом эти первые попытки мало что давали для воспроизводства лососевых и на деле часто подрывали естественные запасы рыбы.

В 1895 г. в штате Вашингтон, на реке

Калама, притоке Колумбии, был построен рыбопитомник, специализировавшийся на культивировании чавычи (*Oncorhynchus tshawytscha*), самого крупного из тихоокеанских лососей. В этом питомнике были отработаны методы, обеспечивающие успешный нерест, вылупление мальков, их выращивание, выпуск в реку, повторный отлов для нереста в условиях питомника, и получение икры следующей генерации — комплекс мер, которые сделали возможным возобновление запасов лососевых. Стали получать избыточные количества икры и передавать ее в другие питомники для создания новых стад лососей.

В 1901 г. был организован рыбопитомник на небольшой реке Грин-Ривер, впадающей в залив Пьюджет-Саунд близ Сиэтла. Икру чавычи для этого питомника взяли из питомника на реке Калама. После некоторого периода адаптации чавыча настолько хорошо прижилась и стала возвращаться в питомник в таких количествах, что вскоре появились большие избытки икры. Питомник на реке Грин-Ривер стал источником икры чавычи для многих других питомников в районе залива Пьюджет-Саунд, включая (с 1949 г.) опытный питомник на территории Университета шт. Вашингтон. Чавыча, а также обитавшие здесь ранее радужная форель, лосось Кларка и кижуч обеспечили университет собственными стадами лососевых рыб и создали возможность для проведения исследовательских работ.

Долгое время многие экспериментаторы старались придумать различные рецепты химических составов для внесения в воду, где обитают молодые лососи, с тем чтобы более надежно привлечь их в водоемы, куда они выпускались. Работая в Университете шт. Вашингтон, мы скоро поняли, что в этом нет надобности: вполне достаточно тех веществ, которые естественно присутствуют в воде этих водоемов. Были начаты специальные исследования с чавычей, цель которых состояла в том, чтобы число рыб, возвращающихся в водоем после 2—3-летнего пребывания в море, увеличилось по сравнению с числом рыб, возвращающихся после 4—5-летнего отсутствия. Работа, проведенная по этой программе, дала очень хорошие результаты. В соответствии с другой программой предполагается ускорить рост молодых ки-

жучей с помощью специального рациона кормления и поддержания определенной температуры воды. В таких условиях лососи могут развиваться до стадии смолтов и уходить в море уже через 6—7 месяцев, тогда как обычно это происходит через 18—30 месяцев. Сейчас эти методы становятся основой для промышленного разведения лососевых рыб в США, Канаде, Чили и Франции.

Чавыча, завезенная в университетский питомник, должна была приспособиться к условиям, значительно отличающимся от обычных для этого вида. Вместо того чтобы возвращаться в большие глубокие реки, такие, как Сакраменто, Колумбия, Фрейзер или Юкон, что делают многие ее родственники, чавыча, возвращаясь из моря «домой» в университетский водоем, входит в узкий залив Пьюджет-Саунд, поворачивает налево, попадает в судходный канал озера Вашингтон и проходит далее либо через судходные шлюзы, либо через рыбоход вдоль южного берега, затем после 5,5-километрового пути через густонаселенный промышленный район, раскинувшийся по берегам озера Юнион, вновь поворачивает налево, поднимается по небольшому рыбоходу и входит в университетский коллектор.

Привлекательная рыба перекачивается из судходного канала в коллектор, откуда самотеком возвращается обратно в канал. Этот крохотный ручеек является «родным домом» для многих поколений лососей, выращенных в университете. Чавыча университетского стада приспособилась к этим необычным условиям настолько хорошо, что возвращающаяся каждую осень из моря рыба дает в 10—20 раз больше икры, чем требуется для поддержания стада — даже несмотря на интенсивный отлов ее рыболовами-спортсменами и промысловыми судами по всему пути ее следования.

Излишки икры используются для создания многих других стад лососевых рыб. С 1967 по 1970 г. несколько сотен тысяч оплодотворенных икринок на стадии «глазка» (это самая ранняя стадия, когда осторожные манипуляции с икринками уже не причиняют им вреда) были отправлены в Мичиган в качестве семенного фонда для разведения чавычи. Этим было положено начало новому популярному виду спортивного рыболовства на озере Мичиган. В 1970 г. икра чавычи была доставлена в Управление по охране окружающей среды шт. Нью-Йорк для заселения озер Эри и Онтарио.

В 1980 г. икра университетской чавычи была отправлена в Чили. Вылупившихся мальков пустили в воды, текущие в район Южного пролива. Обильный планктон этих водоемов слу-

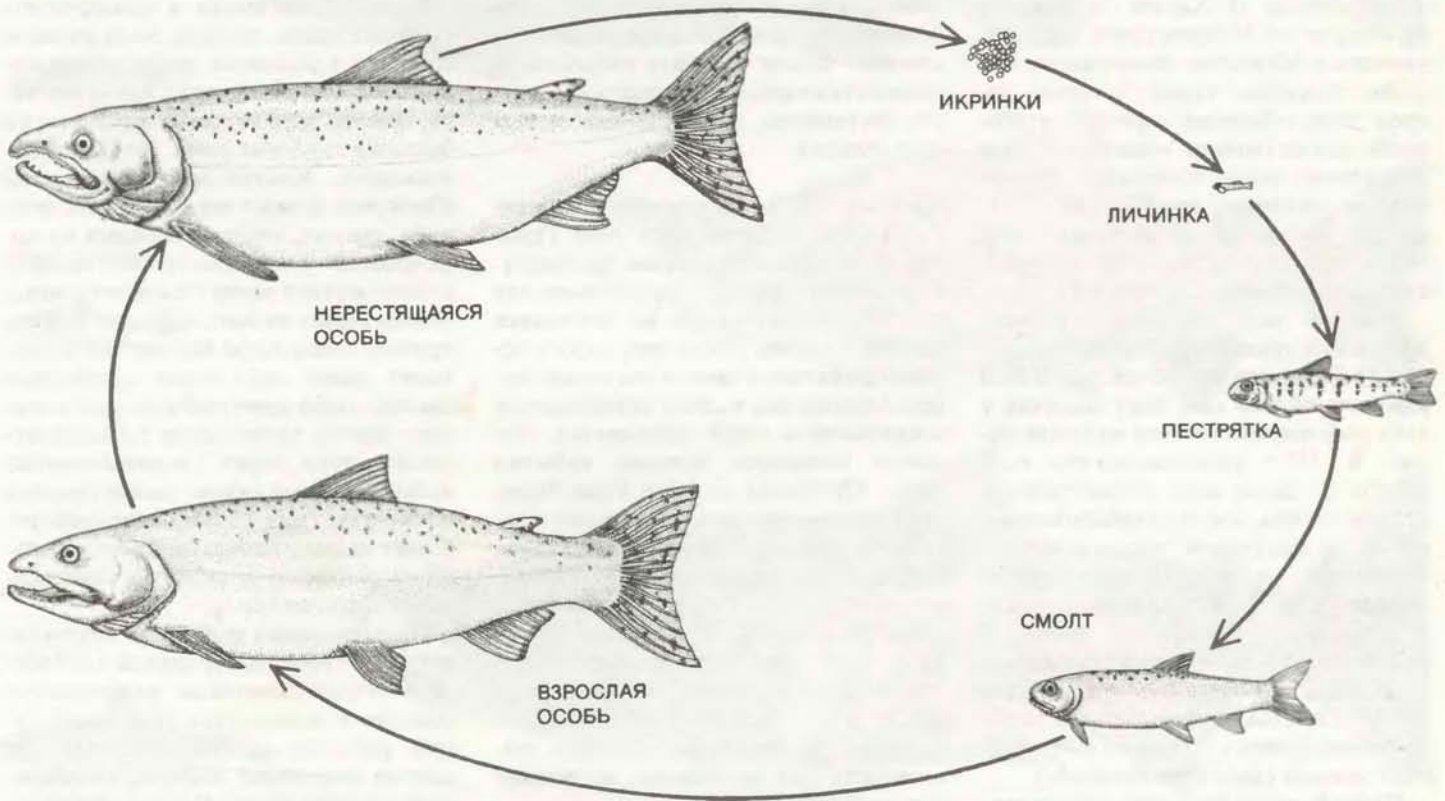
ПЯТЬ ВИДОВ РЫБ семейства лососевых, включающего лососей и форелей, изображены в одном масштабе. Показаны только самцы: справа — в нерестовом возрасте, слева — на стадии мальков-пестряток, которые живут еще в пресной воде. Пройдя стадию пестрятки, они становятся смолтами — у них происходят физиологические изменения, которые позволяют мигрировать в море и жить в соленой воде. Чавыча, нерка и кижуч возвращаются в родную речку для нереста только однажды и затем погибают. Благородный лосось и стальноголовый лосось возвращаются на нерест каждый год в течение многих лет.

жит идеальной пищей для подрастающих лососей. Два года спустя лососи возвратились на нерест, а их численность далеко превзошла скромные ожидания чилийских и американских руководителей программы. Эта рыба является сейчас источником икры для осуществления расширенной программы воспроизводства, предполагающей в ближайшее время выпуск чавычи в

Магелланов пролив. Лососи, которые будут выходить оттуда в открытое море, получают доступ к огромным скоплениям криля, наблюдаемым летом в зоне Антарктической конвергенции, где антарктические воды встречаются с более теплыми океаническими массами с севера. Хорошие условия для питания рыбы имеются также в богатых планктонных водах Патагонского шельфа, ко-

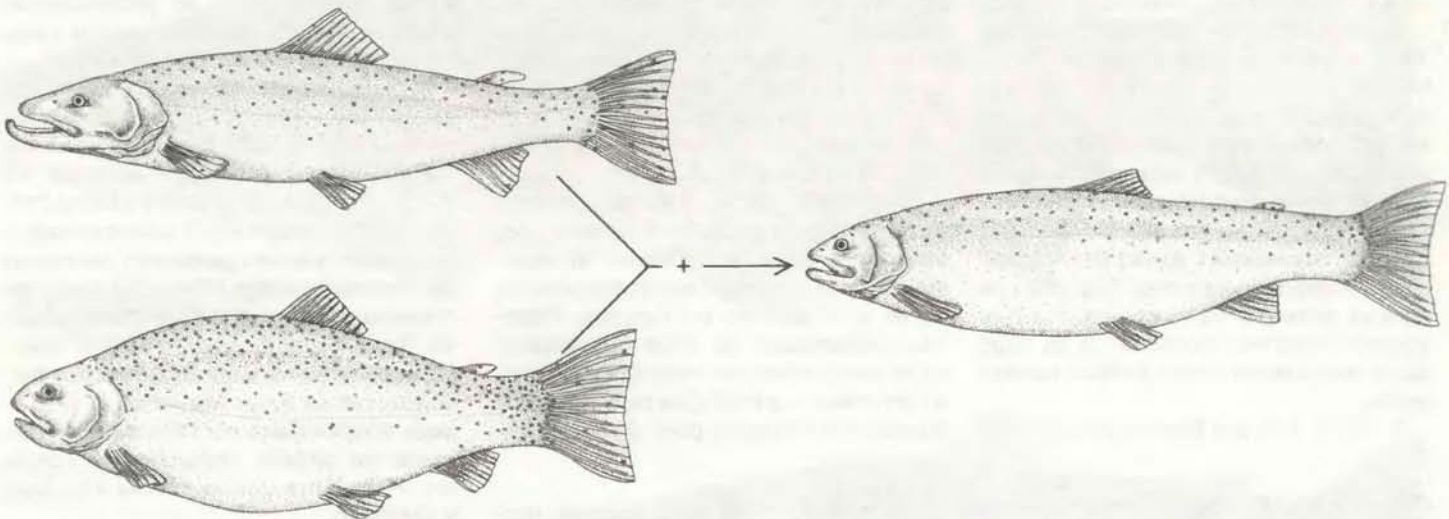
торые могли бы быть особенно привлекательными для лососей в зимнее время.

Чавыча не единственная рыба, численность которой удалось увеличить с помощью описанного метода. Успешно выполняются также программы по разведению кижуча (*Oncorhynchus kisutch*), горбуши (*O. gorbuscha*), кеты (*O. keta*), благородного лосося (*Salmo*



ШЕСТЬ СТАДИЙ жизненного цикла кижуча (*Oncorhynchus kisutch*), показанные в одном масштабе: икринки; личинки, не освободившиеся от желточного мешка; пестрятки — пятнистая молодь, живущая еще в пресной воде;

смолты — серебристая молодь, способная к миграции в море; половозрелые взрослые особи, готовые к возвращению из моря; и наконец, половозрелые взрослые рыбы, только что вернувшиеся в свою родную речку на нерест.



ГИБРИДИЗАЦИЯ ФОРЕЛИ была проведена в Университете шт. Вашингтон. Сперма от стальноголовых лососей, которые представляют собой проходную (мигрирующую) расу радужной форели, была использована для оплодотворения икры выведенного в университете стада немигрирующей радужной форели. Самец лосося изображен вверху слева.

Получившийся в результате гибрид растет быстрее лосося, хотя и медленнее, чем немигрирующая форель. Как и лосось, гибрид мигрирует, а по возвращении у него обнаруживается характерное для форели свойство — хватать приманку, что делает его привлекательным для рыбаков.

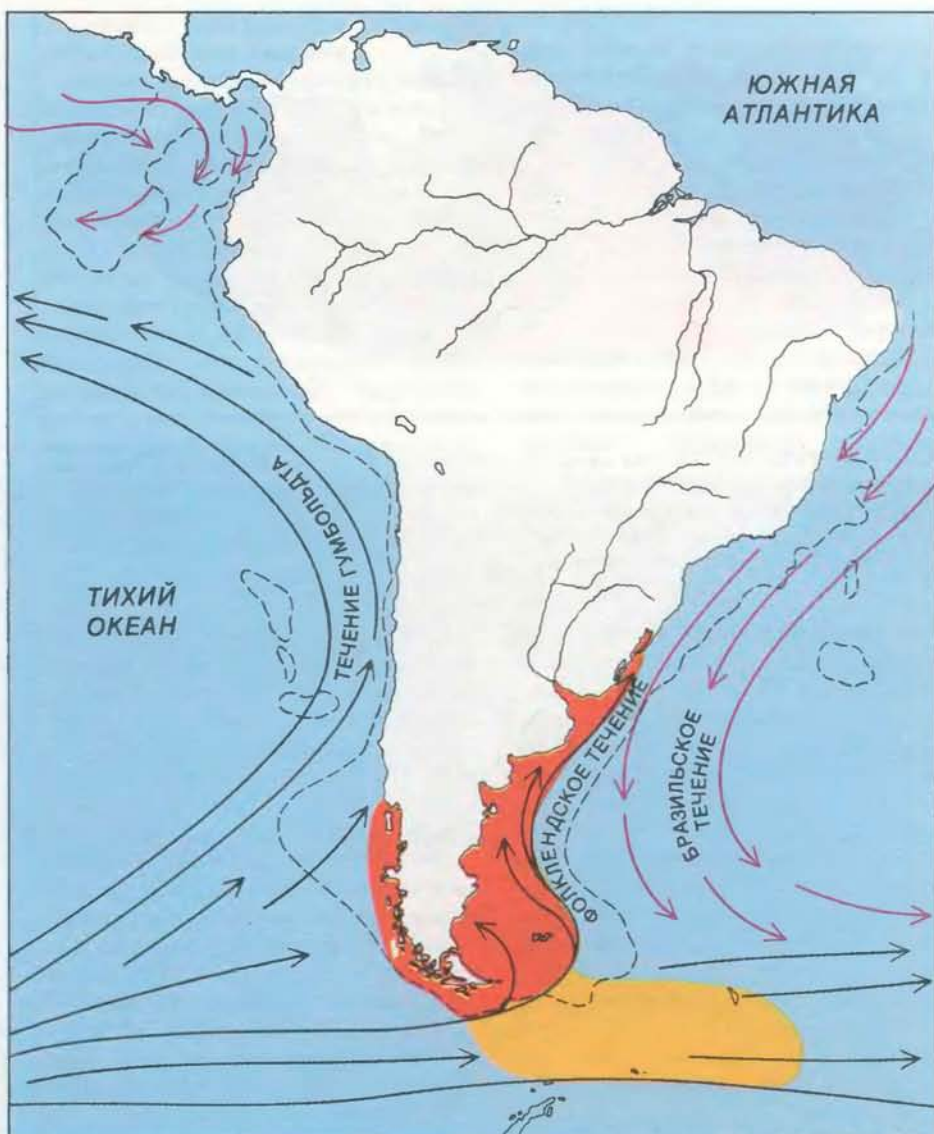
salar) и радужной форели (*S. gairdnerii*).

Кижуч издавна обитал на обширном пространстве от Арктики до центральной Калифорнии. Поскольку он предпочитает нереститься в небольших речках, где затем подрастает и молодь, при возвращении домой рыбы рассеиваются по тысячам нерестилищ, в которые можно попасть из северной части Тихого океана. Таким образом в ходе эволюции возникло множество уникальных стад или рас кижуча.

Взрослый кижуч возвращается в свою родную речку с мест нагула в океане поздней осенью, когда из-за дождей поднимается уровень и понижается температура воды в реках. В течение долгих зимних месяцев икра кижуча лежит, защищенная слоем гравия. Вылупление молоди происходит в марте—июне. Летом молодь кижуча питается водными насекомыми в тех же речках, где она вылупилась. Осенью, когда взрослые рыбы возвращаются к местам нереста, мальки, родившиеся весной, питаются рядом с ними, поедая водные организмы, вытесняемые взрослыми рыбами, роющими гнезда для икры. Мальки поедают также икринки, не покрытые гравием сразу же после откладки.

Молодые кижучи остаются в своей речке и на вторую зиму, проводя этот период фактически в состоянии спячки. На вторую весну молодь в южной части ареала достигает стадии смолтов: благодаря происшедшим в организме физиологическим изменениям рыба приобретает способность мигрировать в море. Без этих физиологических изменений лосось, в крови которого содержание соли составляет около 12‰, был бы обезвожен, попав в морскую воду, соленость которой составляет 30—32‰. Кижучи остаются в море в течение полутора лет и в трехлетнем возрасте возвращаются на нерест, начиная, таким образом, новый цикл. В более холодных частях ареала кижучу требуется 2,5 года для достижения стадии смолта; проведя в океане 1,5 года, рыбы возвращаются в место рождения в четырехлетнем возрасте.

Кижуч является основным видом рыб, разводимых в лососевых питомниках на западном побережье США. Ежегодно питомники, принадлежащие различным организациям и частным лицам, выпускают миллионы смолтов, и это создает основу для промышленного и спортивного рыболовства в штатах Калифорния, Орегон и Вашингтон. В 1967 г. в Университете шт. Вашингтон Л. Дональдсон организовал и начал исследования возможности ускорения роста кижуча путем усовершенствования рациона питания и повышения температуры воды, с тем чтобы полностью смолтифицированные мальки становились бы способны-



- ХОЛОДНЫЕ ТЕЧЕНИЯ
- ТЕПЛЫЕ ТЕЧЕНИЯ
- - - ГРАНИЦА КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА
- РАЙОН КРУГЛОГОДИЧНОГО ПРЕБЫВАНИЯ ЛОСОСЯ
- РАЙОН ЛЕТНЕГО НАГУЛА

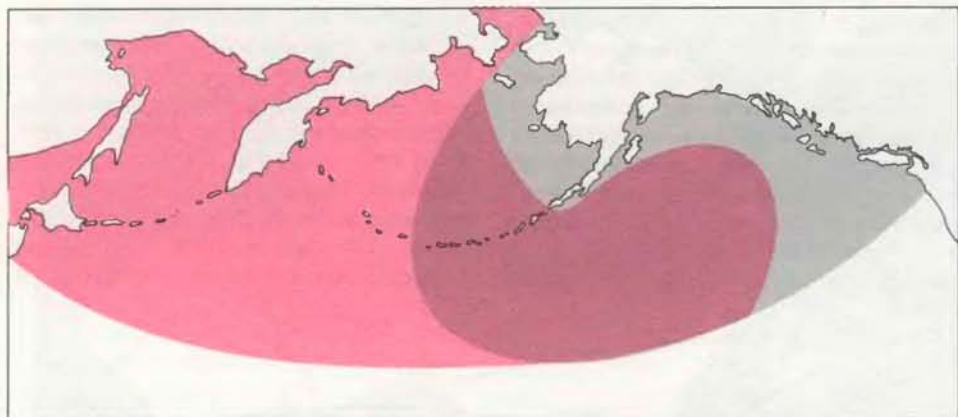
НОВЫЙ РАЙОН ОКЕАНА осваивается тихоокеанскими лососями после завоза в Чили оплодотворенной икры из Северной Америки и Японии. Наиболее успешен был завоз икры чавычи из стада Университета шт. Вашингтон в 1980 г. Планируется использовать это стадо как источник икры для расширенной программы воспроизводства, предполагающей выпуск лососей в Магелланов пролив. На карте показаны районы, перспективные для расселения лососей в Субантарктике.

ми к миграции в возрасте 6—7 месяцев, а не 18 месяцев, как в норме. Мы установили, что цель вполне достижима. После выпуска этих акселерированных смолтов большинство особей, проведя 18 месяцев в море, вернулись в университетский водоем в возрасте 2 лет. Путем селекции стада на основе этой группы нам удалось увеличить возврат взрослых рыб с 1,25% (в 1969 г.) до 6,42% (через 6 лет.)

ОПИСАННЫЕ достижения стали возможными благодаря результатам исследований последних лет, касавшихся питания лососевых. Были созданы специальные рационы, включаю-

щие необходимые количества легко усваиваемого белка, жиров, микроэлементов и витаминов. До сих пор рыбная мука была главным источником белка, но качество этого продукта, получаемого из Перу, часто бывает плохим, а поставки из стран северного полушария становятся все более дорогими и нерегулярными. С большим или меньшим успехом использовались заменители: дрожжи, растительный и бактериальный белок. Существует также реальная возможность утилизации отходов, образующихся при переработке рыбы.

Для поддержания необходимой для роста лососевых температуры воды в



**ДЛИННЫЙ ПУТЬ МИГРАЦИИ** кеты (*Oncorhynchus keta*), разводимой в Японии и СССР, ведет ее к заливу Аляска. Распространение азиатских стад кеты показано красным цветом, североамериканских — серым, в области их совместного распространения цвета накладываются. Ежегодный улов кеты, возвращающейся в азиатские реки, достигает 90 млн. кг.

рыбопитомниках (8—12° С) можно использовать тепло, выделяемое электростанциями или другими промышленными предприятиями. Ускорения смолтификации мальков удается достичь при поддержании определенной температуры воды в питомнике. Преимущества такого ускорения очевидны: можно избежать воздействия губительных экстремальных температур зимой и летом; выпуск смолтов можно осуществить до того, как уровень воды в водоеме достигнет критически низких летних отметок; укорочение периода пребывания мальков в перенаселенных водоемах уменьшает возможность заболевания рыбы; чем меньше время выращивания, тем меньше затраты кормов и ближе наступление сроков «сбора урожая».

В развитых странах северного полушария из-за истребления лесов, распашки земель и создания городских промышленных комплексов большое число естественных нерестилищ и мест инкубации икры было уничтожено. В ряде стран обратились к искусственному разведению лососевых, надеясь таким образом компенсировать потери, вызванные уничтожением их естественных биотопов. За 20 прошедших лет японцы достигли огромных успехов в разведении кеты в питомниках. Почти вся кета, вылавливаемая ныне в японских территориальных водах, искусственного происхождения.

Хотя в Северной Америке и Европе и существует целый ряд методов искусственного разведения многих видов лосося и форели, ни один из них не применялся с такой тщательностью и целеустремленностью, как это сделали японцы, использовавшие метод, заимствованный в Новой Англии еще в XVIII в.; никогда прежде не было столь впечатляющих результатов. Тем не менее на основании всего накопленного к настоящему времени опыта возникла новая концепция разведения ло-

сосевых, так называемое океаническое фермерство. Ее отличие от прежних методов состоит в том, что мальки остаются в питомнике до тех пор, пока они не достигнут состояния, обеспечивающего их оптимальную выживаемость в океане. Только тогда их выпускают в море, где они нагуливаются и созревают до тех пор, пока не наступит время их возвращения к родным берегам. Новый метод может оказать огромное влияние на эволюцию и сохранение лососевых. Однако следует учитывать, что положительные результаты возможны лишь при хорошей организации всей системы; в противном случае может быть нанесен вред и экосистеме, и экономике лососевого рыболовства.

В штате Орегон, где новый метод разведения кижуча, чавычи и кеты организован под непосредственным контролем администрации штата, отделение деревообрабатывающей компании Weyerhaeuser построило большой питомник близ Спрингфилда. Горячие отходы бумажной фабрики нагревают зимой ледяную воду реки Мак-Кензи до температуры 11° С, необходимой для инкубации икры и выращивания молоди кижуча. Когда мальки к поздней весне достигают стадии смолтов, их перевозят на побережье в Ньюпорт, где помещают в специальные бассейны, куда накачивается океанская вода. За 10—14 дней в этих бассейнах рыба полностью адаптируется к соленой океанической воде и после заключительного кормления ее выпускают в океан. Примерно через 18 месяцев рыбы возвращаются в соленоводную реку, образованную потоками из бассейнов, где они содержались и откуда были выпущены. При этом создаются наилучшие условия для отлова, когда не нужны ни лодки, ни сети. Фермеру не требуется даже собирать свое стадо и гнать его в загон — рыба идет в бассейн сама.

В естественных условиях горбуша и кета обитают в более северных частях ареала лососевых. Обычно они нерестятся вблизи моря; некоторые расы нерестятся даже на приливных отмелях, где пресная вода стекает в море. После инкубации в гравии на протяжении холодных зимних месяцев мальки выходят из гнезд весной и почти сразу же скатываются в море. Горбуша и кета, в отличие от других лососевых, достигают стадии смолтов почти сразу же после рассасывания желточного мешка.

Многие исследователи биологии лососевых полагают, что кета и особенно горбуша не могут жить в пресной воде и гибнут, если не попадают в море. Поэтому они не без удивления узнали, что мальки горбуши, выпущенные в небольшом количестве в озеро Верхнее, через три года превратились во взрослых особей. Обычно уходящая в море горбуша возвращается в реки в возрасте 2 лет и такой 3-летний цикл явно необычен для нее. Не приходится сомневаться, что в Великих озерах рыбный промысел заметно преуспешит с появлением нового стада.

После второй мировой войны в северной Японии и на острове Сахалин в СССР были разработаны обширные программы по созданию питомников с целью увеличения производства горбуши и кеты. Почти все идущие на нерест лососи вылавливаются здесь живыми с помощью ловушек или сетями и лишь крайне редко с лодок, как это принято в Северной Америке. Поэтому рыба поступает в продажу неповрежденной и в отличном состоянии.

Благодаря прекрасной координации отдельных звеньев японской программы каждую весну удается выпускать более миллиарда мальков кеты. Смолты уходят от берегов Японии к местам нагула, находящимся к югу от Алеутских островов и в заливе Аляска. Через 3—5 лет они возвращаются в японские реки. Осенью 1982 г. отлов идущей на нерест кеты составил свыше 20 млн. особей по сравнению с 2—3 млн. в начале этого столетия, когда источником промысла были только природные популяции.

В СССР на Сахалине выпускают в мелкие реки миллионы мальков горбуши и кеты, выращенных в питомниках; планируется увеличивать выпуск ежегодно на 100 млн. особей, с тем чтобы к 2000 г. довести его до 3 млрд. Как и в Японии, в СССР отдают предпочтение отлову на конечных отрезках хода рыбы. Вблизи нерестилищ сооружаются специальные заграждения с проходами для рыбы вблизи берега. Рыбаки, стоящие на берегу, могут просто хватать руками идущих лососей и бросать их прямо на обработочный конвейер. Такой способ отлова является наиболее экономически выгодным и эффектив-



ным. Он позволяет также производить точные количественные учеты рыбы и, таким образом, способствует четкой и эффективной организации.

**НЕКОТОРЫЕ** специалисты считают ситуацию с благородным лососем весьма критической, однако теперь есть надежда, что будущее окажется не столь мрачным. В Исландии удалось стабилизировать и даже увеличить число лососей, возвращающихся в реки этой страны; проводится политика, направленная прежде всего на охрану ресурсов лососевых, а не на поддержку промышленного рыболовства, что, к

сожалению, имеет место в странах Европы и Северной Америки.

Лососи, возвращающиеся на нерест в Исландию, являются собственностью фермеров, владеющих землями по берегам рек. Однако фермерам разрешено применять старый способ отлова сетями только в нижнем течении четырех из 250 исландских рек и только в трех местах на морском побережье. Такой отлов дает примерно 40% ежегодного улова в стране. Остальная часть улова приходится на спортивную ловлю удочками и спиннингами. Разрешение как на промышленную, так и на спортивную ловлю должно быть получено

от фермеров — владельцев земли. Отлов лососей строго контролируется правительством, следящим за тем, чтобы к местам нереста доходило необходимое число лососей.

В программу охраны естественных запасов лосося входят также искусственное выращивание и открытие для хода рыбы рек, ранее для нее недоступных. На государственной экспериментальной ферме в Келлафьордуре удалось добиться ускоренного выращивания благородного лосося благодаря использованию воды от горячих подземных источников, контролированию времени ежедневного светового



«РОДНОЙ РЕЧКОЙ» для чавычи и кижуча, разводимых в Университете шт. Вашингтон, является искусственный бассейн на окраине университетского городка. Чтобы попасть в этот бассейн, те 5—6 тыс. лососей, которые каждую осень

возвращаются из моря на нерест, должны несколько раз изменить направление движения и пройти по судоходному каналу. Вода, которая так привлекает их, накачивается в бассейн из канала, куда затем стекает вновь сама.

воздействия на молодь с целью улучшения питания и роста мальков, созданию маточных стад для заселения рек, ставших доступными для лосося, и добавлению в бассейны, где выращивается молодь, соленой воды для ускорения процесса смолтификации. После создания специальных рыбопропускных сооружений стал возможен ход лосося по рекам, ранее для него недоступным. Правительство поддерживает также промышленное выращивание лосося.

В Западной Европе количество лосося было значительно снижено по сравнению с уровнем, существовавшим в «доиндустриальное» время — не толь-

ко из-за неумышленного ухудшения мест обитания, но и из-за перехвата рыбы в море, когда в дрейфтерные сети одной страны попадают лосося, «принадлежащие» другой стране. В Шотландии, Ирландии, Норвегии и Канаде предприниматели пытаются улучшить снабжение своих рынков семгой путем выращивания рыбы до состояния зрелости в морских бассейнах и плавучих садках. В этом новом способе морского разведения лососей лидером является Норвегия с ее длинной береговой линией, образованной хорошо защищенными фьордами; в 1981 г. эта страна поставила на рынок 8 тыс. тонн

искусственно выращенной семги, и предполагается, что в течение следующих трех лет это количество будет утроено.

Из всех лососевых наибольшим генетическим разнообразием отличается радужная форель. Из своего исходного ареала вдоль восточного побережья Тихого океана она распространилась сама или была расселена почти по всему земному шару. Этой рыбой изобилуют даже тропические водоемы, лежащие высоко над уровнем моря.

Помимо того что она представляет большой интерес для спортивного рыболовства, радужная форель является



РАЗВЕДЕНИЕ благородного лосося (семги) и радужной форели проводится норвежскими предпринимателями в таких плавучих садках. В 1981 г. Норвегия продала более 8 тыс. т

семги (*Salmo salar*), и ожидается, что это количество к 1986 г. будет утроено.

важным объектом промышленного производства. Одна только Италия производит ежегодно 21 тыс. т этой рыбы для рыночного сбыта; большие поставки обеспечивают также Дания, Финляндия, Франция, Норвегия и Великобритания. Только в южной части штата Айдахо, в долине реки Снейк, форелевые фермы получают ежегодно около 13 тыс. т радужной форели.

В естественных условиях радужная форель нерестится только весной. Сейчас выведены стада форели, способной нереститься почти в любое время года, что повышает эффективность промышленного производства этой рыбы.

Работа по выведению радужной форели проводилась начиная с 1932 г. в школе рыболовства Университета шт. Вашингтон. Была поставлена цель получать в больших количествах сильных, здоровых особей, пригодных для заселения озер и рек и для использования в хозяйствах, занимающихся промышленным разведением. Первое время форель достигала зрелости и веса в среднем 680 г на четвертом году жизни. При первом нересте самки выметывали 400—500 икринок. Сейчас некоторые самцы нашего выведенного стада достигают веса 680 г уже на первом году жизни. Самки, достигающие зрелости на втором году жизни, весят в среднем 4500 г и выметывают по 10 000 икринок каждая. Хотя темп увеличения средней длины тела рыб, отбираемых последовательно в течение многих поколений, замедляется, их средний вес продолжает увеличиваться. В результате получают крупные плотные особи (так называемые высокотельные рыбы) с улучшенным качеством мяса. Хотелось бы думать, что наши результаты сопоставимы с достижениями птицеводов, выращивающих широкогрудых индеек.

Выведенная в нашем университете линия форели развивается в течение многих поколений, не выходя в море. К нашему удивлению смолты этой линии прекрасно чувствовали себя, будучи помещенными в плавучие садки в Норвегии. В условиях, которые, по нашему предположению, могли бы оказаться для них стрессовыми, они достигали больших размеров и весили от 2,3 до 6,8 кг.

Выращивание радужной форели в морских садках стало в Норвегии доходным делом. В 1981 г. на рынки, преимущественно европейские, было отправлено около 4 тыс. т этой рыбы. Рынок сбыта ее включил и США, где крупная, свежая, выращенная в искусственных условиях форель из Норвегии появилась и в Сиэтле — лососевой столице мира.

Скрещивание близкородственных пород или рас растений и животных часто ведет к гетерозису (проявлению «гибридной силы»). Лососевые в этом

отношении не являются исключением. В результате межрасового скрещивания стальноголового лосося (проходной формы радужной форели) и немигрирующей радужной форели, выведенной в Университете шт. Вашингтон, были получены гибриды, способные расти быстрее, чем мигрирующая лосось, но медленнее, чем немигрирующая форель. Очевидно, что доминантный фактор роста был передан при скрещивании, по крайней мере частично, стальноголовому лососю. Более того, гибриды, по-видимому, сохраняют способность мигрировать в море, где рост их происходит очень быстро. Когда же они возвращаются, достигнув половой зрелости, местные рыболовы могут заняться увлекательным видом спорта, поскольку гибриды сохранили свойство форели хватать приманку.

Отбор у лососевых может в относительно короткий срок повлиять на их форму, размер, поведение, вкус и качество мяса точно так же, как отбор на протяжении 1500 лет создал молочный и мясной скот. Дальнейшая эволюция видов лососевых находится теперь в руках человека, который начинает увлеченно использовать свои возможности. При этом возникает много интересных проблем. Одна из них — сохранение генетического разнообразия лососевых путем обеспечения условий для процветания природных стад. Другая — использование огромной адаптативности этих замечательных животных путем выведения стад, способных освоить как новые местообитания, так и те, откуда их предки были вытеснены в результате деятельности человека.

## Издательство МИР предлагает:

### М. Дж. Адамс ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ

Перевод с английского

Монография учебного характера содержит вводный курс в теорию оптических волноводов, применяемых в волоконно-оптических линиях связи и интегральной оптике. Излагается теория волноводов с проводящими границами и диэлектрических волноводов различных конфигураций. Большое внимание уделяется градиентным световодам и приближенным методам расчета полей в них. Эффективность изложенных теоретических методов иллюстрируется на таких примерах, как гетероструктурные лазеры с полосковой геометрией, различные волноводные структуры для интегральной оптики, полые диэлектрические резонаторы для волноводных лазеров, дисперсия в одномодовых и многомодовых волокнах и т.д.

Для научных работников, инженеров, аспирантов и студентов, специализирующихся в области квантовой электроники и оптической связи.

1984, 34 л. Цена 2 р. 90 к.

### А. Лихтенберг, М. А. Либман РЕГУЛЯРНАЯ СТОХАСТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА

Перевод с английского

Обширная монография известных американских физиков, профессоров Калифорнийского университета (Беркли) посвящена новой быстро развивающейся области исследований, пограничной между нелинейной механикой и статистической физикой. Основное внимание уделено выяснению физической сущности и механизма открытого сравнительно недавно феномена динамической стохастичности, т.е. случайного движения полностью детерминированных систем классической механики. Рассмотрены многочисленные примеры и приложения. Приведены практические методы расчета стохастических процессов.

Для специалистов — механиков, физиков, инженеров и, отчасти химиков и биологов, а также студентов старших курсов и аспирантов соответствующих специальностей.

1984, 30 л. Цена 4 р. 80 к.



# Обучение у морской улитки

У моллюска *Hermisenda* можно вырабатывать условные рефлексy, т.е. обучать его ассоциировать два стимула. Удалось определить нервные механизмы, лежащие в основе обучения у этой улитки; не исключено, что подобные механизмы действуют и в мозгу человека

ДЭНИЭЛ Л. ЭЛКОН

**М**ОЖНО ли объяснить сложные психические функции высших животных, исходя из представлений об электрической активности определенных нервных клеток и химических реакций, лежащих в основе этой активности? Конечно, нейробиологи могут описать некоторые простейшие стереотипные формы поведения в рамках такого сугубо физического подхода. Например, рефлекторное отдергивание конечности в ответ на поражающее воздействие можно описать в терминах электрической импульсации клеток нескольких идентифицируемых типов. Многие электрофизиологические и биохимические механизмы, лежащие в основе такой импульсации, уже хорошо изучены. Однако в наших знаниях между простыми рефлекторными актами и такими сложными процессами, как, скажем, обучение или память у человека, огромная пропасть. Тем не менее есть по крайней мере надежда, что анализ элементарных форм обучения у животных с просто организованной нервной системой поможет нам перекинуть мост через эту пропасть.

У голубей, собак и людей можно вырабатывать условные рефлексy, т.е. обучать их ассоциировать один стимул с другим, связанным с первым по времени. Собака выучивает и помнит, что звонок предшествует запаху мяса и предвещает его, и поэтому слюна у нее выделяется уже при звуках звонка. Мозг у позвоночных слишком сложен, чтобы при современном уровне техники мы могли изучать подобное ассоциативное обучение на уровне отдельных нейронов. Вот уже несколько десятилетий нейробиологи изучают небольшие ансамбли нервных клеток беспозвоночных, ответственные за переработку сенсорной информации, а в последние 20 лет многие исследователи занялись нервными структурами, деятельностью которых лежит в основе простых форм поведения. Примерно 12 лет назад мои коллеги из Лаборатории биологии моря в Вудс-Холе (шт. Массачусетс) и я заинтересовались, свойственно ли об-

условливание беспозвоночным, чья нервная система содержит на много порядков меньше нейронов, чем человеческий мозг, в котором насчитывается около триллиона нервных клеток. Если бы удалось обучить таких животных ассоциировать два стимула, можно было бы попытаться определить, какие проводящие пути активируются данными стимулами, а также выяснить, как эти пути конвергируют, обеспечивая тем самым физическую основу ассоциации. Исследуя активность нейронов в этих путях, мы могли бы попытаться выявить специфические изменения, вызванные обуславливанием, и получить таким образом возможность описывать «обучение» в рамках терминологии электрических и молекулярных процессов.

## Обучение

В качестве объекта мы избрали лишнего раковины морского брюхоного моллюска *Hermisenda crassicornis*. В естественных условиях в течение светлого времени суток для этих моллюсков характерен положительный фототаксис, т.е. они перемещаются в сторону участков с большей освещенностью. Адаптивное значение такого поведения очевидно: гидроидные кишечнополостные, которыми питаются *Hermisenda*, скапливаются в хорошо освещенных поверхностных слоях воды. Когда в толще воды появляются турбулентные завихрения, как, например, во время шторма, *Hermisenda* замедляет движение, опускается на дно и увеличивает площадь мускульной «ноги», чтобы закрепиться на твердом грунте на большой глубине. Смысл такого поведения опять-таки ясен. Во время шторма в бурно перемещающихся верхних слоях воды животное может погибнуть, а обходиться без пищи *Hermisenda* способна неделями.

Возможно, сталкиваясь у поверхности с волнением воды в сочетании со светом, моллюск «улавливает» связь между ними. При этом свет оказывает-

ся предвестником турбулентности, и возникшая ассоциация должна была бы заставлять животное медленнее двигаться в сторону максимальной освещенности, а значит, и наибольшей турбулентности. Мы решили воспроизвести влияние эффектов освещенности и турбулентности на поведение *Hermisenda* в лабораторных условиях.

Мы помещали животных в стеклянные трубки, заполненные солевым раствором и расположенные радиально на вращающемся диске. В первую очередь определялось, сколько в среднем времени требуется улитке, чтобы достичь освещенного участка в центре диска. Затем диск вращали с разной скоростью, так что животные подвергались действию центробежной силы, имитирующей эффект турбулентности. Условия эксперимента были различными. Одной группе животных свет и вращение предъявлялись неизменно в одном и том же сочетании (например, всегда одновременно), а моллюскам контрольных групп либо не предъявляли ни света, ни вращения, либо предъявляли их по отдельности или в разной, нефиксированной последовательности.

Затем мы вновь измеряли время движения животных к свету и определяли эффект обучения. У моллюсков, которым предъявляли фиксированное сочетание свет — вращение (и только у них), скорость уменьшалась более чем на две трети по сравнению с исходной. Они научились ассоциировать свет, служивший в данном случае условным стимулом, с вращением, т.е. с безусловным стимулом. В результате такого обуславливания реакция на свет становилась сходной с реакцией на вращение.

## Обуславливание

Контрольные эксперименты показали, что изменения реакции на свет в самом деле связаны с ассоциативным обучением. Предъявление одного только света не меняло характеристик по-



МОРСКАЯ УЛИТКА *Hermissenda crassicornis* достигает в длину почти 4 см. Два больших губных щупальца — органы тактильной и химической чувствительности; меньшие по размеру головные щупальца (ринофоры) чувствительны к

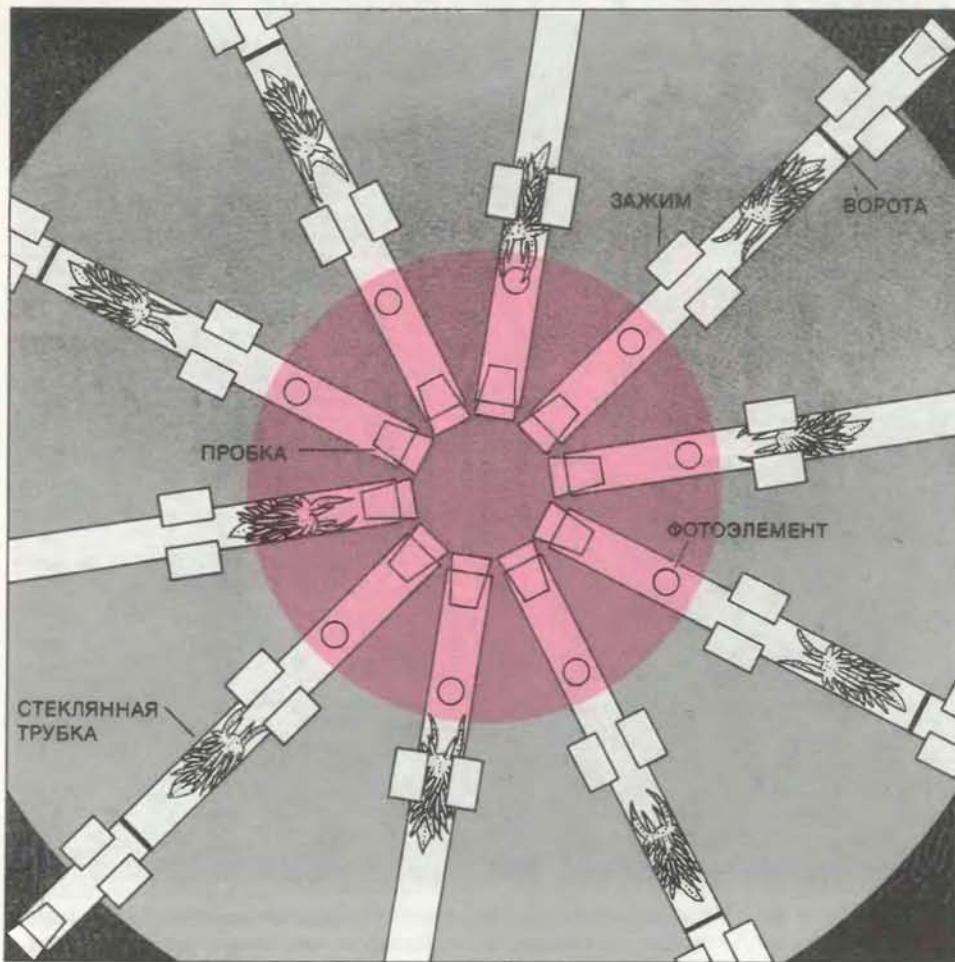
движению воды. Центральная нервная система расположена близ буккальных масс позади ринофоров вокруг пищевода. Похожие на перья придатки на спине (цераты) — органы газообмена. (Фото П. Хэнкарта.)



ЦЕНТРАЛЬНАЯ НЕРВНАЯ СИСТЕМА *Hermissenda*. Окраска метиленовым синим выявляет нервные ганглии и множество нервов над буккальными массами. Глаза (черные) и вестибулярные органы, статоцисты (видны как белые точки), располагаются между двумя педальными ганглиями (внизу слева и справа) и лежащими медиальнее плевральными ганглиями. (Эта и следующая микрофотографии сделаны А. Кузайрианом в лаборатории автора.)



ГЛАЗ И СТАТОЦИСТ. Светочувствительные мембраны пяти фоторецепторных клеток погружены в черный пигмент и обращены к внутренней поверхности хрусталика. В центре округлого статоциста на ресничках волосковых клеток лежат кристаллики — статоконии (на фото не видны). Когда положение тела животного меняется, статоконии, смещаясь, отклоняют реснички и соответствующие волосковые клетки возбуждаются. (Увеличение  $\times 300$ .)



**УЛИТКИ ОБУЧАЛИСЬ** в стеклянных трубках, закрепленных на вращающемся диске. До обучения измеряли время, нужное улитке, чтобы достичь источника света в центре диска. Затем моллюска помещали во внешний конец трубки и вращали. При обучении одной группы улиток вращение сопровождалось вспышкой света длительностью 30 с. Животных контрольных групп либо не обучали вовсе, либо предъявляли им только свет или только вращение, а также подавали стимулы поочередно или же в случайном порядке. После этого вновь измеряли скорость движения улиток к источнику света, чтобы определить эффект обучения.

следующего ответа на него, так что привыкание исключалось. После многократного предъявления вращения, не связанного со зрительными стимулами, ответ на него также не изменялся; следовательно, можно было исключить и сенситизацию. (Привыкание — это постепенное снижение раздражимости при многократном повторении стимула. Сенситизацией называют повышение раздражимости организма при повторении стимула, имеющего большую биологическую значимость. При исследовании поведения, связанного с ассоциативным обучением, как привыкание, так и сенситизация могут приводить к ошибкам. В работах, в которых наблюдались изменения поведения, следующие за ассоциативным обучением, у других видов улиток, обе эти возможности не были до конца исключены.) Более того, условный рефлекс у моллюска не вырабатывался и в тех случаях, когда свет и вращение чередовались или когда эти два стимула предъявлялись в случайном порядке; Т. Кроу и я обнаружили, что

оба стимула нужно предъявлять вместе. (Точнее, появление света должно было предшествовать достижению максимума скорости вращения на 1 с.) Животные, таким образом, запоминали именно фиксированное соотношение стимулов во времени.

Изменения поведения были свойственны и другие черты классического условного рефлекса: выраженность реакции возрастала при тренировке, реакция сохранялась довольно долго — в течение многих недель, т.е. на протяжении почти всего жизненного цикла моллюска, и не влияла на ответы животного на другие стимулы. У. Ричардс и Дж. Фарлей из Принстонского университета показали, что выработанный условный рефлекс можно угасить: после завершения обучения ассоциация «забывалась» тем быстрее, чем чаще улиткам предъявляли свет, не подкрепленный вращением. Кроу также продемонстрировал, что для восстановления ассоциации после угашения требовалось меньше тренировки, чем при обучении. Подобное ускорен-

ное повторное обучение можно назвать «сбережением» (savings). Наконец, Фарлей установил, что при введении в процедуру эксперимента дополнительных непарных стимулов (света или вращения) *Hermisenda* обучались медленнее. Ухудшение обучения показывает, что животные устанавливают связь вращения со светом: когда эта связь отсутствует, обучение нарушается.

Описанные выше изменения поведения мы наблюдали у улиток, выловленных у побережья Калифорнии. До обучения эти моллюски демонстрировали весьма различные варианты реакции на свет, что, вероятно, было обусловлено разным индивидуальным опытом животных, а возможно, и генетическими предпосылками. Но Дж. Харриган удалось вывести линию *Hermisenda* с гораздо более однотипной реакцией на свет; их поведение в процессе обучения также варьировало значительно меньше. Кроме того, мы вырастили улиток, у которых орган, чувствительный к вращению, был дефектен. В опытах с ними были получены дополнительные доказательства рефлекторного характера обучения: такие животные нормально реагировали на свет, но не могли ассоциировать его с вращением.

Все эти результаты позволяют считать, что по способности к ассоциативному обучению улитки *Hermisenda* немногим уступают собакам (или дельфинам, или, коли уж на то пошло, человеку). А если так, то процессы, лежащие в основе подобного обучения, на наш взгляд, могут тоже оказаться одними и теми же у разных видов. Первым шагом к пониманию этих процессов был анализ проводящих путей, опосредующих у улитки ассоциацию света с вращением.

### Проводящие пути

Мы начали со схемы нервной системы *Hermisenda*, уделяя особое внимание двум путям, один из которых ответствен за проведение информации об условном стимуле (свете), а другой — о безусловном (вращении). На свет отвечают две фоторецепторные клетки типа А и три фоторецептора типа В в каждом глазу животного; возникающие электрические сигналы последовательно передаются сначала на интернейроны, затем на мотонейроны и, наконец, на группы мышечных волокон. Вращение механически раздражает так называемые волосковые клетки статоциста; эти рецепторы преобразуют механическое раздражение также в электрический сигнал. (Свое название волосковые клетки получили из-за похожих на волоски ресничек, выстилающих их обращенную к центру полости статоциста поверхность. В каждом из двух статоцистов улитки имеется 13



**ФОТОРЕЦЕПТОР ТИПА В.** Введенный в клетку краситель проционовый желтый распространился по аксону вплоть до терминалей. На первом снимке краситель заполнил тело клетки (возле белого хрусталика) и начало аксона. На следую-

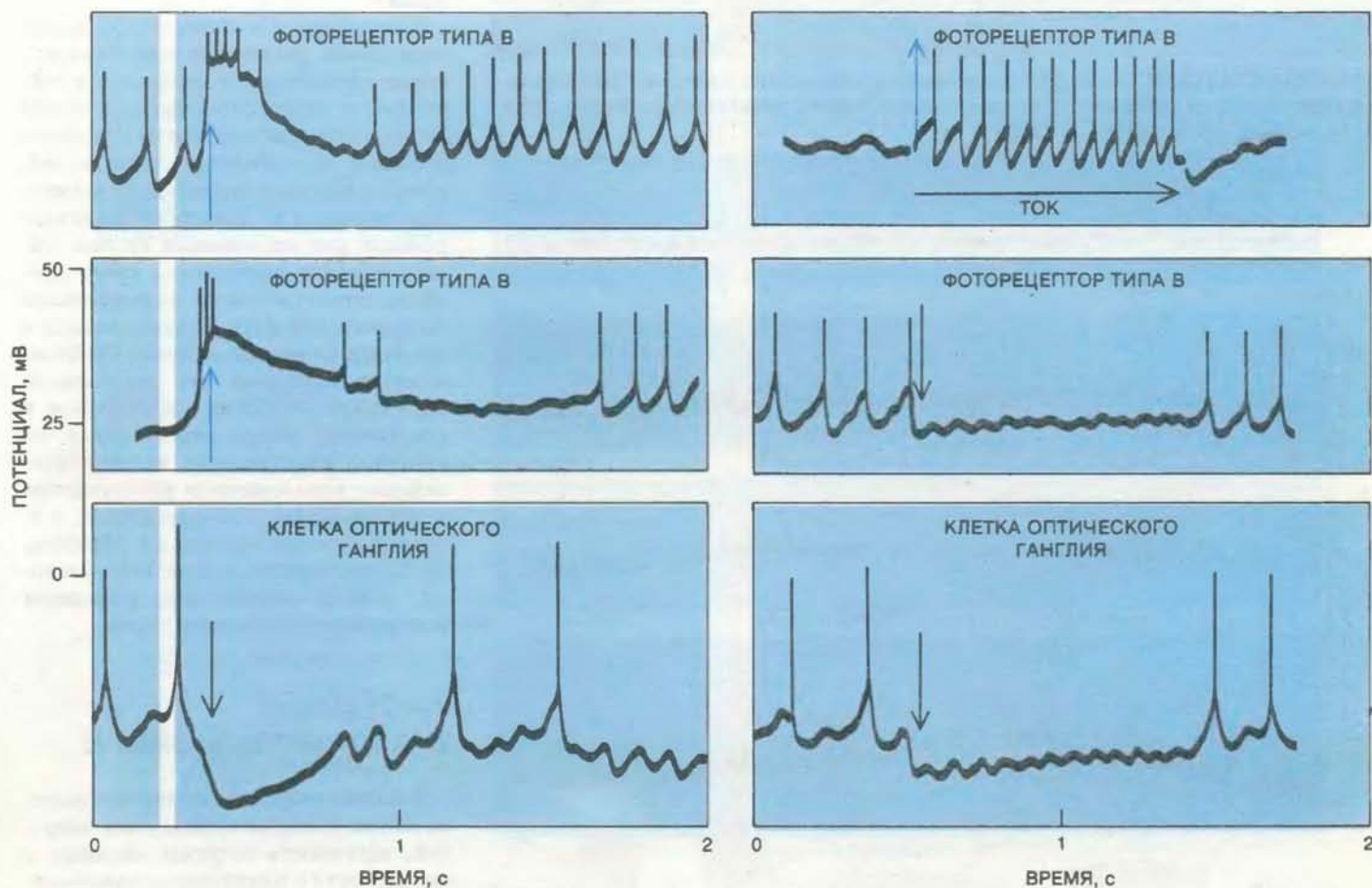
ющих снимках — косой срез аксона, входящего в плевральный ганглий, и его разветвление на множество терминалей, образующих синапсы с другими клетками (последнее фото). Микрофотографии сделаны Л. Масукавой.

таких клеток. Статоцист аналогичен внутреннему уху млекопитающих.) Сигналы от волосковых клеток передаются на интернейроны, мотонейроны и к мышцам. Некоторые аксоны волосковых клеток образуют синапсы на аксонах фоторецепторных клеток. Благодаря этим и другим, непрямым, связям между зрительными и вестибулярными путями и осуществляется

конвергенция двух сенсорных модальностей.

Мы проследили оба пути как с помощью электрофизиологических методов, так и на микрофотографиях окрашенных препаратов. Электрические ответы клеток на свет и вращение, а также на электрическое раздражение, заменяющее соответствующий стимул, регистрировались при помощи

микроэлектродов. Анализируя ответы пар связанных между собой клеток на различные раздражения, мы установили, когда и каким образом рецепторные клетки отвечают импульсами на определенные стимулы; было также выяснено, к каким нейронам передаются по аксонам эти импульсы и какое действие — возбуждающее или тормозное — на них оказывают. Прове-

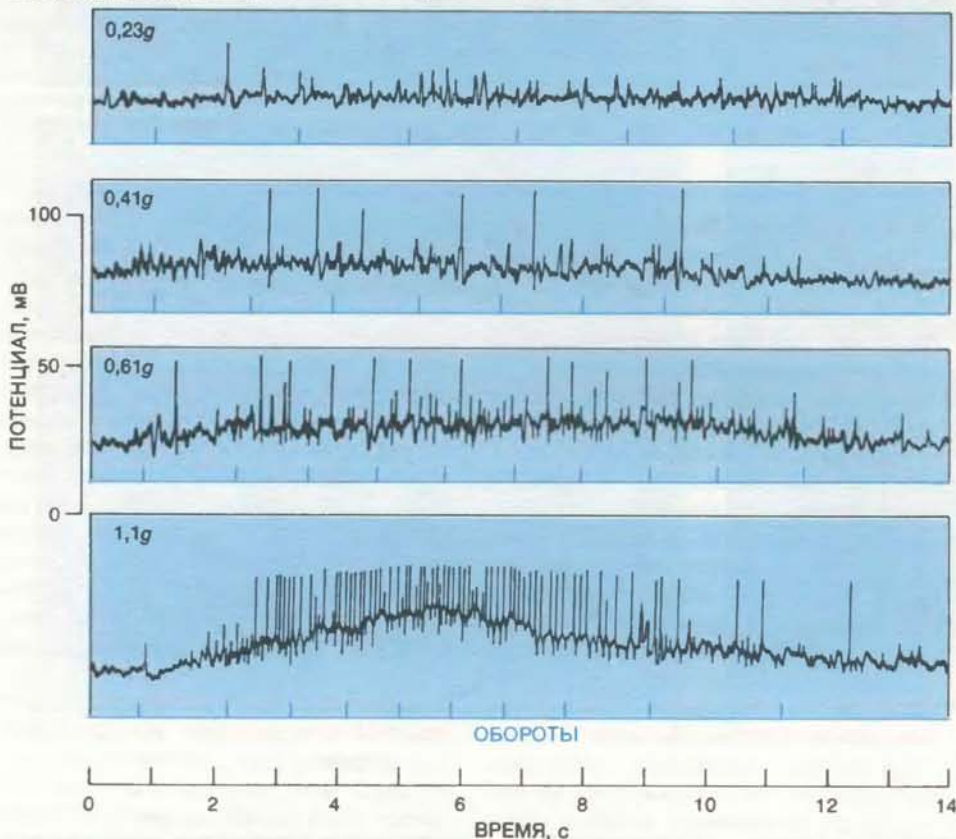


**ВНУТРИКЛЕТОЧНОЕ ОТВЕДЕНИЕ** электрической активности фоторецепторов типа В и клетки оптического ганглия, которую они тормозят: эффект вспышки света (слева) и толчка тока (справа). В ответ на короткую вспышку света (белая полоска) клетка типа В деполяризуется (цветные стрелки). Возникают нервные импульсы. Эти сигналы приводят к генерации в клетке оптического ганглия тормозных

постсинаптических потенциалов, вследствие чего ее отрицательный заряд возрастает (черная вертикальная стрелка) — частота импульсов снижается. При воздействии на любую из двух клеток типа В раздражающим током (положительным; горизонтальная стрелка) имитируется эффект света: появляются импульсы, тормозящие и вторую клетку типа В, и клетку оптического ганглия.



ПОЛОВИНА СТАТОЦИСТА. Видны поверхность волосковых клеток и статоконии. Микрофотография сделана с помощью сканирующего электронного микроскопа Е.Хэльдманом. (Увеличение  $\times 2000$ .)



ОТВЕТЫ ВОЛОСКОВОЙ КЛЕТКИ на вращение изолированной нервной системы моллюска. Под действием центробежной силы (величины ускорения указаны слева возле каждой кривой) статоконии давят на реснички и в волосковой клетке возникают импульсы. Аксон клетки перерезали, чтобы исключить синаптические воздействия.

лав те же эксперименты с последовательно связанными клетками, мы сумели выявить проводящие пути от рецепторов, воспринимающих свет и вращение, к мышцам, при помощи которых *Hermisenda* передвигается в воде. Помимо электрофизиологического анализа мы воспользовались также методами световой и электронной микроскопии. Введенный в тело нейрона краситель переносится по аксону вплоть до самых отдаленных терминалей; после этого окрашенное волокно можно проследить на тонких последовательных срезах ткани. Если таким образом окрасить два связанных между собой нейрона, хорошо виден синаптический контакт между ними.

На основании полученных результатов мы составили схему связей в нервной системе улитки (см. рис. на с. 39). Для всех исследованных взрослых *Hermisenda* схема получилась по сути одинаковой; очевидно, она детерминирована генетически. На этих морфологически фиксированных связях и реализуются те изменения, которые связаны с процессом обучения. Что же происходит при выработке условного рефлекса? Мы провели анализ в трех направлениях.

Во-первых, на клеточном уровне мы определяли, как меняются сигналы, которые генерируются отдельными нейронами и передаются другим клеткам во время и после выработки условного рефлекса. Идентифицировали те нейроны, в которых происходило изменение сигнала, и те, в которых регистрировался уже измененный сигнал. Таким образом выявлялось, какие процессы лежат в основе формирования условного рефлекса и какие связаны с его сохранением. Во-вторых, биофизическими методами мы исследовали клеточные мембраны, к которым и приурочены самые существенные изменения. Обнаружилось, что при изменении сигнала меняются токи, текущие через мембраны нервных клеток, т.е. потоки определенных ионов. Наконец, на биохимическом уровне мы выяснили, какими химическими реакциями контролируются потоки ионов.

### Возбудимые фоторецепторы типа В

В наших нейроанатомических исследованиях были выявлены цепи нейронов, активность которых менялась в зависимости от паттерна использованных стимулов. Такие перестройки называются возможными благодаря самой системе связей внутри зрительного и вестибулярного путей и между этими путями. Когда во время обучения сочетали свет с вращением, ответ системы нейронов заключался в том, что фоторецепторы типа В (в каждом



глазу улитки их три) возбуждались выше обычного уровня и становились более возбудимыми. Иными словами, возбуждение этих фоторецепторов, которое обычно следует за световым стимулом, после обучения усиливалось и продлевалось.

Описанный эффект есть результат интегрированного ответа системы на сочетание света и вращения. В норме те волосковые клетки, которые максимально реагируют именно на вращение, разряжаются даже в отсутствие стимуляции. Такая «тоническая» активность тормозит фоторецепторы

типа В. Когда волосковые клетки стимулируются только вращением, их активность возрастает и тормозное влияние на фоторецепторы становится еще сильнее. Однако же, когда вращение прекращается, активность волосковых клеток падает даже ниже «тонического» уровня и фоторецепторы освобождаются от их тормозящего воздействия. При сочетании вращения со светом токи, возникающие в освещенном фоторецепторе типа В, уменьшают входное сопротивление его мембраны и таким образом как бы запирают ее для тормозных сигналов волосковых

клеток, уменьшая тем самым эффект вызванного вращением торможения. Более того, частота сигналов клеток зрительной системы второго порядка (клетки типа Е в оптическом ганглии), несинаптически возбуждающих фоторецепторы, возрастает сразу после того, как вращение сочетается со светом. В ходе обучения эффекты усиленного возбуждения накапливаются и возбудимость фоторецепторов типа В возрастает: их реакция на свет становится все более интенсивной и длительной.

Как показал в нашей лаборатории Я. Го, ярко выраженный эффект ак-

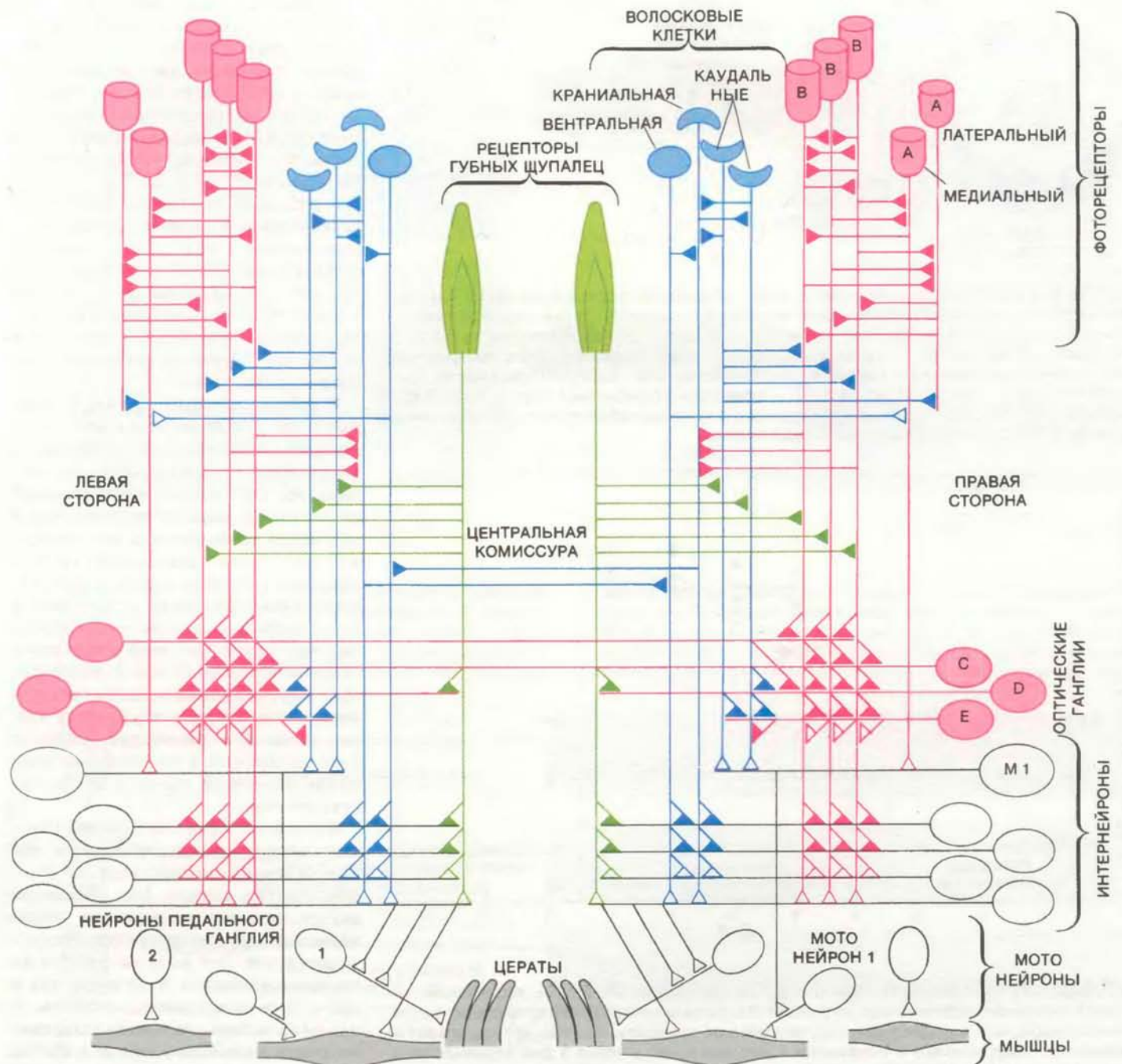
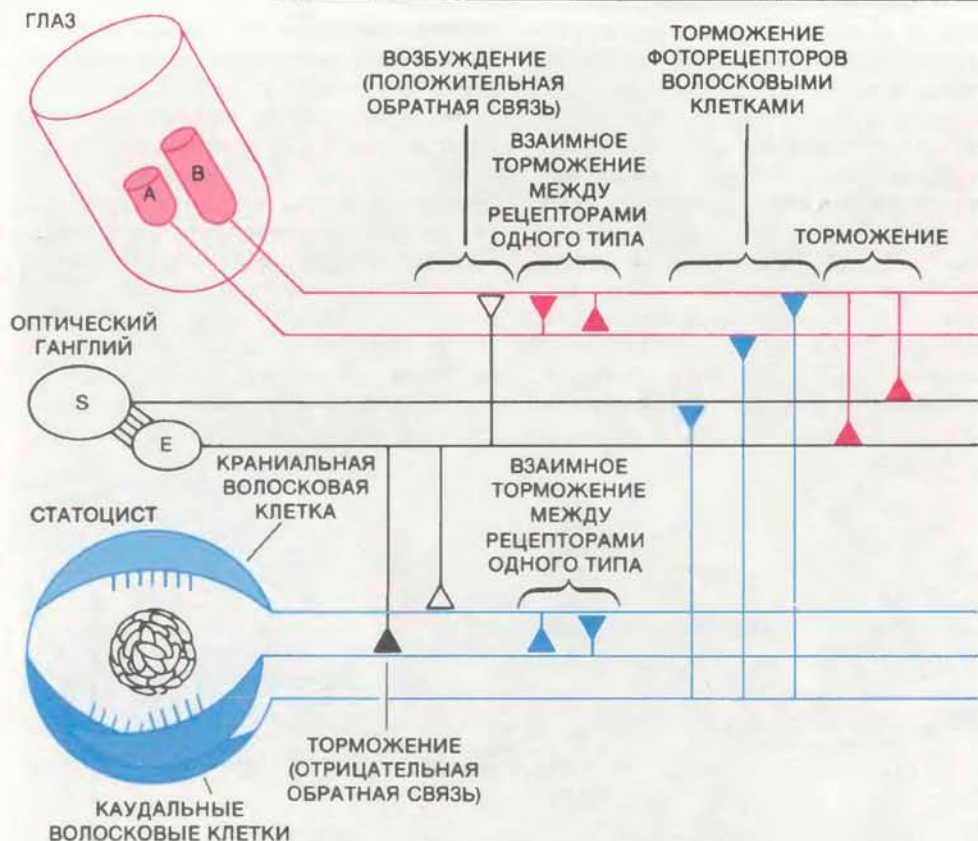
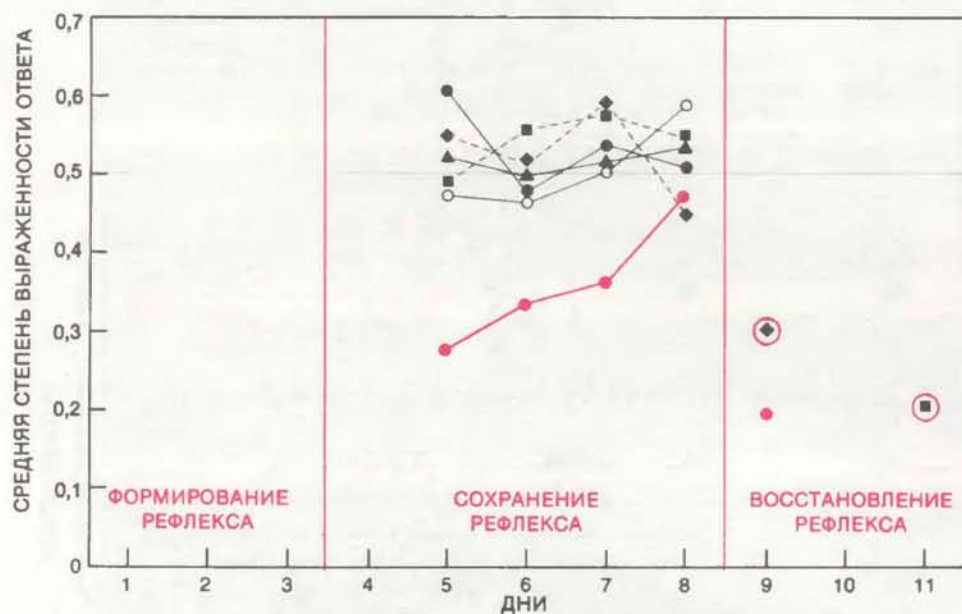


СХЕМА СВЯЗЕЙ В НЕРВНОЙ СИСТЕМЕ *Hermissenda*. Показаны клетки и их аксоны зрительной (красные) и вестибулярной (синие) систем, а также часть аксонов тактильно-хемочувствительной системы (зеленые). Кроме того, на схеме представлены некоторые интернейроны, мотонейроны

и мышцы (черные). Возбуждающие синаптические связи обозначены незакрашенными треугольничками, тормозные — покрашенными. Существование каждой из связей было проверено путем многократной регистрации одновременно пре- и постсинаптических потенциалов.



**МЕСТА КОНВЕРГЕНЦИИ** зрительных и вестибулярных проводящих путей. На схеме изображены клетки, отвечающие на свет и вращение. Среди них «молчащая» клетка оптического ганглия (S); ее реакции передаются посредством клетки E, с которой она связана электрически. Каудальные волосковые клетки генерируют постоянную («тоническую») активность, тормозящую фоторецепторы типа В. При предъявлении парного стимула свет — вращение торможение клеток типа В волосковыми клетками уменьшается, их синаптическое возбуждение клетками типа E возрастает (положительная обратная связь).



**ВЫРАБОТКА УСЛОВНОГО РЕФЛЕКСА.** По вертикали — степень выраженности ответа: величина 0,5 означает, что скорость движения к источнику света остается постоянной; чем меньше значение, тем меньше скорость. Улитки, которым свет и вращение предъявляли в сочетании (цветные точки), через 3 дня «тренировки» двигались к свету медленнее. Постепенно этот рефлекс угасал, но восстанавливался после 1 дня повторной тренировки. Значимых изменений поведения у контрольных животных (черные графики) не наблюдалось, но их можно было обучить (цветные кружки). ▲ — случайные вспышки света; ● — случайная последовательность вращений; ○ — отсутствие стимулов; ■ — одновременные свет и вращение; ◆ — случайные сочетания света и вращение; ● — парный стимул свет — вращение.

тивности клеток типа В сводится к торможению цепи нейронов, которая начинается с фоторецептора типа А. Эта цепь ответственна за импульсацию мотонейронов, вызывающую сокращение мышцы, благодаря которому животное и движется к свету. Усиленный и продолжительный ответ фоторецепторов типа В приводит к увеличению такого тормозного воздействия и, следовательно, препятствует продвижению к источнику света.

## Нейронные основы обучения

Во многих исследованиях было показано, что изменения активности фоторецепторов типа В не просто коррелируют с поведением, но и являются, по крайней мере частично, его причиной. Подобные эксперименты проводились «вслепую», т.е. экспериментаторы не знали, как обучалось каждое конкретное животное.

В одном из опытов мы наблюдали активность мотонейронов, опосредующих поворот к свету. Как и следовало ожидать, клетки моллюсков с выработанным условным рефлексом (у них тормозной вход с фоторецепторов типа В должен быть более мощным) и в самом деле снижали активность при предъявлении света.

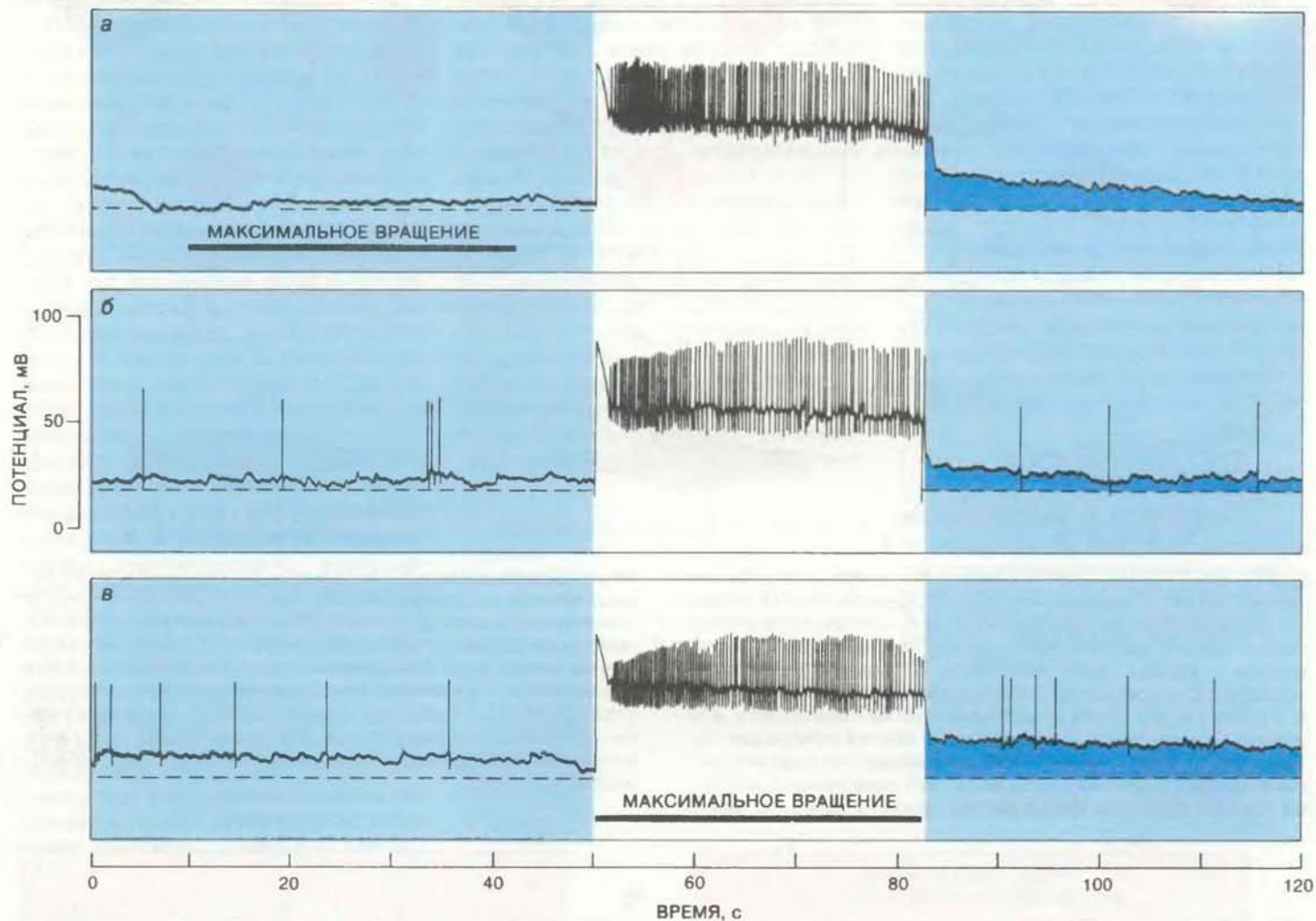
В другом эксперименте как обученным, так и контрольным животным перерезали аксон фоторецептора около тела клетки, которая в результате оказывалась электрически изолированной от остальной нервной системы. Затем оценивали возбудимость изолированной клетки при предъявлении света и при электрическом раздражении. По нескольким критериям возбудимость фоторецепторов у животных, обученных при сочетании света и вращения, оказывалась выше, чем у контрольных. Другими словами, вызванное обучением увеличение возбудимости клеток типа В — эндогенное свойство этих рецепторов, а не пассивное отражение изменений где-то в других частях системы.

Фарлей и я также продемонстрировали причинные закономерности при искусственных воздействиях на нервную систему улитки. Мы применили внутриклеточное раздражение током нейронов двух конвергирующих проводящих путей. Это вызывало такую же последовательность импульсов, как и при ответе на адекватные стимулы. В одном из экспериментов мы раздражали токком волосковые клетки и клетки оптического ганглия (зрительные нейроны второго порядка) изолированной нервной системы моллюска. Повторяющиеся толчки тока в сочетании со светом приводили к увеличению возбудимости фоторецепторов. Электрическое

раздражение (имитирующее в данном случае одну из контрольных процедур обучения) само по себе такого эффекта не давало. В другом эксперименте нам удалось получить и поведенческие проявления условного рефлекса просто

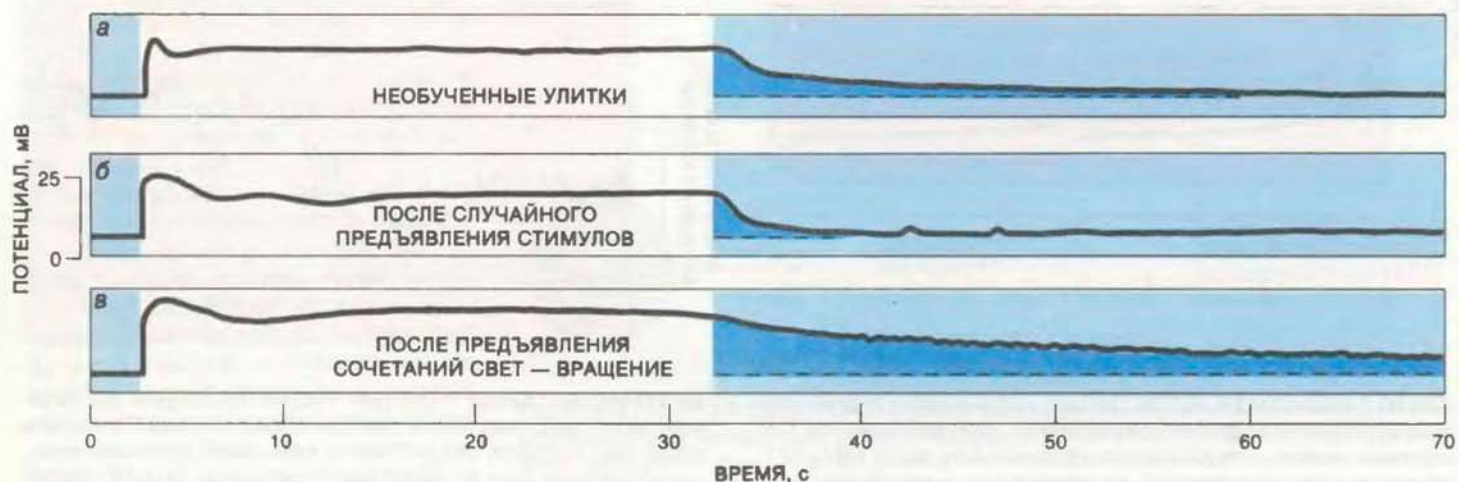
при сочетании света с повторяющимся электрическим раздражением фоторецептора у живой улитки. Параметры электростимуляции подбирались так, что они имитировали синаптический приток к фоторецептору при воздейст-

вии вращения на волосковые клетки. Как и ожидалось, возбудимость клеток типа В возросла. В дальнейшем, когда животные «выздоровливали» после связанной с экспериментом операции, они, так же как и улитки, у которых ре-



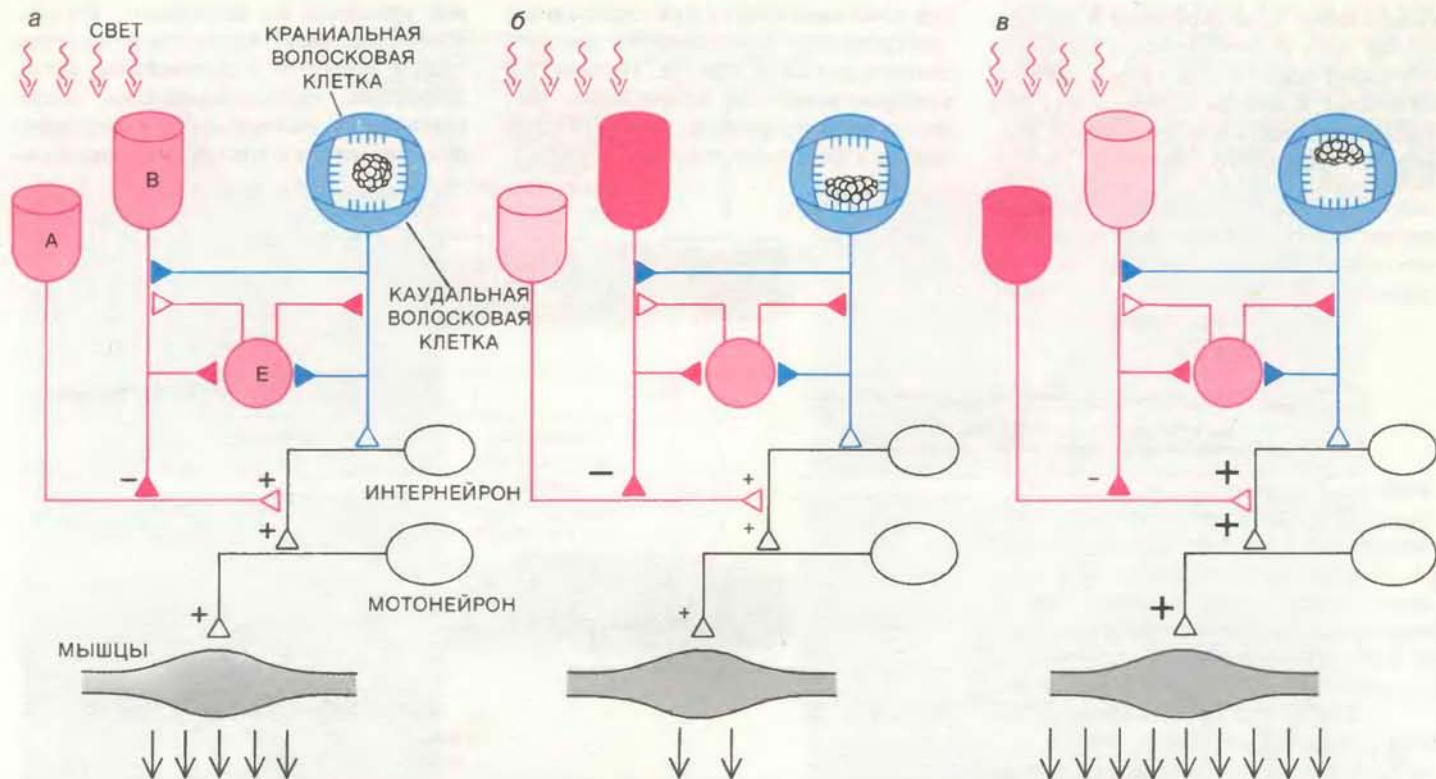
ОТВЕТЫ КЛЕТКИ ТИПА В на предъявление света, чередующегося с вращением (а), света без вращения (б) и парного стимула свет — вращение (в). Во всех случаях запись сделана во время второго из двух последовательных предъявлений света (белая область); первое заканчивалось за 40 с до

начала записи. Исходный потенциал покоя клетки указан пунктирной линией; длительная деполяризация, следующая за вторым предъявлением света, выделена темным цветом. Видно, что наиболее длительная деполяризация клетки типа В имеет место при сочетании света с вращением.



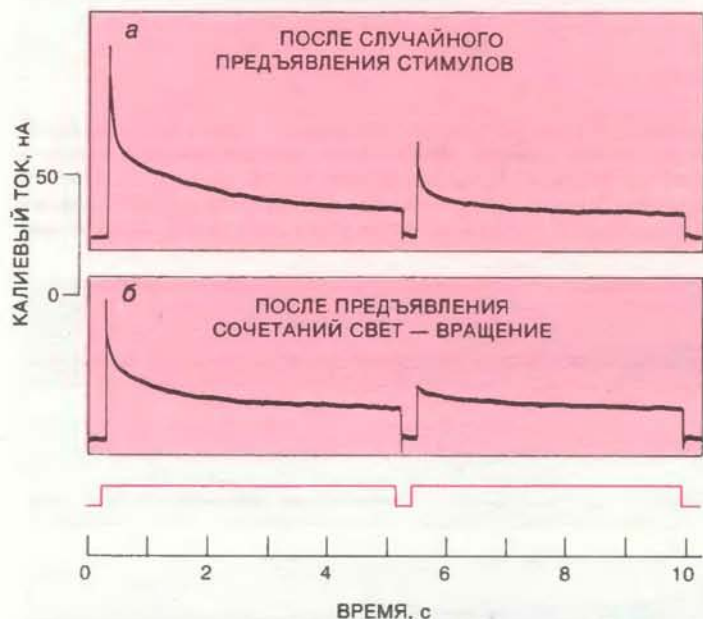
ИЗМЕНЕНИЯ ВОЗБУДИМОСТИ клетки типа В — ее собственное свойство. Показана запись потенциала трех таких клеток. Их аксоны перерезали, чтобы избежать влияния других нейронов. а — клетки необученного животного. После обучения: б — животному предъявляли свет и враще-

ние в случайном порядке, в — сочетание свет — вращение. Длительная деполяризация (выделено темным цветом) вслед за предъявлением света наибольшая у улитки с выработанным рефлексом (в).

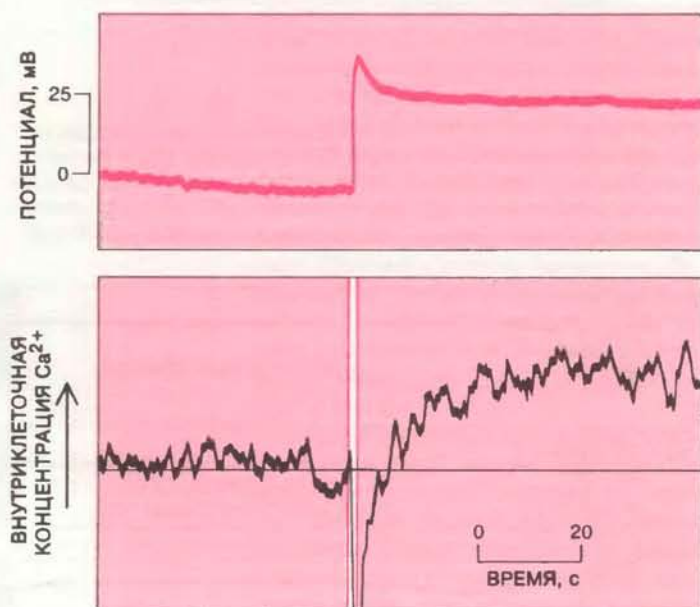


ОТВЕТ УЛИТКИ НА СВЕТ меняется после обучения. Схема связей остается неизменной: фоторецептор типа В тормозит медиальный фоторецептор типа А, который при стимуляции светом возбуждает цепочку интернейрон — мотонейрон — мышца. Залп импульсов от волосковой клетки тормозит фоторецептор типа В (прямо и через клетку типа Е). После такого залпа волосковая клетка «замолкает», а Е-клетка активируется; в результате В-клетка возбуждается. Так обстоит дело у необученного животного (а); синаптические эффекты усиливались, если свет сочетали с вращением хотя бы один раз. Когда улитка ориентирована на диске

так, что возбуждаются каудальные волосковые клетки (отрицательное обусловливание), после повторения сочетаний стимулов возбудимость клетки типа В увеличивается и некоторое время остается на этом уровне; тормозное влияние на клетку типа А во время и после предъявления света усиливается, и в конечном итоге движение к свету замедляется (б). Когда животное ориентировано противоположным образом (положительное обусловливание), возбуждаются краниальные волосковые клетки и имеет место обратный эффект.



ВЫХОД КАЛИЯ ИЗ КЛЕТОК ТИПА В у обученного животного в следующие за выработкой рефлекса дни уменьшается. Потенциал клетки искусственно увеличивали на 50 мВ (цветная линия) и измеряли ток, который в такой ситуации определяется выходом наружу ионов калия (черные кривые). Этот поток ионов интенсивнее в клетке животного, которому свет и вращение предъявлялись в случайном порядке (а), чем у моллюска, обучавшегося при предъявлении парного стимула свет — вращение (б); разница при втором из последовательных изменений потенциала гораздо больше.



ВНУТРИКЛЕТОЧНАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ КАЛЬЦИЯ увеличивается после стимуляции светом. В клетку типа В вводили вещество, которое, соединяясь с кальцием, дает комплекс, поглощающий свет определенной длины волны. По поглощению можно оценить концентрацию ионов кальция в цитоплазме клетки. В ответ на вспышку света (белая полоса) потенциал клетки становится более положительным (цветная кривая). Концентрация кальция возрастает (черная кривая) и остается на повышенном уровне, пока мембранный потенциал не уменьшится.

флекс на свет был выработан обычным способом, ползли к свету медленнее. У моллюсков контрольной группы после электрического раздражения без сочетания со светом подобных изменений не наблюдалось.

Наконец, доказательством ведущей роли возрастания возбудимости фоторецепторов следует считать то, что на основании активности этих клеток можно предсказывать изменения поведения. Связи между зрительными и вестибулярными клетками организованы таким образом, что, если голова животного направлена к центру вращающегося диска, вращением стимулируются так называемые каудальные волосковые клетки и в конце концов, как было описано выше, возрастает возбудимость клеток типа В. При обучении животного, ориентированного противоположным образом, стимулируются краниальные волосковые клетки, результатом чего является торможение фоторецепторов; мы предположили, что движение к свету при этом должно ускоряться. В эксперименте поведение улиток соответствовало предсказанию: возбудимость клеток типа В снижалась и моллюски быстрее ползли к свету. (Если встряхивать улиток случайным образом в различных направлениях, что имитирует условия в верхних слоях воды при шторме, клетки типа В возбуждаются, так как связи каудальных волосковых клеток с фоторецепторами более прямые и имеют более эффективные синаптические окончания, чем связи краниальных клеток.)

### Изменения в мембранах

Наши нейроанатомические данные представляют собой первое доказательство того, что у любого животного, будь то беспозвоночное или позвоночное, долговременное ассоциативное обучение является непосредственным результатом изменения возбудимости определенных нейронов. Но ведь возбудимость — это свойство клеточных мембран, а значит, следующий вопрос очевиден: что же происходит с мембраной фоторецептора типа В при выработке условного рефлекса? Прежде чем обсуждать наши результаты, мне придется вкратце остановиться на том, как происходит генерация электрического сигнала в мембране нейрона. В покое нейрон — тело клетки и его отростки — поляризован: заряд внутренней поверхности мембраны по отношению к наружной составляет около  $-70\text{ мВ}$ . Эта разность потенциалов порождается разницей в концентрации ионов внутри и снаружи клетки, а концентрации в свою очередь определяются избирательной проницаемостью мембраны, которая сплошь пронизана ионспецифичными белковыми каналами. Мембранный

потенциал зависит в основном от концентрации положительно заряженных ионов — натрия ( $\text{Na}^+$ ) и калия ( $\text{K}^+$ ). Концентрация ионов калия внутри клетки намного больше, чем снаружи, а натрия — меньше. В покое проницаемость мембраны для ионов калия больше, чем для ионов натрия, поэтому имеет место постоянный небольшой калиевый ток из клетки в межклеточную среду, в результате внутри клетки поддерживается отрицательный заряд\*.

Ионные каналы в мембране могут открываться в ответ на сенсорную стимуляцию (в случае рецепторных клеток), при действии медиатора на постсинаптическую мембрану и при изменении мембранного потенциала. Когда открываются натриевые каналы, положительно заряженные ионы натрия (а у фоторецепторов типа В также и ионы кальция) проникают внутрь, деполяризуя мембрану, т.е. заряжая ее внутрен-

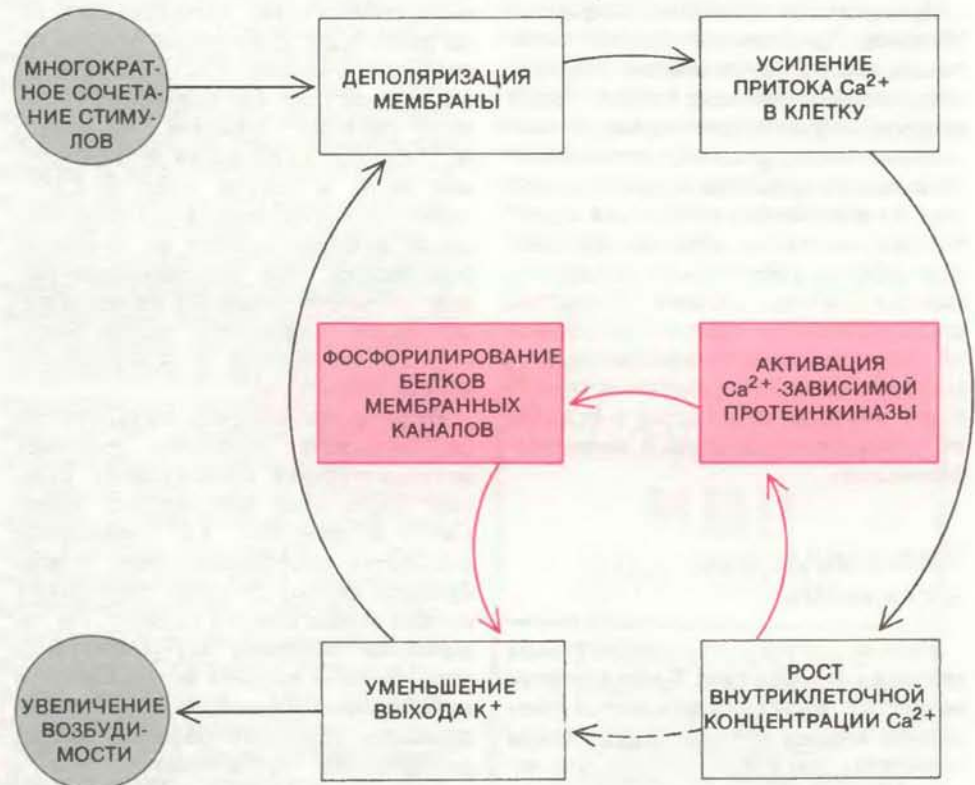
нюю поверхность положительно относительно соседних участков. Вследствие деполяризации почти сразу же открываются калиевые каналы\*, наружу устремляется поток ионов калия и восстанавливается отрицательный потенциал покоя. Такие изменения мембранного потенциала могут локально распространяться по мембране и в отдельных случаях\*\* вызывать значительно более мощную деполяризацию, способную регенеративно распространяться по всей длине аксона. Это и есть нервный импульс, или потенциал действия.

Мы обнаружили, что выброс ионов калия (он происходит через так называемые А-каналы; возможно, есть и другие калиевые каналы) при деполяризации, вызванной толчком тока без сопровождения света, в последующие за обучением дни уменьшается. В то же

\* Отрицательный заряд внутри клетки возникает из-за того, что калий проникает через мембраны в отличие от анионов, главным образом белков и аминокислот, для которых проницаемость мембраны намного меньше, чем для катионов  $\text{K}^+$ . — Прим. ред.

\* При достижении так называемой пороговой величины. — Прим. перев.

\*\* Проницаемость мембраны для калия и для натрия начинает увеличиваться практически одновременно, но проницаемость для калия растет медленнее и ее максимум совпадает с инактивацией натриевых каналов. — Прим. ред.



ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ, регулирующая увеличение возбудимости мембраны фоторецептора типа В при обучении. В биофизическом аспекте (черные прямоугольники) возрастание деполяризации вызывает усиление притока кальция в клетку, а повышение внутриклеточной концентрации кальция приводит к сокращению выхода наружу калия, результатом чего оказывается дальнейшая деполяризация мембраны. В схему также включены два этапа биохимической регуляции (выделены цветом). При повышенной концентрации кальция активируется  $\text{Ca}^{2+}$ -зависимая протеинкиназа. Этот фермент фосфорилирует белки, регулирующие проницаемость мембранных каналов; в результате поток калия в клетку сокращается.

время поток кальция внутрь (через другие, отличные от калиевых каналы) вслед за возбуждением, вызванным предъявлением света, становится более интенсивным. В результате этих двух процессов деполяризация клеток типа В в ответ на действие света или тока усиливается — они становятся более возбудимыми. (Возможно, хотя это и не показано, кальциевый ток возрастает просто потому, что вследствие сокращения выхода калия из клетки возбудимость повышается.) Дж. Коннор из Bell Laboratories и я обнаружили, кроме того, что в период формирования условного рефлекса ионы кальция имеют тенденцию накапливаться в фоторецепторе. При длительном повышении внутриклеточной концентрации кальция открытых калиевых А-каналов становится меньше, а сокращение выхода калия из клетки приводит к росту возбудимости мембраны. При предъявлении светового стимула она легче деполяризуется, в результате открывается больше кальциевых каналов, поток ионов кальция усиливается, концентрация  $Ca^{2+}$  внутри клетки возрастает, вследствие чего закрываются все новые и новые калиевые каналы и т.д., т.е. процесс протекает циклически по принципу положительной обратной связи.

Эти процессы усиливаются во время обучения. При многократном и достаточно частом предъявлении парного стимула деполяризация клеток типа В постепенно увеличивается, что в свою очередь, похоже, способствует взаимодействию калиевых и кальциевых каналов. Не исключено также, что в синаптически связанных нейронах суммарные эффекты изменения проводимости каналов противоположны. По нашим предварительным данным, мембраны медиальных фоторецепторов типа А (которые тормозятся клетками типа В) после обучения становятся в отличие от фоторецепторов типа В менее возбудимыми.

## Биохимические механизмы

Исходя из того что концентрация кальция в клетках типа В при обучении возрастает и это сопровождается изменением ионных потоков через каналы мембраны, мы предположили, что ионы кальция влияют на свойства мембранных каналов, инициируя или стимулируя определенные биохимические реакции. Кальций является элементом многих механизмов регуляции. В частности, он необходим для активации протеинкиназ — эти ферменты фосфорилируют белки, меняя таким путем их свойства. Вполне возможно, что при повышении концентрации ионов кальция внутри клетки активируются фер-

менты, фосфорилирующие те мембранные белки, которые регулируют проницаемость А-калиевых и кальциевых каналов.

Эта гипотеза подтверждается множеством данных. Дж. Ниари измерил включение меченных радиоактивным изотопом фосфора фосфатных групп в определенные белки, которые, как считается, входят в состав калиевых или кальциевых каналов либо каким-то образом связаны с ними. Оказалось, что включение метки в один из таких белков у обученных и контрольных животных разное. П. Грингард (Медицинская школа Йельского университета) еще раньше обнаружил, что фосфорилирование некоторых мембранных белков у ряда позвоночных животных опосредуется ионами кальция. Совсем недавно Л. Качмарек и С. Де Раймер из Йельского университета при нашем участии и сотрудничестве Грингарда удалось связать данные Ниари и Грингарда. Было установлено, что у *Hermisenda* фосфорилирование нескольких белков нервной системы (в том числе и того белка, который, как показал Ниари, меняется при обучении) зависит от концентрации кальция.

Мы проверили ведущую роль кальция в повышении возбудимости фоторецепторов типа В, вводя в них эти ионы внутриклеточно. Инъекция вызывала длительное сокращение потока калия через А-каналы, т.е. оказывала такое же действие, как выработка условного рефлекса. Наконец, по совету Х. Расмуссена (Йельский университет) мы ввели в клетки типа В  $Ca^{2+}$ -зависимую протеинкиназу. После инъекции влияние кальция на А-каналы усиливалось, т.е. имитировался эффект обучения: точно так же поток ионов калия сокращался, поток ионов кальция усиливался и возбудимость клетки возрастала.

Итак, можно предположить, что при формировании условного рефлекса внутриклеточная концентрация кальция постепенно повышается. Ионы  $Ca^{2+}$  активируют  $Ca^{2+}$ -зависимые ферменты, фосфорилирующие те мембранные белки, которые регулируют потоки ионов калия и кальция. По завершении обучения внутриклеточная концентрация кальция возвращается к нормальному уровню, но в период поддержания условного рефлекса фосфорилирование продолжается. ( $Ca^{2+}$ -зависимое фосфорилирование, как заметил Расмуссен, может быть необратимым процессом.) Возможно, высокое содержание кальция внутри клетки во время обучения обеспечивает длительную активацию протеинкиназ. Активацией ферментов могли бы объясняться продолжающиеся и после обучения изменения мембран, лежащие в основе повышенной возбудимости.

В наших исследованиях впервые про-

демонстрировано, что ассоциации, сохраняющиеся в течение нескольких дней, связаны с долговременными изменениями биохимической регуляции ионных потоков через клеточную мембрану. Обнаруженные изменения наблюдаются в телах клеток и в аксонах, но не касаются синаптических окончаний. Не исключено, что синаптические изменения также играют роль в ассоциативном обучении, но мы не получили подтверждения этой гипотезы. Для объяснения ассоциативного поведения у улитки *Hermisenda* достаточно исходить из данных о колебаниях проницаемости несинаптических мембран.

## Обучение у ПОВОЗНОЧНЫХ

Морские организмы — замечательные модели для фундаментального исследования многих аспектов деятельности нервной системы, свойственных и высшим животным. Мы попытались проверить, применимо ли то, что нам удалось выяснить о биохимических основах обучения у *Hermisenda*, к мозгу позвоночных. Недавно Ч. Вуди (Медицинская школа Калифорнийского университета, г. Лос-Анджелес), Б. Хей и я вводили в определенные нейроны мозга кошек упоминавшуюся выше протеинкиназу, микроинъекция которой в клетки типа В у *Hermisenda* имитировала эффекты обусловливания. Активность этих нейронов коррелировала с поведением кошек. Инъекции фермента приводили к таким же, как и в клетках типа В, изменениям возбудимости мембраны нейронов.

Подобное единообразие биохимических механизмов в эволюционном ряду животных не подразумевает, разумеется, идентичности функций. Даже если рассматривать только ассоциативное обучение, разрыв между возможностями улитки и человека, как я уже отмечал в начале статьи, очень велик. Взять хотя бы способность использовать сенсорную информацию и ассоциировать стимулы. Низшие животные могут вырабатывать ассоциации лишь на основе небольшого набора стимулов, у человека же материалом для ассоциаций может служить любая воспринимаемая информация. Сознание позволяет нам активно забывать или подавлять какие-либо воспоминания, таким образом, восприятие обретает эмоциональную окраску, придающую ассоциации новое значение.

Но при всем при том биохимия и биофизика обучения у человека и у улитки, по-видимому, в основном сходны. Вероятно, разница появляется на уровне нейронных сетей. Вспомним, что у моллюсков *Hermisenda* возбудимость фоторецепторов типа В увеличивается при обучении потому, что в от-

## Наука для мира \*

вет на стимул вследствие возрастающего активирования фермента ионами кальция открытых калиевых каналов становится все меньше, а кальциевых — все больше. Однако в фоторецепторах типа А набор каналов тот же, следовательно, налицо предпосылки для аналогичных изменений возбудимости. Но система связей зрительной и вестибулярной систем такова, что при обучении улитки, которую в эксперименте ориентировали головой к центру вращения диска, клетки типа В получали все более интенсивное возбуждение и становились при этом более возбудимыми. При обучении животного, ориентированного противоположным образом, та же система определяла возрастание возбудимости не клеток типа В, а фоторецепторов типа А. В зависимости от конкретной комбинации стимулов, предъявляемых в фиксированной последовательности с неизменным интервалом времени, генетически детерминированная система связей возбуждает одни клетки и тормозит другие.

Представим себе, что миллиарды нейронов человеческого мозга способны к таким же колебаниям возбудимости, как и нервные клетки *Hermisenda*. Такое допущение вполне обоснованно: у высших позвоночных описаны такие же калиевые и кальциевые каналы, как у беспозвоночных. Учтем также, что относительная интенсивность возбуждающих влияний, которым подвергается каждый нейрон в субпопуляции клеток человеческого мозга, должна зависеть от существующей системы связей и от природы и временных соотношений между сенсорными стимулами. Тогда, подобно колебаниям относительной возбудимости фоторецепторов при обучении у *Hermisenda*, возбудимость нейронов человеческого мозга может претерпевать под влиянием индивидуального опыта долговременные изменения. Нет необходимости думать, что основные биофизические и биохимические изменения, обеспечивающие хранение информации, у человека существенно иные, чем у моллюсков *Hermisenda*.

Однако что и в каком объеме может запомнить животное, определяется как раз системой связей в его нервной системе. Огромное число нервных клеток в мозгу человека и сложность нейронных сетей создают основу не только для тончайшей дискриминации стимулов и их ассоциации, но и для ассоциирования ассоциациями, т.е. обучения на уровне абстракций. Разница между тем, чему может научиться человек и чему — моллюск, скорее следствие различий в системах связей между нейронами, чем каких-либо особых, присущих именно человеку свойств клеточных мембран или биохимических регуляторных механизмов.

ПОЗИЦИЯ ученых в вопросах войны и мира, обуздания гонки вооружений приобретает в настоящее время особое значение. В этой связи заметным событием явились Дни Галилея и Нобеля, проведенные в мае 1983 г. в Италию под девизом «Наука для мира» по случаю 350-летия опубликования труда Галилея «Диалог о двух главнейших системах мира» и 150-летия со дня рождения Альфреда Нобеля. На научную сессию, созданную организационным комитетом под председательством итальянского физика А. Зикики, в Италию было приглашено более 200 ученых из многих стран мира, в том числе 33 лауреата Нобелевской премии. СССР представляли лауреаты Нобелевской премии академики Л. В. Канторович и П. А. Черенков, а также академик Б. М. Понтекорво и профессор С. П. Капица.

Программа сессии предусматривала проведение 5 симпозиумов по следующим темам: «Проблемы исследования мозга человека», «Развитие современной сейсмологии», «Ядерная физика на службе мира», «Проблемы исследования рака», «Биология и физика — на стыке двух наук». Специальное заседание было посвящено теме «Наука, мир, свобода». Страстный призыв устранить угрозу войны прозвучал в докладе «Наука и мир» лауреата Нобелевской премии и международной Ленинской премии «За укрепление мира между народами» Л. Полинга. Интересным и содержательным был доклад В. Вайскопфа «Как предотвратить войну?». В выступлениях многих ораторов была четко выражена мысль о недопустимости ядерного конфликта и подчеркнута необходимость достижения договоренности по основным проблемам, стоящим перед человечеством.

В рамках Дней Галилея и Нобеля состоялась встреча ученых с папой римским Иоанном Павлом II. Во время этой встречи вновь были подняты вопросы о процессе над Галилеем, взаимоотношения науки и религии и моральной ответственности ученых за то, чтобы достижения науки служили только на благо человечества.

Известно, что после опубликования «Диалога о двух главнейших системах мира» инквизиция потребовала суда над Галилеем. Осуждение ученого инквизицией стало символом непримиримых противоречий между наукой и религией, знанием и верой. В основе про-

цесса над Галилеем лежали политические причины, имевшие прямое отношение к той резко обострившейся идеологической борьбе, которая развернулась в Европе после Реформации. Значение процесса над Галилеем выходит далеко за рамки своей эпохи. Как известно, в последнее время Ватикан придает большое значение вопросу о пересмотре «дела Галилея», изыскивая пути к примирению науки и церкви.

Однако нельзя устранить непримиримых противоречий между знанием, основанным на наблюдении, опыте и логике, и религией, обращающейся к догме источников, авторитет которых по мнению церкви непогрешим. Действительно, как отмечал Галилей в «Диалоге о двух главнейших системах мира», задача ученого состоит в том, чтобы «изучать великую книгу Природы, которая и является настоящим предметом философии».

Галилей первым среди ученых своего времени обратился к широкой пропаганде своих взглядов. Все его главные книги были написаны не на латыни — языке ученых и богословов того времени, а на родном итальянском языке. Галилей раньше многих понял, что идеи науки должны быть сделаны доступными широким массам, чтобы они стали достоянием и частью современной культуры и служили на благо человека. Эти мысли великого ученого нам особенно дороги и сегодня, и они нашли свое выражение в выступлениях ученых, собравшихся в Италии на эту необычную встречу.

Издательство  
**МИР**  
предлагает:

Т. Браун, Г. Лемей  
ХИМИЯ — В ЦЕНТРЕ  
НАУК

Перевод с английского

Продолжение серии учебных пособий, промежуточных между программами для высших и средних учебных заведений и заполняющих некоторый разрыв в химической литературе, образующий школьными и вузовскими учебниками

1983, 75 л. Цена бр. 40к. за комплект

\* Материал подготовлен редакцией журнала «В мире науки».

© «Мир», 1983

# Сборка и монтаж микроэлектронных схем

*Конструкции корпусов кремниевых интегральных схем, методы их монтажа и охлаждения, а также способы выполнения межсоединений оказывают существенное влияние на рабочие характеристики вычислительной машины. Главная задача конструкторов схем и машин — разместить максимальное число кристаллов ИС в минимальном объеме*

**ЭЛБЕРТ ДЖ. БЛОДЖЕТ-МЛАДШИЙ**

**М**ОЖЕТ показаться, что методы сборки и монтажа микроэлектронных кремниевых кристаллов не имеют прямой связи с функциональными возможностями быстродействующей цифровой вычислительной машины. Известно, что фактическую обработку информации в ЭВМ выполняют исключительно сами схемы на кремниевых кристаллах; корпуса и монтажные средства служат просто для взаимного соединения интегральных схем (ИС) и других приборов и устройств, подвода электропитания и обеспечения условий для их нормальной работы. Очевидно, что для каждой вычислительной машины требуются те или иные корпуса схем и средства их монтажа, однако характер этих средств, казалось бы, не должен сильно влиять на работу машины. Но факты говорят об обратном. Во многих быстродействующих устройствах обработки данных технология сборки и монтажа оказывается именно тем фактором, который определяет или ограничивает их производительность, стоимость и надежность.

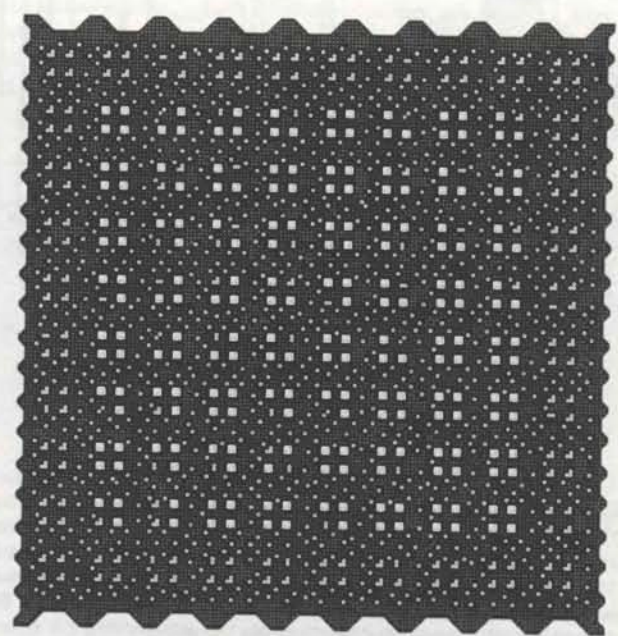
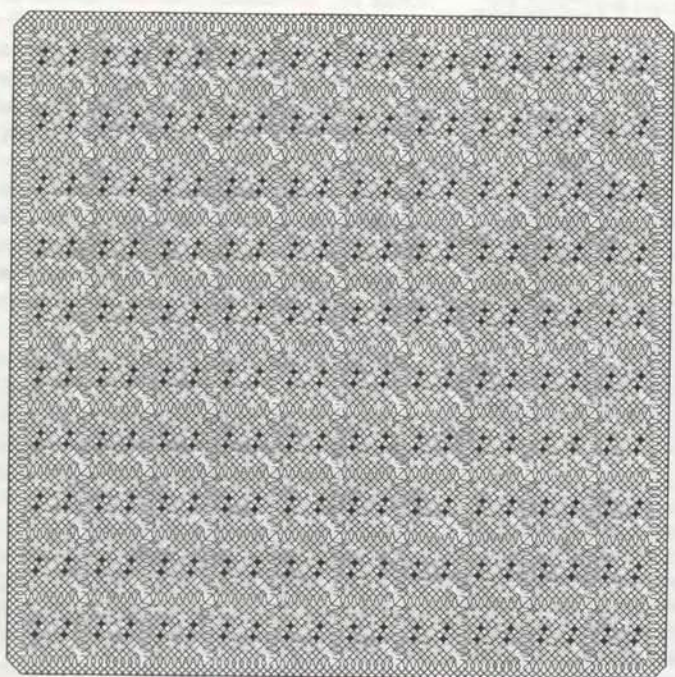
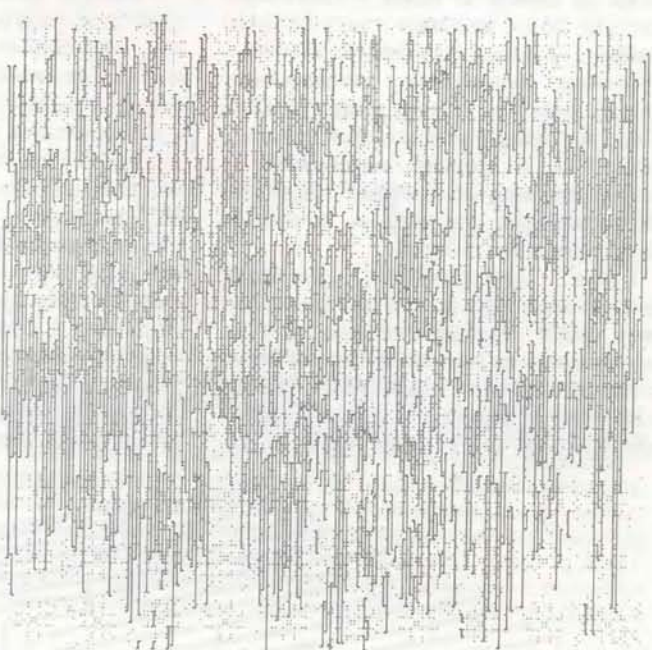
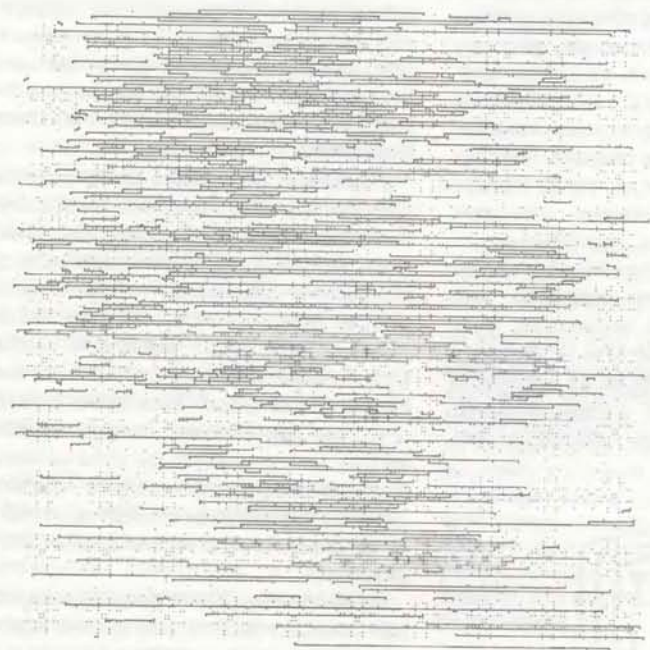
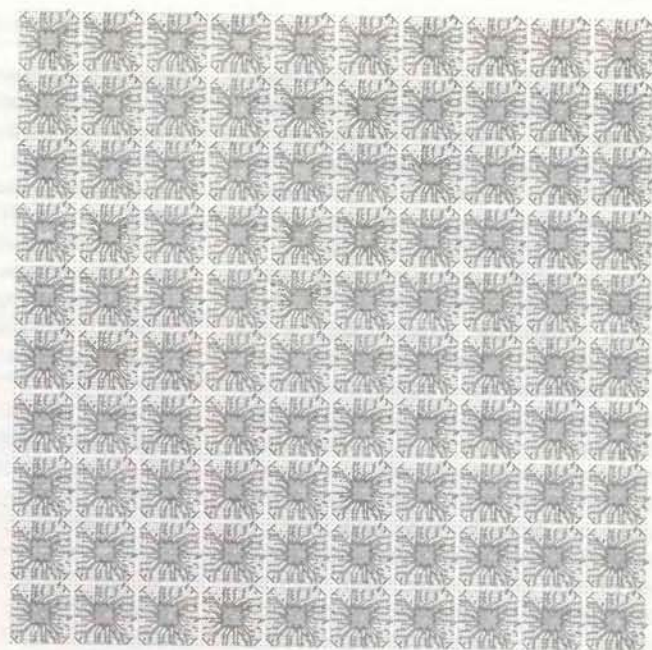
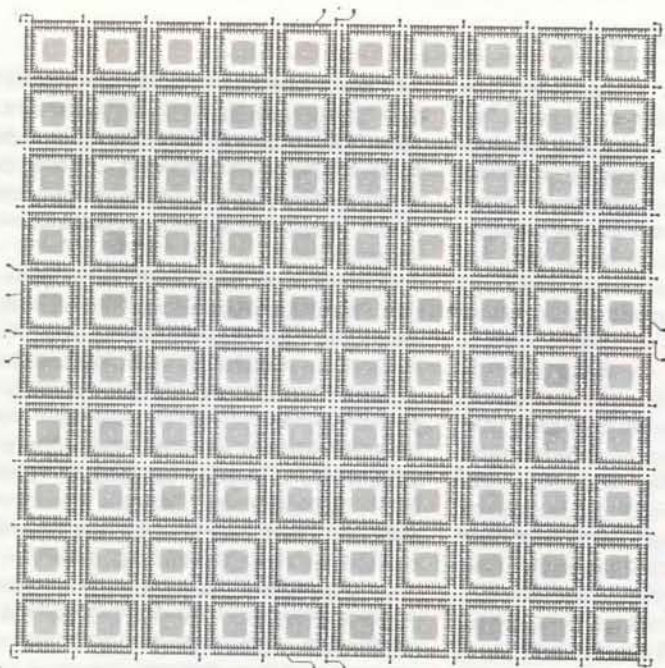
Одна из причин, по которой значение методов сборки и монтажа в настоящее время существенно возросло, заключается в том, что центральные элементы вычислительной системы должны быть выполнены чрезвычайно компактно. Усовершенствования конструкции и технологии изготовления микроэлектронных приборов и схем существенно увеличили как количество логических функций, которые можно разместить на кристалле, так и скорости выполнения арифметических операций. В результате быстродействие центральных процессоров многих машин стало определяться временем прохождения сигналов от одного кристалла ИС до другого. Для уменьшения задержки сигналов кристаллы следует

располагать как можно ближе друг к другу. Но проблема размещения в малом объеме большого количества кристаллов, каждый из которых имеет много внешних выводов, сопряжена с решением ряда серьезных конструкторско-технологических вопросов. Во-первых, в небольшом объеме нужно расположить тысячи соединительных проводников, по которым подается электропитание и распределяются информационные сигналы между различными кристаллами. Во-вторых, электрические и другие свойства этой сети проводников должны быть такими, чтобы передаваемые по ней сигналы искажались как можно меньше, а добиться этого по мере увеличения скорости переключения и уменьшения размеров схем становится все труднее. И наконец, плотноупакованная матрица кристаллов ИС выделяет значительное количество тепла, которое во избежание нарушения нормальной работы схем нужно каким-то способом отводить наружу. Во многих случаях именно проблема теплоотвода оказывается наиболее сложной.

Конструкторы высокопроизводительных цифровых вычислительных машин придумали и разработали целый ряд остроумных и весьма разнообразных способов решения перечисленных выше проблем. В настоящей статье будут рассмотрены некоторые общие положения, лежащие в основе разработки любых методов сборки и монтажа микроэлектронных схем. Кроме того, будет достаточно подробно описана конструкция одной из высокопроизводительных вычислительных систем — процессора модели 3081 компании International Business Machines (IBM). Эта система представляет собой большую универсальную ЭВМ. Проблема выбора методов сборки и монтажа и материалов для таких машин является наиболее острой. Технология, о которой пойдет речь, позволяет соединять между собой свыше 100 кристаллов ИС. По сложности такое количество кристаллов эквивалентно центральному процессору некоторых моделей ЭВМ ранних выпусков, при этом весь узел выполнен в виде одного модуля, который может уместиться на ладони.

«КРУЖЕВО» ПРОВОДНИКОВ соединяет между собой 100 кремниевых кристаллов в центральном процессоре универсальной ЭВМ. Каждый из рисунков соответствует одному слою соединений керамической подложки, в которой таких слоев может быть до 33. Слева вверху — верхний слой, к которому присоединяются сами кристаллы и который обеспечивает их включение в схему через плотную матрицу контактных площадок в середине посадочных мест кристаллов. Вверху справа — один из пяти перераспределяющих слоев, по которым сигналы с контактных площадок кристаллов передаются на периферийные монтажные контактные площадки вокруг посадочных мест. В середине показаны два сигнальных слоя, в которых выполняются соединения между кристаллами; в каждом таком слое все проводники проложены параллельно оси  $x$  или  $y$ . Вся подложка содержит 16 сигнальных слоев. Каждая пара их разделена слоем с опорным напряжением (один из них показан внизу слева). Эти слои позволяют получить заданные электрические характеристики сигнальных линий. Внизу справа — один из трех слоев, по которым к кристаллам подводится электропитание. В готовой подложке все слои сложены в стопку и отожжены, в результате чего происходит их спекание в керамическую «плитку». Размеры слоев на рисунке примерно такие же, какие они приобретают после отжига.





УЖЕ БОЛЕЕ десяти лет существует трехуровневая иерархия средств монтажа в типовых универсальных ЭВМ. Каждый кристалл собирается в отдельный носитель — пластмассовый или керамический корпус с 12 или более металлическими выводами. Некоторое число таких носителей вместе с несколькими дискретными компонентами (например, резисторами и конденсаторами) монтируется на плате, изготовленной из стекловолоконного материала (фибергласа), пропитанного эпоксидной смолой. На поверхность платы печатным способом наносятся металлические соединительные проводники, а в ряде случаев такая плата состоит из нескольких слоев с печатным монтажом. Несколько таких плат первого уровня — типовых элементов замены (ТЭЗ) — с контактными разъемами на одном из краев устанавливаются на более крупную плату второго уровня (панель), на которой нанесены печатные проводники, соединяющие платы первого уровня между собой. Узел, состоящий из носителей кристаллов, ТЭЗ и панели, соединяется с остальной частью системы (другими аналогичными узлами) с помощью многожильных кабелей.

Такая трехуровневая иерархия средств монтажа до сих пор представляет собой стандартное конструктивное решение во многих ЭВМ, особенно в так называемых мини-ЭВМ. Однако в системах с наиболее низким и наиболее высоким быстродействием благо-

даря достижениям в технологии уже появилась возможность исключить один из уровней этой иерархии. В микрокомпьютерах, характеризующихся наименьшим быстродействием, каждый кристалл ИС по-прежнему собирается в отдельный носитель, но зато резкое увеличение количества схем на каждом кристалле позволило до такой степени уменьшить их общее число, что все кристаллы машины удается разместить на одной плате первого уровня. В ряде новейших больших универсальных ЭВМ нашел применение другой подход: на одну подложку приваривается сразу несколько кристаллов ИС, образующих многокристальный модуль, который устанавливается сразу на плату второго уровня (на панель). Таким образом, в обоих случаях платы первого уровня (ТЭЗ) исключаются.

Развитие самих микроэлектронных приборов и методов их сборки и монтажа тесно связаны. Например, при увеличении количества схем на одном кристалле обычно требуется и увеличение числа внешних электрических контактов кристалла, однако сделать последнее удается только тогда, когда корпус ИС допускает размещение дополнительных соединений и сигнальных цепей. Аналогично кристаллы с большим количеством схем, как правило, потребляют и большую мощность, поэтому их удается включить в систему только в том случае, если их корпуса в состоянии отводить дополнительно выделяемое тепло без опасности для

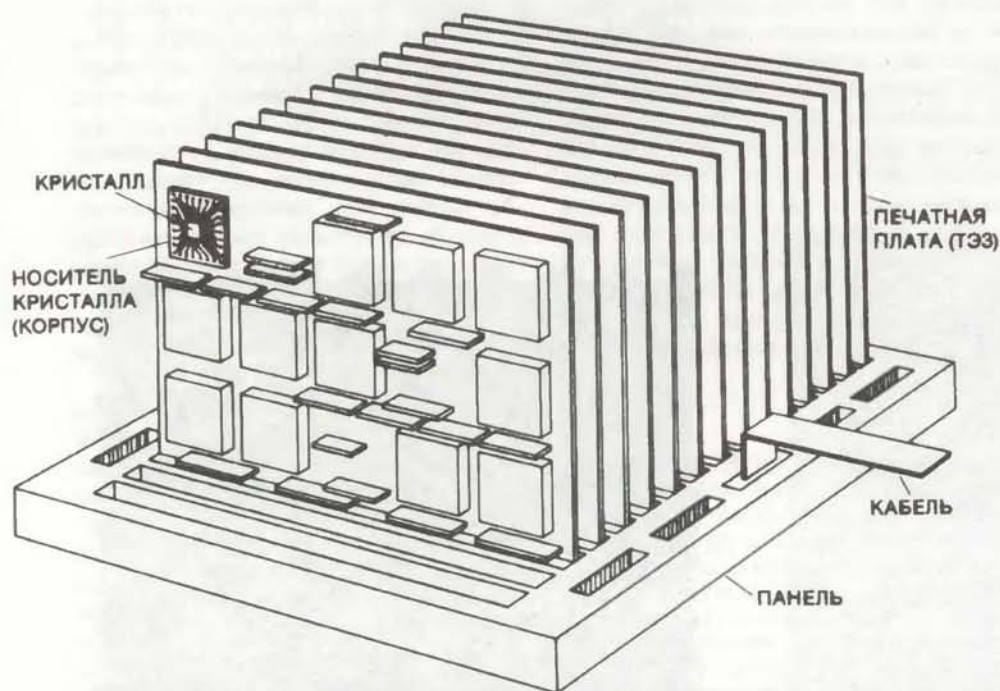
ИС. Из-за указанных взаимосвязей полное представление об ограничениях, налагаемых на методы сборки и монтажа ИС, можно получить, если предварительно проанализировать природу самих кристаллов ИС, собираемых в корпуса.

Важнейшим достижением в развитии полупроводниковой технологии являются интегральные схемы, содержащие в одном кусочке (кристалле) кремния некоторое число транзисторов и других основных схемных элементов. Первые интегральные схемы в начале 60-х годов содержали всего 6 — 8 транзисторов, диодов и резисторов, которых хватало для реализации одного «вентиля», т.е. простой логической функции. На вход типового вентиля поступают два или три входных сигнала, а на выходе вырабатывается один сигнал; комбинация входных сигналов задает открытое или закрытое состояние вентиля. Для получения такого функционального блока вычислительной машины, как сумматор, может потребоваться несколько сотен вентилях.

Первые ИС делались на кремниевых кристаллах с площадью поверхности несколько квадратных миллиметров, а минимальные геометрические размеры элементов рисунков, определяющих конфигурацию схем, не превышали 10 — 20 мкм. Для связи кристалла с остальными блоками системы он имел 8 или 10 внешних выводов. Быстродействие схем, определяемое временем между поступлением сигнала на вход и формированием выходного сигнала, обычно находилось в пределах от 20 до 40 нс (наносекунд, миллиардных долей секунды).

За последние 20 лет полупроводниковая технология шагнула далеко вперед. Максимальная доступная для изготовления ИС площадь кристалла увеличилась более чем в 10 раз (примерно до 50 мм<sup>2</sup>); почти во столько же раз уменьшились минимальные геометрические размеры их элементов (менее чем до 1,5 мкм). Уже созданы быстродействующие логические кристаллы, содержащие более 40 тыс. транзисторов и других схемных элементов, из которых составлены 5 тыс. вентилях с временем переключения около 2 нс. Кристалл такого типа может иметь до 200 внешних контактов.

Интегральные схемы, применяемые в высокопроизводительных универсальных ЭВМ, строятся на основных схемных элементах, называемых биполярными транзисторами. Кристаллы ИС, выполненные на транзисторах другого типа, полевых МОП-транзисторах, могут содержать на такой же площади значительно больше схемных элементов. Например, уже существуют микропроцессоры и вспомогательные приборы для них, которые на од-



ТРАДИЦИОННАЯ ИЕРАРХИЯ сборочно-монтажных средств в больших цифровых ЭВМ имеет три уровня. Каждый кристалл помещается в отдельный носитель (корпус); набор кристаллов и других компонентов монтируется на печатной плате; несколько таких плат в свою очередь устанавливаются на более крупной печатной плате (панели). Весь узел соединяется с другими частями системы кабелями. Созданный недавно модуль, в котором можно разместить более 100 кристаллов, дает возможность исключить уровень печатных плат и благодаря этому уменьшить количество межсоединений и суммарную длину соединительных проводников.

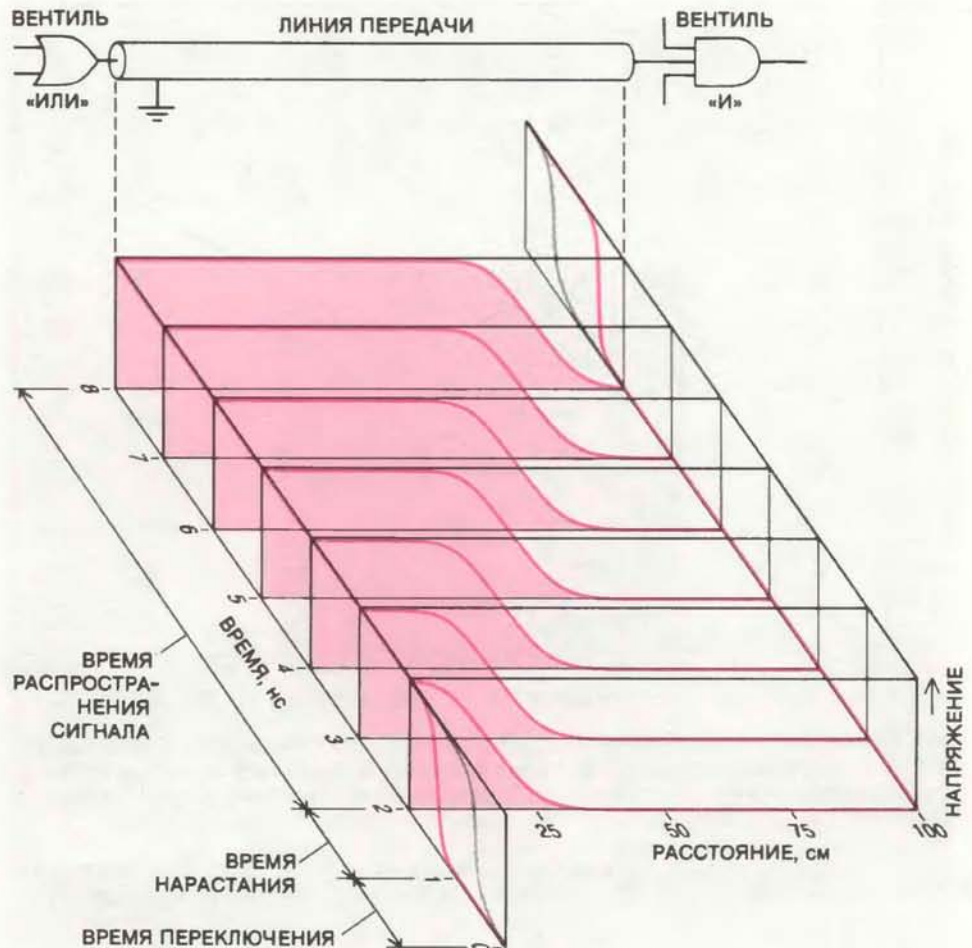
ном кристалле содержат более 100 тыс. полевых МОП-транзисторов. Почему же тогда в универсальных ЭВМ применяются ИС на биполярных транзисторах? Ответ — эти приборы более быстродействующие: время их переключения, как правило, меньше.

Наибольшее число транзисторов содержат кристаллы запоминающих устройств с произвольной выборкой, которые выполняют функцию хранения информации. Первые полупроводниковые приборы памяти, выпущенные в 1971 г., насчитывали 128 запоминающих элементов, каждый из которых хранил по одному биту (одной двоичной единице) информации. Сегодня выпускаются кристаллы памяти с информационной емкостью 256 тыс. бит.

Конструктору корпусов работать с логическими кристаллами для центрального процессора заметно труднее, чем с кристаллами памяти. Обычно логические кристаллы рассеивают большую мощность и, следовательно, выделяют больше тепла; для организации сигнальных связей им требуется большее число внешних электрических контактов. Кроме того, кристалл ИС на биполярных транзисторах потребляет больше мощности, чем эквивалентный ему по функциональному назначению кристалл на полевых МОП-транзисторах. Отсюда следует, что проектирование корпусов и плат для центрального процессора быстродействующей универсальной ЭВМ — наиболее ответственное и сложное дело.

**СОБСТВЕННО** корпус начинается там, где кончается кристалл: на металлических контактных площадках на поверхности кристалла, к которым подсоединяются внешние проводники. Сокращение длины этих проводников — одна из главных задач конструкторов корпусов и плат.

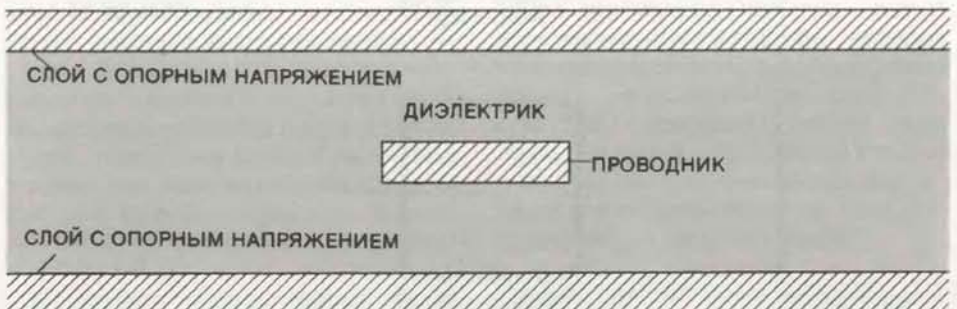
При анализе многих электрических цепей и схем допускается, что напряжение, приложенное к одному концу проводника, в тот же момент передается во все точки по всей его длине. На самом же деле скорость распространения сигнала по проводнику конечна; она определяется свойствами диэлектрика, окружающего проводник, т.е. его относительной диэлектрической проницаемостью. Если диэлектриком служит воздух (или вакуум), то относительная диэлектрическая проницаемость равна 1 и сигнал в проводнике распространяется со скоростью света в вакууме. Эта скорость в единицах, удобных для нашего анализа, составляет примерно 30 см/нс. У других диэлектриков относительная проницаемость выше, и скорость распространения электрических сигналов в проводниках соответственно ниже — она обратно пропорциональна квадратному корню из диэлектрической проницаемости.



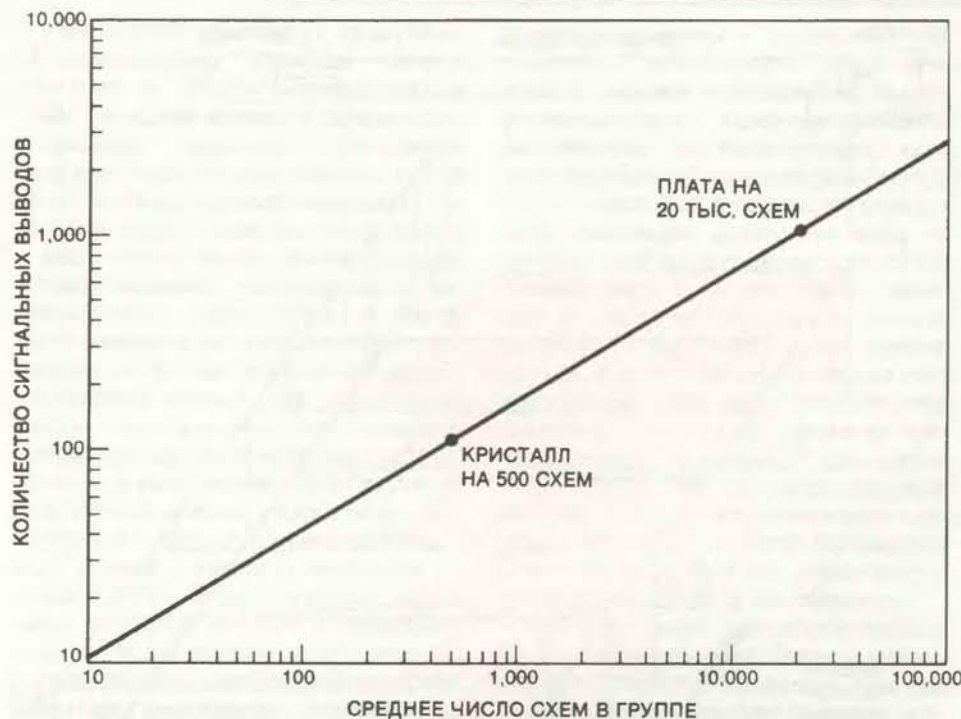
**ЗАДЕРЖКИ СИГНАЛОВ** в цифровых вычислительных машинах ограничивают максимальную скорость их работы. Эти задержки складываются из времени нарастания напряжения, поступающего на логический вентиль, времени переключения самого вентиля и времени передачи, за которое выходной сигнал достигает следующего вентиля. Когда сигнал должен пройти от одного кристалла ИС к другому, то время его передачи, которое определяется сборочно-монтажной технологией, часто оказывается самым большим из трех перечисленных составляющих. Время нарастания и время переключения могут составлять около 1 нс каждое, тогда как на распространение сигнала на расстояние около 1 метра требуется 6 нс. Его распространение есть движение электромагнитной волны в линии передачи; эта волна описывается зависимостью значения напряжения от времени и расстояния.

Диэлектрическая проницаемость fiberglass печатных плат примерно равна 4, так что по печатным проводникам на таких платах сигналы распространяются со скоростью, вдвое меньшей, чем скорость света в вакууме,

т.е. около 15 см/нс. Расстояние, которое должен пройти сигнал от одного кристалла до другого, может существенно превышать 15 см, поэтому время его распространения может быть больше 1 нс. В цифровых устройствах не-



**ЛИНИЯ ПЕРЕДАЧИ** представляет собой проводник, окруженный со всех сторон диэлектриком и находящийся между двух проводящих плоскостей (слоев). Электрические характеристики такой линии зависят от размеров и физических свойств ее составляющих. Например, скорость распространения волны вдоль линии определяется диэлектрической проницаемостью диэлектрика. Параллельные проводящие слои уменьшают связь (перекрестные помехи) между линиями соседних слоев.



ЧИСЛО ВЫВОДОВ для внешнего соединения группы логических схем можно определить с помощью эмпирического соотношения, называемого правилом Рента. В универсальной ЭВМ для группы из  $S$  логических схем требуется  $2,5S^{0,61}$  внешних выводов. Так, для кристалла на 500 схем нужно около 110 выводов.

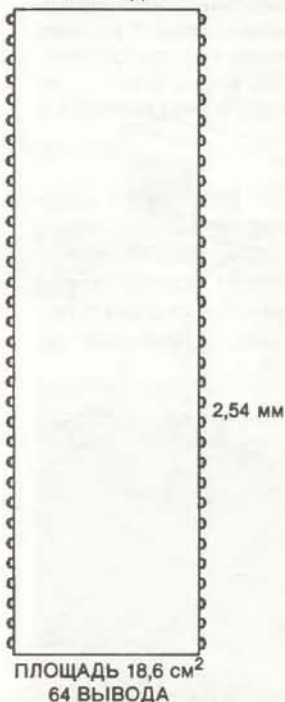
ДВУХРЯДНЫЙ КОРПУС



КОРПУС С ВЫВОДАМИ ПО ПЕРИМЕТРУ



КОРПУС С МАТРИЦЕЙ ВЫВОДОВ



МЕСТО ПОД КОРПУС для кристалла ИС на плате зависит от шага и расположения его выводов. Корпус с двумя рядами выводов с шагом 2,54 мм эффективен для 16-контактных кристаллов; для кристаллов с 64 контактами он неэкономичен. Квадратный корпус с выводами по периметру при шаге 2,54 мм не дает выигрыша по площади, но при шаге выводов 1,27 мм его площадь уменьшается в четыре раза. Наиболее эффективно расположение выводов в узлах сплошной сетки.

большой производительности такая задержка не играет роли, так как переключение логических вентилях в них происходит за десятки или сотни наносекунд. В машине же, в которой отдельные приборы переключаются за несколько наносекунд, такие задержки могут оказывать существенное влияние на ее быстродействие. Именно поэтому так важно при конструировании корпусов и выборе методов монтажа уменьшать длину соединительных проводников и стремиться к максимальной плотности упаковки схем.

В тех случаях, когда задержка сигнала играет важную роль, соединительный провод, по которому он распространяется, следует рассматривать не как простой проводник, а как линию передачи. При этом сигнал рассматривается как волна, распространяющаяся по линии передачи, и напряжение в каждой ее точке зависит как от расстояния от источника сигнала, так и от времени с момента подачи сигнала.

Распространение сигнала в линии передачи зависит не только от электрического сопротивления проводника. Необходимо также знать его индуктивность, которая определяет количество энергии, накапливаемое в магнитном поле, создаваемом протекающим по проводнику током, и его емкость, которая определяет количество энергии, накапливаемое в соответствующем электрическом поле. Индуктивность и емкость зависят от геометрических размеров линии передачи, а также от электрических и магнитных свойств материалов, из которых она сделана; в совокупности эти параметры определяют полное сопротивление (импеданс) линии. Для низкоомной линии передачи импеданс равен квадратному корню из отношения ее погонной (на единицу длины) индуктивности к погонной емкости. Он, как и сопротивление, измеряется в омах, однако его влияние на распространение сигнала носит более сложный характер, чем влияние сопротивления на постоянный электрический ток.

Всем волнам присуще такое свойство, как отражение. Поэтому и цифровой сигнал может частично отражаться в местах нарушения однородности линии передачи или от конца линии. Коэффициент отражения показывает, какая часть сигнала отражается, он определяется импедансом линии и нагрузочным сопротивлением, включенным на ее конце. Пусть некоторая линия передачи имеет импеданс 100 Ом. Если ее нагрузочное сопротивление тоже равно 100 Ом, то сигнал будет полностью поглощен нагрузкой и никакого отражения в линию не произойдет. Если же нагрузочное сопротивление равно 200 Ом, то треть сигнала отразится и наложится на прямой сигнал. При нагрузке в 50 Ом коэффициент от-

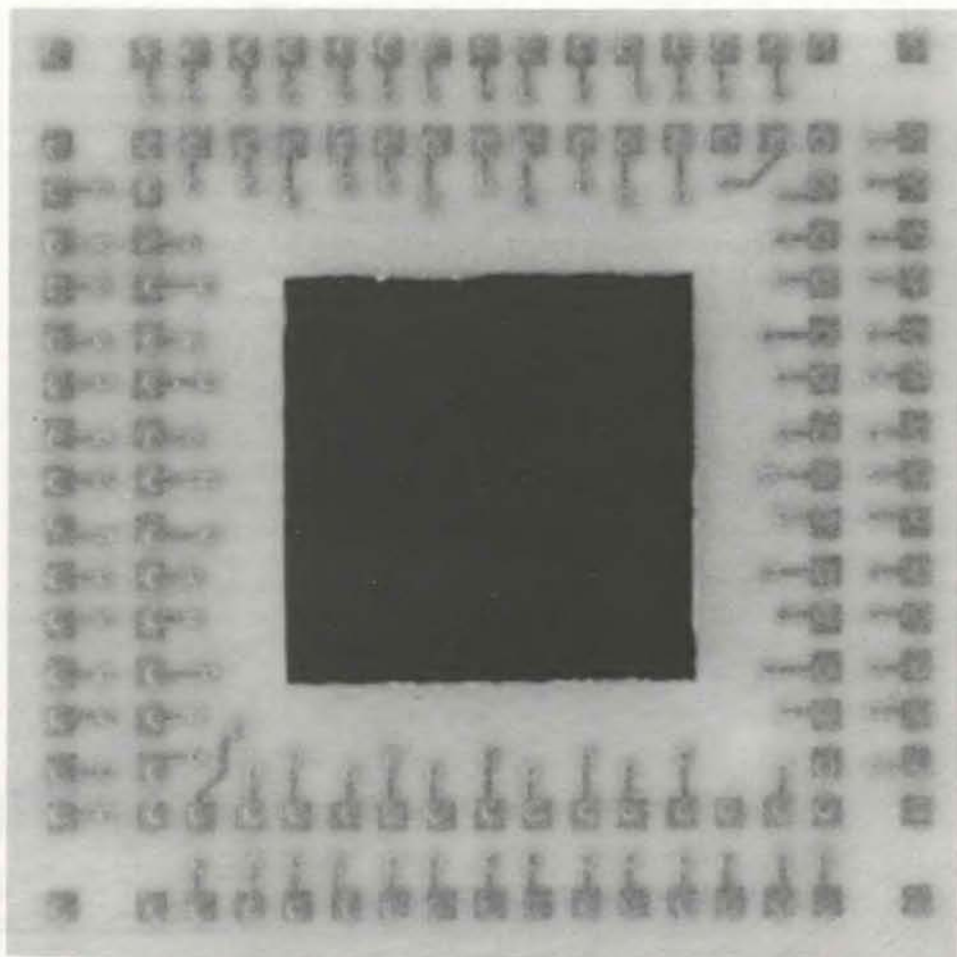
ражения тоже равен  $\frac{1}{2}$ , но в этом случае отраженный сигнал будет вычитаться из основного. Отсюда следует, что для предотвращения ошибочных переключений схем необходимо тщательно учитывать возможные отражения.

**ОТРАЖЕНИЕ** — это лишь одно из нескольких проявлений того, как конструкция корпусов и методы монтажа могут изменить сигнал или внести «помехи» в схемы. Например, между двумя соседними проводниками может существовать связь, определяемая их взаимными индуктивностью и емкостью, так что сигнал, посланный по одной линии, может появиться и в другой. Чтобы поведение проектируемой системы было предсказуемым, такие «перекрестные связи» нужно исключать.

В высококачественных методах монтажа главный способ задания нужных характеристик линиям передачи состоит в том, что слои сигнальных проводников разделяются сплошными проводящими экранирующими плоскостями, которые называются слоями с опорным напряжением (опорными слоями). Эти опорные слои служат также цепями для возвратных токов. Каждый такой слой имеет постоянное электрическое напряжение — нулевое (напряжение земли) или одно из напряжений питания, необходимое для работы кристаллов и других компонентов. (Следовательно, эти опорные слои можно также использовать для разводки питания.) Сигнальная линия, «упакованная» в диэлектрик и расположенная между двумя такими экранирующими слоями, представляет собой линию передачи, для которой можно точно рассчитать все характеристики. Опорные плоскости дают возможность получать сигнальные линии с однородным и точно определенным импедансом и устраняют перекрестные помехи между линиями соседних сигнальных слоев.

Конструирование линии передачи начинается с выбора ее сопротивления постоянному току. Это сопротивление должно быть малым по сравнению с нагрузочным сопротивлением, иначе входное напряжение, достигнув конца линии, существенно уменьшится. Погонное сопротивление (на единицу длины) линии определяется удельным сопротивлением материала и площадью поперечного сечения проводника линии; если материал выбран, то конструктор может варьировать только последний из указанных параметров. Для печатных проводников и проводящих шин, выполненных аналогичными методами, сечение проводника представляет собой «тонкий» прямоугольник.

После того как размеры проводника



**МНОГОКРИСТАЛЬНЫЙ КОРПУС** позволяет значительно уменьшить среднее расстояние между кристаллами, а следовательно, и среднее время передачи сигналов. На фотографии показан один кристалл, смонтированный лицевой поверхностью вниз на многослойной керамической подложке, рассчитанной примерно на 100 кристаллов. Электропитание и сигналы подводятся к кристаллу через проводники, скрытые внутри подложки. Двойной ряд контактных площадок вокруг кристалла открывает доступ ко всем его цепям, позволяя проверить узел в сборке и внести изменения в схему соединений.

выбраны, для определения импеданса линии нужно учесть два дополнительных фактора: диэлектрическую проницаемость изолирующего материала и расстояние между слоями с опорным напряжением. При заданном изолирующем материале нужный импеданс линии можно получить, подбирая расстояние между опорными слоями. Проектная величина импеданса зависит от многих факторов, в том числе от электрических характеристик кристаллов ИС системы, размеров и других технических параметров корпуса или платы и мощности источника сигнала, работающего на линию передачи. Типовой импеданс линий передачи составляет от 50 до 100 Ом.

Проводник, расположенный между двумя опорными слоями, — это лишь приближенное представление любой реальной линии передачи. На практике сигнальная линия, соединяющая два кристалла, может иметь сложную конфигурацию с переходами из одних слоев в другие. В местах перехода между

сборочно-монтажными уровнями, например при переходе от кристалла к носителю (корпусу ИС) или от ТЭЗ к панели, электрические характеристики соединений существенно отличаются от идеальных. Как уже говорилось выше, такие нарушения однородности характеристик линии могут служить причиной отражений. Они также вносят дополнительные задержки, которые пропорциональны емкости и индуктивности в месте нарушения однородности. Для определения полной задержки, вносимой конструкцией корпуса и монтажом, эти дополнительные задержки надо прибавить к времени распространения сигнала в линии.

**ДЛЯ ОДНОЙ** линии передачи, соединяющей два изолированных вывода, действительно можно получить строго определенные характеристики. Но реальная задача конструктора состоит в том, чтобы создать целую сеть перепутанных друг с другом проводящих цепей, соединив ими тысячи выво-

дов разных приборов. Топологическая сложность такой сети выглядит чрезвычайно внушительно.

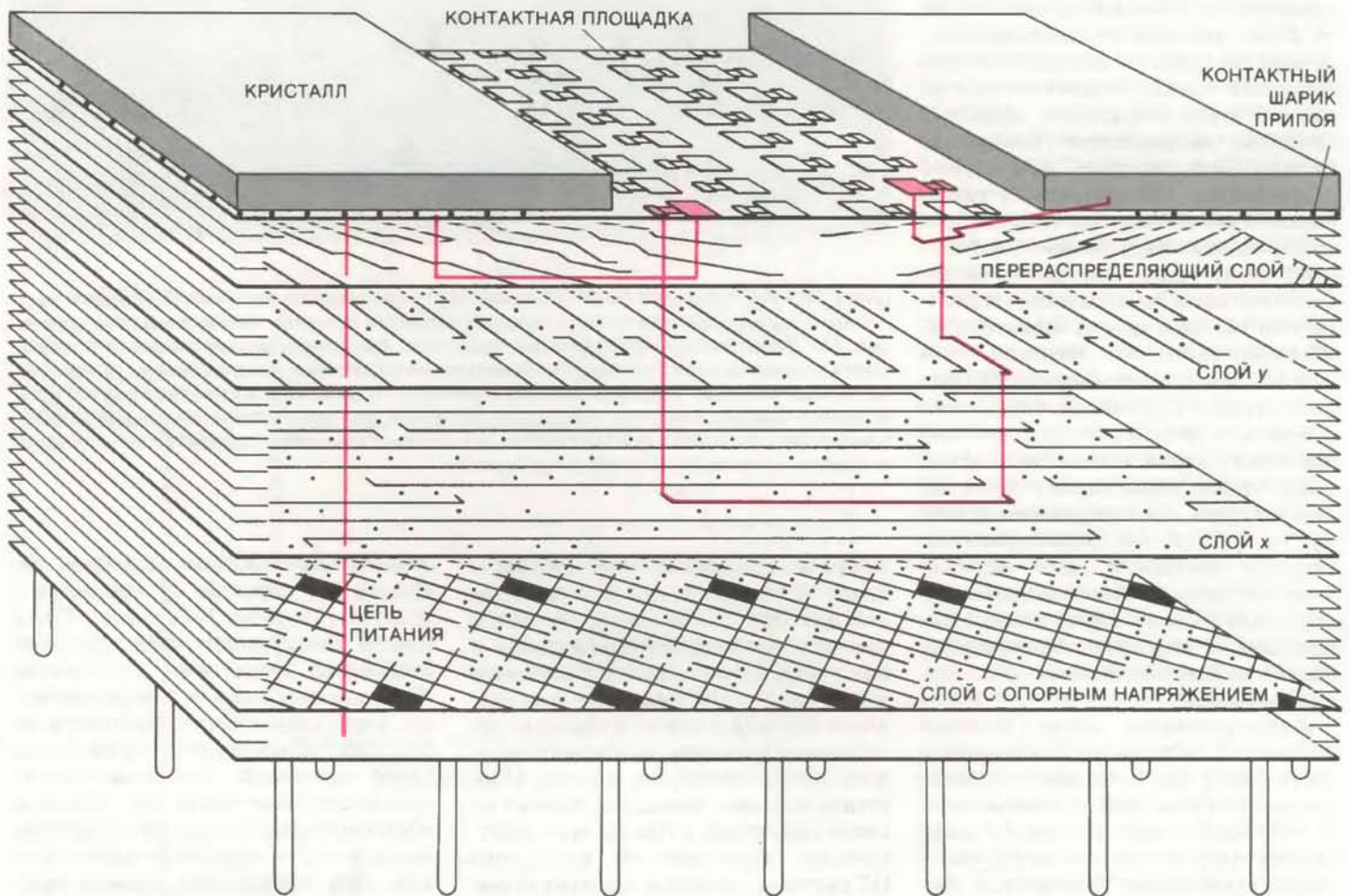
Число сигнальных выводов для соединений на любом заданном уровне сборочно-монтажной иерархии можно оценить с помощью эмпирического соотношения, известного под названием правила Рента. Это соотношение предложил в 1960 г. сотрудник компании International Business Machines Е. Ф. Рент. Это правило, применимое к отдельным кристаллам, многокристальным модулям, ТЭЗ и панелям, определяет приближенное число выводов в зависимости от количества логических схем  $S$ . Соотношение выведено из данных, полученных в результате анализа больших систем обработки информации, и гласит, что среднее число выводов равно  $2,5 S^{0,61}$ . Поэтому для «обслуживания» 100 схем требуется примерно 40 выводов, а для 1000

схем — почти 170.

Для правила Рента существуют определенные ограничения на область применимости. Во-первых, оно относится только к логическим элементам систем обработки данных; для элементов матриц памяти требуемое количество выводов намного меньше. Во-вторых, каждая группа схем должна представлять собой небольшое и «случайное» подмножество всего комплекса логических схем. Если эта группа представляет собой законченный функциональный блок вычислительной машины, то для нее оказывается достаточным тоже меньшее число выводов. В-третьих, предполагается, что передаваемая между отдельными кристаллами или платами информация не подвергается специальному кодированию для передачи в последовательном виде, так как такой подход позволяет уменьшить количество выводов, правда, це-

ной снижения быстродействия. Рассматриваемые в нашем случае группы логических схем для универсальных ЭВМ удовлетворяют этим условиям.

Рассмотрим случай монтажа функционального блока из 10 тыс. логических схем, который собирается из кристаллов, содержащих не более 25 схем каждый. Кристаллы собраны в корпусах с 14 сигнальными выводами и смонтированы на платах со 100 сигнальными выводами. Сначала может показаться, что этот блок из 10 тыс. схем можно собрать из 400 кристаллов по 25 схем в каждом. Однако из правила Рента следует, что в корпусе с 14 сигнальными выводами можно разместить в среднем всего 17 схем; поэтому фактическое число требуемых кристаллов равно отношению  $10\,000 : 17$ , т.е. 588. (Примерно треть функций каждого кристалла при этом остается незадействованной, а это означает, что при-



**МНОГОСЛОЙНАЯ КЕРАМИЧЕСКАЯ ПОДЛОЖКА;** на одном квадратном сантиметре ее поверхности можно уложить 320 см соединительных проводников. На рисунке схематически и с большим увеличением показано сечение небольшого участка такой подложки. Типовая сигнальная цепь идет от кристалла вниз через сквозное контактное отверстие, «прошитое» сквозь несколько слоев структуры. Проводник в одном из пяти перераспределяющих слоев передает сигнал к другому отверстию, которое вновь выводит его на поверхность к монтажной контактной площадке. Далее сигнал проходит по металлической перемычке вдоль поверхности к третьему контактному отверстию, которое спускает его в сигнальный слой в глубине подложки. Проводник, распо-

ложенный вдоль оси  $x$ , ведет сигнал к следующему контактному отверстию, от которого он проходит дальше через проводник, параллельный оси  $y$ . Через последнее на этом пути контактное отверстие сигнал возвращается на поверхность к посадочному месту другого кристалла, где данная цепь и заканчивается. Некоторые из сигнальных цепей выводятся на нижнюю сторону подложки, где они подсоединяются к другим многокристальным модулям. Разводка электропитания осуществляется в трех слоях в нижней части подложки. Схему соединений можно изменить, перерезав соединительную перемычку около монтажной контактной площадки и припаяв к ней новую проволочку.

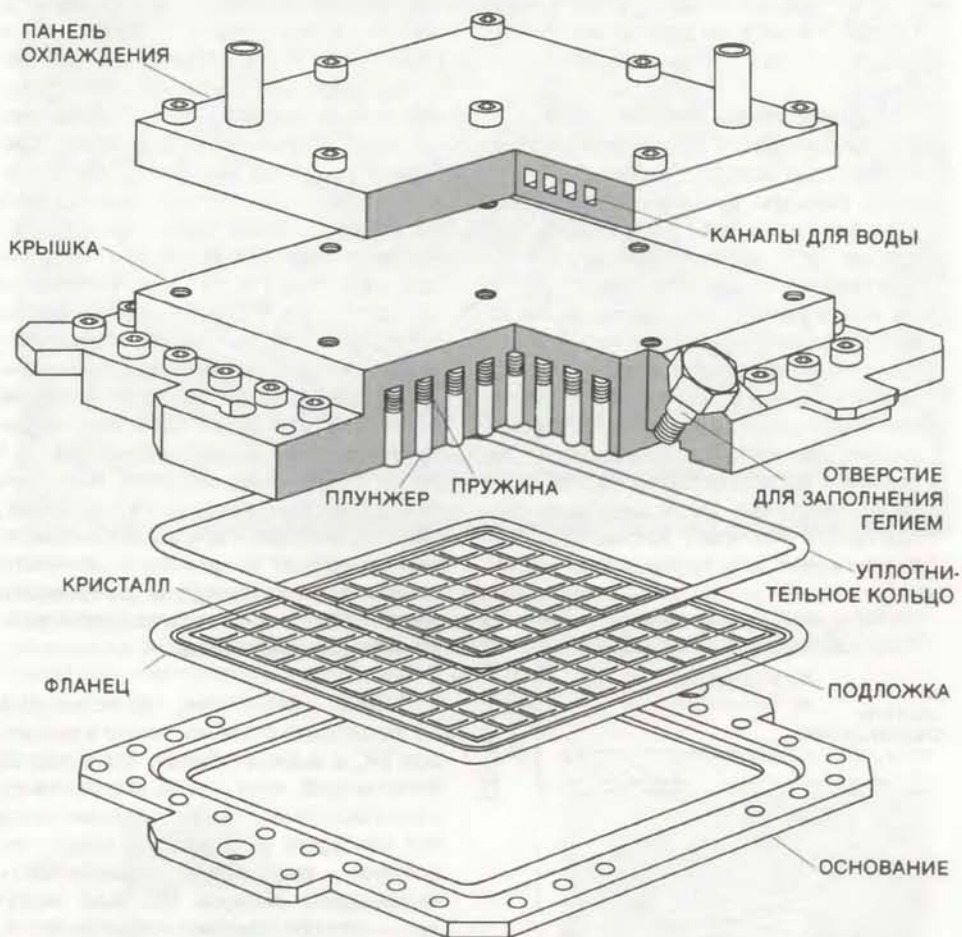
менение корпуса с количеством сигнальных выводов более 14 было бы эффективнее.)

Второе вычисление по правилу Рента показывает, что при 100 сигнальных выводах у каждой платы их пропускная способность соответствует 424 схемам. Поэтому требуемое количество плат получается равным  $10\,000 : 424$ , т.е. 24, причем на каждой плате можно разместить в среднем по 25 корпусов с кристаллами ИС.

Правило Рента позволяет оценить только количество корпусов или плат на каждом уровне иерархии; реальные геометрические размеры платы или панели следует определять при детальной проработке конструкции. Много при этом зависит от корпусов ИС (нижнего уровня), которые обычно вмещают в себя один кристалл. При конструировании платы следует учитывать такие факторы, как конфигурацию выводов корпуса, максимальную плотность сигнальных цепей, заданные электрические характеристики, потребляемую мощность кристаллов ИС и условия теплоотвода.

**НОСИТЕЛЬ** кристалла (корпус) в простейшем виде представляет собой преобразователь размеров. Он служит «мостиком» между миниатюрными и близко расположенными контактными площадками на поверхности кристалла и более крупными соединительными проводниками на плате или панели. Один из наиболее распространенных носителей кристаллов — это корпус с двухрядным расположением выводов (двухрядный корпус), прямоугольный футляр из пластмассы или керамики, на каждой из длинных сторон которого расположен ряд штырьковых выводов. Эти выводы размещены с шагом 2,54 мм и вставляются в соответствующие контактные отверстия на печатной плате. Такой двухрядный корпус позволяет достаточно эффективно использовать площадь плат для кристаллов с относительно небольшим количеством выводов (от 10 до 20), однако при большем числе выводов он становится слишком громоздким. Для кристалла с 64 контактами такой корпус оказывается слишком длинным, а его ширину приходится увеличивать, чтобы внутри него было достаточно места для размещения проводников, соединяющих внешние выводы корпуса с контактными площадками кристалла.

В промышленности сейчас происходит замена стандартных двухрядных корпусов на квадратные с выводами или контактами на всех четырех сторонах. Выводы в таких корпусах располагаются на расстоянии 1,27 мм друг от друга и припаиваются к соответствующим контактным площадкам на поверхности печатной платы. Такая кон-



**ТЕПЛОПРОВОДЯЩИЙ МОДУЛЬ** служит корпусом для многослойной подложки и охлаждает 100 или более кристаллов ИС, смонтированных на ее поверхности. Подложка зажимается между основанием и крышкой, в которой расположены подпружиненные плунжеры. Каждый такой плунжер прижимается к тыльной стороне кристалла ИС и проводит выделяемое им тепло к панели охлаждения, привинченной к крышке сверху. Эта панель в свою очередь отдает тепло воде, которая протекает по имеющимся в панели каналам. Заполнение внутреннего объема модуля гелием дополнительно увеличивает его способность рассеивать тепло, так как теплопроводность гелия выше, чем воздуха. Номинальная мощность, рассеиваемая таким теплопроводящим модулем, равна 300 Вт.

струкция корпусов значительно уменьшает занимаемую схемой площадь на плате. Квадратный корпус с 64 контактами по периметру с шагом 1,27 мм занимает в четыре раза меньшую площадь, чем двухрядный 64-контактный корпус.

Но самое плотное расположение выводов корпуса обеспечивает полная матрица штырьковых контактов или контактных площадок. 64 вывода, расположенных в виде матрицы  $8 \times 8$  с шагом 1,27 мм, занимают четвертую часть площади, чем квадратный корпус с таким же количеством выводов по периметру и тем же шагом. Преимущество матричного расположения выводов становятся еще больше с ростом их числа. Однако более плотное расположение штырьковых выводов или контактных площадок в матрице затрудняет их подсоединение к внешним цепям — для этого требуется более сложная по конструкции, а следовательно, и более дорогая печатная плата.

С увеличением числа выводов на кристалле и кристаллов на единице площади платы главным ограничением становится возможность подсоединений к этим выводам. Простейшие печатные платы содержат только один слой сигнальных линий, поэтому разводку проводников на них следует выполнять так, чтобы никакие два проводника не пересекались. Решить эту проблему можно, используя несколько слоев соединений, причем все проводники одного слоя следует прокладывать вдоль одной из главных осей координат —  $x$  или  $y$ . В то же время в многослойных печатных платах необходимо делать сквозные контактные отверстия (вертикальные каналы) для соединений между слоями. Сигнал, который требуется передать по диагонали платы, через контактное отверстие сначала направляется на слой  $x$ , в котором сигнальная линия проведет его вдоль одного из краев платы, затем через другое отверстие выводится на слой  $y$ , в котором сигнальная линия пойдет пер-

пендикулярно первой, и наконец, через третье сквозное отверстие выводится на поверхность платы в точку назначения.

Топологическая конфигурация (топология) многослойной платы зависит от конструктивных требований, задающих размеры проводников и места, в которых их можно располагать. Например, все сквозные контактные отверстия обычно располагаются по сетке; не в каждой точке пересечения линий сетки обязательно имеется отверстие, но все отверстия обязательно находятся только в узлах сетки. Сигнальные линии должны проводиться между рядами отверстий. Размещение нескольких проводников между соседними отверстиями позволяет повысить плотность монтажа, но одновременно и усложняет конструирование платы,



ТЕПЛОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ модуля определяет максимальное повышение температуры кристалла ИС при заданной рассеиваемой мощности. Сопротивление канала отвода тепла от кристалла через плунжер (и заполненный гелием внутренний объем) к крышке есть внутреннее сопротивление; тепловое сопротивление между панелью охлаждения и протекающей в ней водой есть внешнее сопротивление. Полное сопротивление модуля составляет примерно  $11^\circ\text{C}/\text{Вт}$  на посадочное место кристалла. Поэтому температура кристалла, рассеивающего мощность 4 Вт, будет на  $44^\circ\text{C}$  выше температуры воды.

так как при этом один из проводников может заблокировать подвод другого проводника к конкретному отверстию.

Конструктивные требования определяют оптимальную схему соединений для данной технологии монтажа. Максимальная длина соединений на единицу площади поверхности платы равна числу сигнальных слоев, умноженному на число сигнальных линий между соседними отверстиями и деленному на шаг сетки, на которой располагаются отверстия. Так, для платы с двумя сигнальными слоями, двумя проводниками между рядами отверстий и шагом сетки для отверстий 2,54 мм максимальная длина соединений равна 15,5 см на  $1\text{ см}^2$  площади платы. Как сами возможности проведения соединений, так и эффективность их использования сильно зависят от размеров сквозного контактного отверстия и доступности отверстий при выполнении связей между сигнальными слоями.

ЛЮБАЯ технология, позволяющая размещать большое число кристаллов ИС в малом объеме, оказывается бесполезной, если она не обеспечивает отвод выделяемого кристаллами тепла без опасности их перегрева. Свойство, которое определяет возможность охлаждения корпуса ИС или модуля, — это его тепловое сопротивление, по смыслу очень близкое к электрическому сопротивлению резистора. По закону Ома, сопротивление между двумя точками электрической цепи равно разности напряжений, деленной на протекающий между ними ток. Аналогично тепловое сопротивление корпуса есть разность температур между источником тепла (кристаллом) и конечным поглотителем тепла (окружающим воздухом), деленная на поток тепла, проходящий сквозь корпус. Когда система находится в стационарном состоянии, этот поток тепла должен быть равен мощности, рассеиваемой на кристалле. Тепловое сопротивление можно выразить в единицах с размерностью  $^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

Можно представить, что тепловая энергия передается от кристалла в воздушную среду в два этапа. Сначала тепло передается от переходов полупроводниковых приборов — областей внутри структуры кристалла, в которых выделяется самая большая часть тепловой энергии, — на внешнюю поверхность корпуса. Тепловое сопротивление этого участка называется внутренним сопротивлением и зависит в основном от геометрии корпуса и теплопроводности материалов, из которых он сделан. Затем тепло отводится от самого корпуса в большинстве случаев потоком движущегося воздуха за счет принудительной или естественной конвекции. Соответствующее внешнее тепловое сопротивление есть

сложная функция многих переменных, в том числе площади поверхности, тепловой излучательной способности модуля и скорости и турбулентности потока воздуха.

Полное тепловое сопротивление типового пластмассового двухрядного корпуса в потоке движущегося воздуха составляет около  $50^\circ\text{C}/\text{Вт}$ . Поэтому температура кристалла, рассеивающего 0,5 Вт, будет на  $25^\circ\text{C}$  выше температуры воздуха. Внутреннее тепловое сопротивление можно уменьшить, заменив пластмассовый корпус керамическим, который имеет более высокую теплопроводность, или увеличив площадь соприкосновения кристалла с корпусом в месте его присоединения. Такие меры позволяют снизить тепловое сопротивление вдвое и, следовательно, во столько же раз увеличить допустимую рассеиваемую мощность. Внешнее тепловое сопротивление тоже можно уменьшить, например установив теплоотвод, который увеличивает эффективную площадь поверхности корпуса, или увеличив скорость воздушного потока, однако снизить полное тепловое сопротивление еще вдвое, как правило, не удастся.

Для корпуса с заданным тепловым сопротивлением максимальная рассеиваемая мощность зависит от разности температур, доступной для системы охлаждения. И хотя некоторые кремниевые приборы могут работать при температуре переходов свыше  $150^\circ\text{C}$ , максимальная рабочая температура цифровых схем обычно ограничивается на уровне  $75 - 85^\circ\text{C}$ . Это делается для того, чтобы обеспечить надежность и однородность электрических характеристик различных кристаллов. Температура охлаждающего воздушного потока на входе может быть  $30^\circ\text{C}$ . Проходя через корпус или плату, он дополнительно нагревается на  $10 - 15^\circ\text{C}$ . Поэтому максимальная доступная разность температур составляет в данном случае менее  $50^\circ\text{C}$ . Эти оценки показывают, что допустимая мощность рассеяния для керамических корпусов с двумя рядами выводов составляет менее 2 Вт. В общем случае максимальный тепловой поток при воздушном охлаждении равен примерно  $2\text{ Вт}/\text{см}^2$  на уровне кристалла и около  $0,5\text{ Вт}/\text{см}^2$  на уровне модуля. (Повысить значения этих показателей можно, если применить специальные теплоотводы или создать высокоскоростной поток охлаждающего воздуха.) Указанные предельные значения показателей теплового рассеяния определяют важные ограничения на мощность и плотность упаковки схем, а следовательно, и на рабочие характеристики систем.

Ряд СПЕЦИАЛИСТОВ по проектированию быстродействующих вычислительных систем провел исследова-



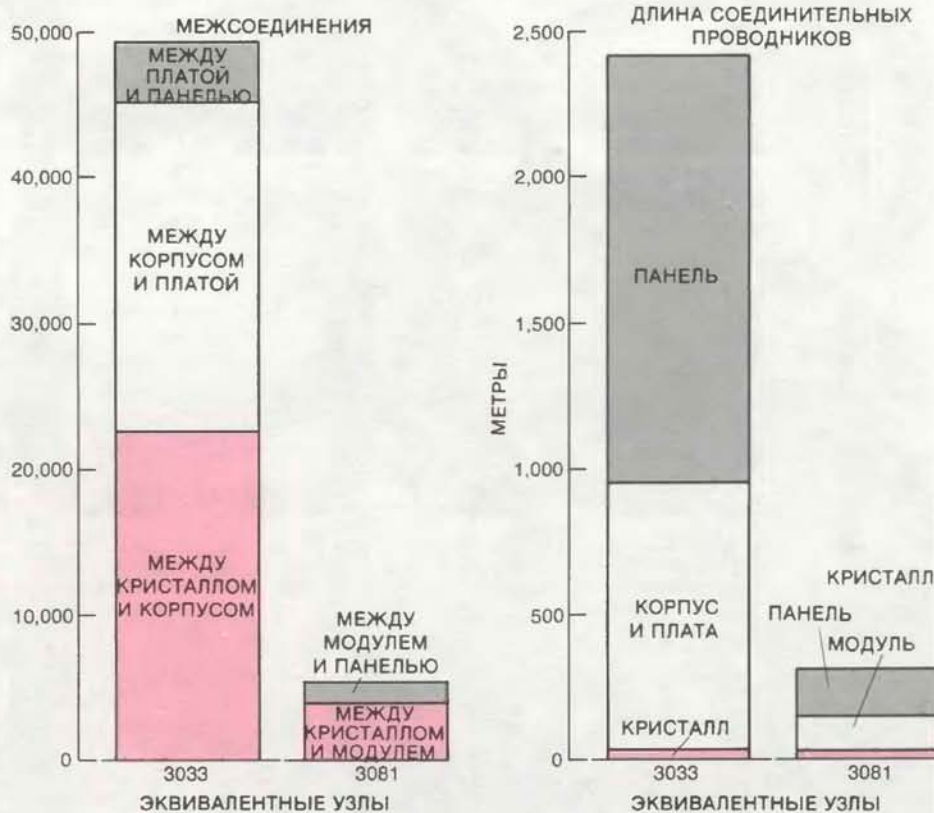
ния многих различных сборочно-монтажных технологий, основанных на воздушном охлаждении носителей кристаллов. Ниже будет описана одна технология изготовления высокопроизводительных машин, которая, по мнению автора, представляет собой шаг вперед по сравнению с современным уровнем. Технология была разработана для нового семейства универсальных ЭВМ учеными и инженерами предприятий компании IBM из городов Ист-Фишкилл, Эндикотт и Паукипси (шт. Нью-Йорк) и Зинделфинген (ФРГ). При этом были поставлены две главные проектные задачи — уменьшить количество межсоединений между уровнями сборочно-монтажной иерархии и уменьшить полную длину соединительных проводников. Решение этих задач сулило три возможных преимущества: повышение быстродействия, снижение стоимости и повышение надежности. Полученная в результате этой работы конструкция состоит из двух основных компонентов: многослойной керамической подложки, на которой устанавливаются кристаллы ИС и через которую проведены все межсоединения, и сборочного модуля, который образует прямой канал отвода тепла от нижней поверхности кристаллов к охлаждаемому водой теплоотводу.

Керамическая подложка, внешне похожая на небольшую кафельную плитку размером 90 × 90 мм и толщиной около 5 мм, содержит внутри чрезвычайно компактную сеть межсоединений очень высокой сложности. На лицевой (верхней) стороне подложки выполнены посадочные места для установки от 100 до 133 быстродействующих кристаллов, имеющих в общей сложности более 12 тыс. контактных площадок. На нижней стороне подложки укреплены 1800 штырьковых контактов, через которые подается электропитание на кристаллы и вводятся и выводятся сигналы для связи со следующим уровнем сборочно-монтажной иерархии. Как контакты кристаллов, так и контакты модуля с целью уменьшения занимаемой площади расположены в виде двумерных матриц. Сама подложка содержит 33 слоя проводников, которые соединяются между собой более 350 тыс. сквозных контактных отверстий.

Из указанного числа проводящих слоев в подложке 16 отведены под сигнальные проводники, прокладываемые по оси *x* или *y*. Проектные нормы для этих слоев предусматривают расположение сквозных контактных отверстий (переходов) в узлах прямоугольной сетки с шагом 0,5 мм. Между соседними отверстиями можно прокладывать только одну сигнальную линию, так что возможности конфликтных ситуаций при доступе к отверстию исключаются.



«ЛОЖЕ ИЗ ГВОЗДЕЙ» на нижней стороне теплопроводящего модуля состоит из 1800 контактных штырьков. По 500 на модуль подается электропитание, а остальные можно использовать для связи модуля с другими такими же модулями и прочими компонентами вычислительной системы.



ВЛИЯНИЕ СБОРочно-МОНТАЖНОЙ ТЕХНОЛОГИИ на производительность и надежность видно из сравнения двух технологий, используемых в производстве двух универсальных ЭВМ компании International Business Machines. Машина IBM 3033 собирается из кристаллов ИС в отдельных корпусах, плат и панелей; в конструкцию машины 3081 входят теплопроводящие модули. На рисунке представлены результаты сравнения одного теплопроводящего модуля и набора компонентов машины 3033 с таким же количеством логических схем. Количество соединений между уровнями сборочно-монтажной иерархии для теплопроводящего модуля меньше в 10 раз; кроме того, большинство оставшихся соединений — это места припайки кристаллов к подложке, намного надежнее, чем механические соединения. Полная длина соединительных проводников в теплопроводящем модуле в восемь раз меньше, чем в эквивалентном узле машины 3033, что дает пропорциональное уменьшение времени передачи сигналов.

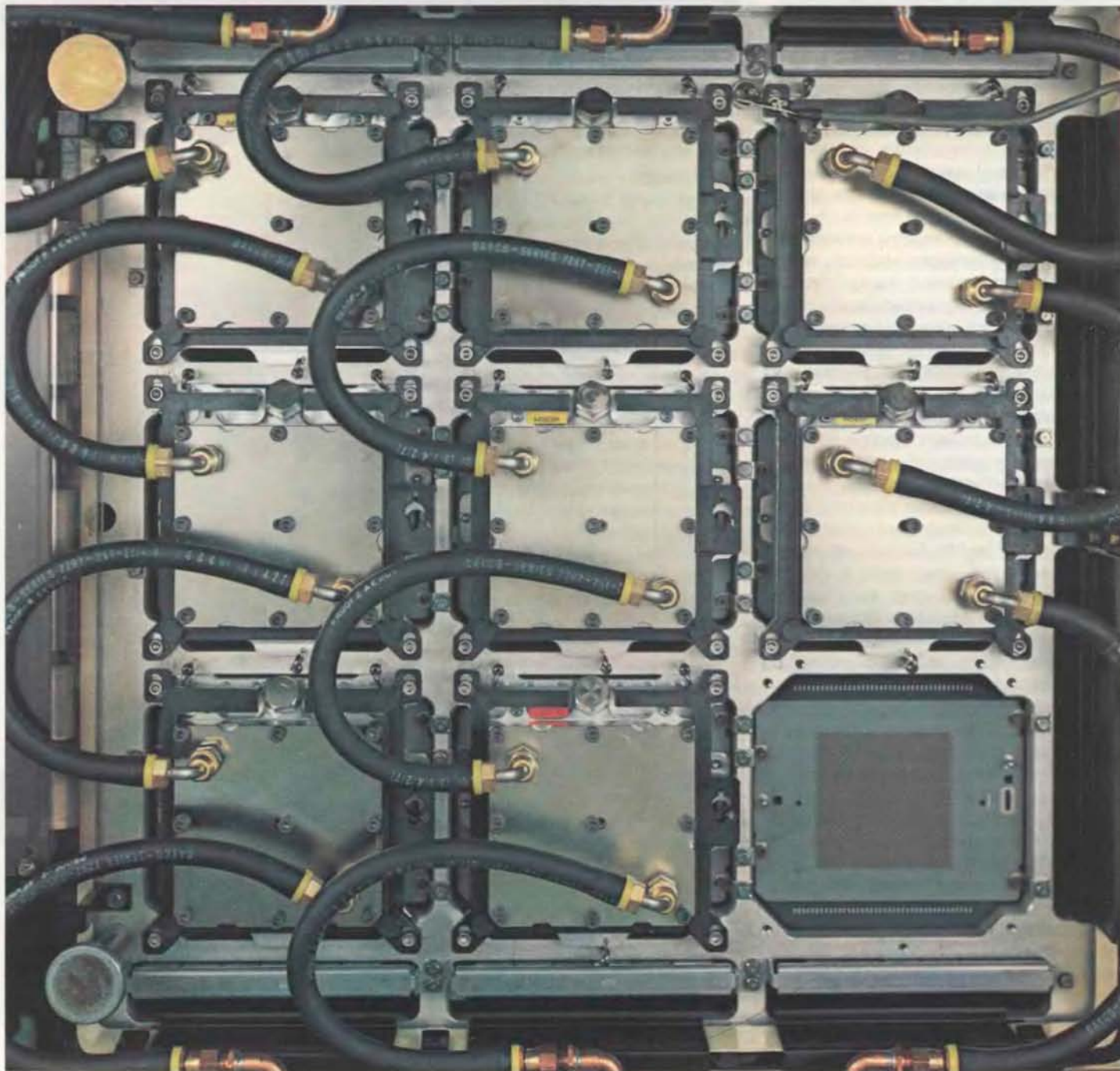
ются. Таким образом, эти 16 сигнальных слоев обеспечивают максимальную длину соединений 320 см на 1 см<sup>2</sup> площади подложки. В общей сложности в сигнальных слоях типовой подложки располагается 130 м сигнальных проводников. Между каждой парой слоев *x* и *y* располагается слой с опорным напряжением, который позволяет контролировать импеданс сигнальных линий. Величина их характеристического импеданса в данной конструкции равна 55 Ом.

Большинство сквозных контактных отверстий размещено в пяти верхних слоях подложки на сетке с шагом 0,25 мм, чтобы можно было стыковать их с матрицами контактных площадок на

каждом из кристаллов ИС. Эти слои служат для перераспределения сигнальных линий (по 96 для каждого посадочного места кристалла) от контактных площадок кристалла на набор контактных площадок на периферии посадочного места. Оттуда сигнальные линии вновь уходят в глубь подложки. Периферийные контактные площадки на поверхности подложки дают возможность испытывать модуль с установленными на нем кристаллами. Кроме того, в случае необходимости изменить схему соединений можно просто разрушить короткий отрезок проводника на поверхности подложки и отключить любую сигнальную линию от внутренних цепей. После

этого можно сделать новое соединение, припаяв тонкую проволочку к металлической контактной площадке и проложив ее в промежутках между кристаллами. При разработке новых изделий возможность внесения изменений в конструкцию таким простым способом имеет чрезвычайно важное значение. В технологии также предусмотрены способы замены отдельных кристаллов как при изменениях конструкции, так и при замене вышедших из строя компонентов.

Электропитание распределяется по трем нижним слоям подложки; по двум из них подаются напряжения, необходимые для работы кристаллов, а третий находится под потенциалом



ПЕЧАТНАЯ ПЛАТА, установленная на массивном стальном основании, представляет собой следующий (после теплопроводящего модуля) уровень сборочно-монтажной иерархии ЭВМ 3081. Панель рассчитана на девять модулей. В дан-

ной панели установлены и подключены к водяной системе охлаждения только восемь модулей; девятое посадочное место не занято, и на нем видны разъемы, в которые вставляются 1800 штырьковых контактов каждого модуля.

земли. Питание на сами эти слои подается по параллельной схеме через матрицу контактов, равномерно распределенных по нижней поверхности подложки. Для этой цели отведено 500 штырьков из 1800 имеющихся. От слов питания ток поступает прямо на соответствующие контактные площадки кристаллов через параллельно включенные группы сквозных контактных отверстий. Конструкция подложки позволяет подводить питание к каждому кристаллу мощностью до 4 Вт, хотя не каждый из кристаллов работает с максимальным током. В целом мощность питания модуля ограничена на уровне 300 Вт, т.е. в среднем по 3 Вт/кристалл. Потери напряжения питания из-за паразитных сопротивлений для данного модуля составляют менее 15 мВ.

Как и следовало ожидать, в такой сложной технологии выбор материалов с учетом конструктивных требований не обошелся без ряда компромиссных решений. Основным компонентом материала подложки служит алунд, т.е. окись алюминия. Этот керамический материал был выбран за свои отличные механические свойства и стойкость по отношению к различным химическим и термическим процессам, применяемым при изготовлении подложки и модуля. Главный недостаток алунда — относительно высокая диэлектрическая проницаемость, равная 9,4. Поэтому скорость распространения сигнала в данном модуле ниже, чем в печатной плате из фибергласа. Однако тот факт, что кристаллы можно устанавливать прямо на керамическую подложку, позволяет значительно сократить среднее расстояние между кристаллами по сравнению с их монтажом на печатной плате. Благодаря этому полная задержка сигналов в итоге значительно меньше. Другое компромиссное решение было принято при выборе материала проводников во внутренних слоях подложки. Обжиг алундовой керамики происходит при температуре 1500 °С, поэтому проводники пришлось делать из тугоплавкого металла. Другие металлы обладают повышенной электропроводностью, однако их температуры плавления ниже температуры отжига алунда. В итоге был выбран молибден, удельное сопротивление которого примерно в три раза больше, чем у меди. Чтобы компенсировать этот недостаток, была увеличена плотность размещения сквозных контактных отверстий, так что большие токи можно подавать прямо на кристаллы через группы таких отверстий.

**ИЗГОТОВЛЕНИЕ** многослойной керамической подложки начинается с отливки отдельных слоев. Порошки керамики и стекла смешиваются с органическим связующим веществом и рас-

творителем, образуя жидкое тесто с консистенцией краски. Тесто наносится на движущийся пластмассовый транспортер и проходит под специальным ножом, который придает слою определенную толщину. В длинной сушильной печи из него удаляется растворитель и остается связный, но еще гибкий материал, похожий на толстую бумагу. Из полотна вырезаются квадратные заготовки, называемые зелеными листами. (Словом «зеленый» специалисты по керамике называют неотожженный материал; на самом деле эти листы белые.) Для удобства выполнения последующих операций в углах каждого листа пробиваются отверстия для совмещения.

Следующая операция — пробивка сквозных отверстий. Она выполняется на быстродействующей многопуансонной перфорационной установке, управляемой ЭВМ. В верхнем слое модуля на 100 кристаллов, например, каждое посадочное место для кристалла имеет одинаковую матрицу отверстий. Поэтому в штампе установлено сразу 100 пуансонов, которые размещены на сетке с шагом, равным шагу посадочных мест для кристаллов. При каждом срабатывании инструмента одно отверстие пробивается в одной и той же позиции сразу на каждом из посадочных мест кристаллов; затем весь лист слегка сдвигается и пробиваются следующие 100 отверстий.

Металлические соединения наносятся на «зеленые» листы методом, аналогичным трафаретной печати или шелкографии. Через металлическую маску, на которой нанесен рисунок соединений, продавливается паста из молибдена, связующего вещества и растворителя. (Рисунок маски формируется автоматически с помощью системы автоматизированного проектирования.) Паста наносится под давлением и поэтому заполняет также пробитые в листах сквозные отверстия. После этого металлизированные листы сушатся и проверяются. Выявление дефектов в отдельных листах до того, как из них будет собрана полная подложка, играет очень важную роль в получении высокого процента выхода годных изделий в данном технологическом процессе.

Листы, прошедшие проверку, собираются в определенной последовательности в пакеты и спрессовываются под высоким давлением при температуре 75 °С. Сквозные отверстия диаметром 120 мкм должны совпадать в слоях, поэтому точный контроль размеров и совмещения листов крайне необходим. Спрессованная «зеленая» подложка подгоняется под нужный внешний размер и затем подвергается длительному циклу отжига, во время которого происходит постепенный нагрев до максимальной температуры свыше 1500 °С в

атмосфере водорода. При меньших температурах связующий органический материал разлагается и улетучивается, а при максимальной температуре керамика и металл спекаются в монолитную структуру.

Скорость повышения температуры при нагреве необходимо тщательно контролировать; при слишком высокой скорости органическое связующее вещество будет разлагаться быстрее, чем продукты распада успевают продиффундировать к поверхности, и подложка может расслоиться. Во время спекания все линейные размеры подложки уменьшаются примерно на 17%, так что ее полный объем становится меньше примерно на 40%. С учетом того, что размеры окончательного изделия должны быть выдержаны с жесткими допусками, очевидно, степень уменьшения линейных размеров должна быть точно известна при первоначальном нанесении всех рисунков на «зеленые» листы. После отжига подложка приобретает размеры, форму и твердость керамической плитки; если по ней слегка ударить, она издает звон.

Открытые участки металлизации на обеих сторонах готовой подложки покрываются сначала никелем, а затем золотом. На автоматической испытательной установке выполняется детальная проверка всех электрических цепей подложки, чтобы убедиться в правильности соединений. При этой проверке также используются результаты работы системы автоматизированного проектирования. Испытательная установка контролирует правильность соединения каждой контактной площадки в соответствии со схемой; кроме того, должно быть установлено отсутствие лишних и неправильных соединений. После завершения испытаний к нижней поверхности подложки твердым припоем припаиваются 1800 штырьков; одновременно к подложке, тоже твердым припоем, прикрепляется металлический фланец.

Интегральные схемы крепятся на подложку методом, который был разработан в компании IBM еще для предшествующих поколений ЭВМ. Сначала через металлическую маску на контактные площадки на поверхности кристалла напыляется свинцово-оловянный припой. Затем кристалл нагревается в атмосфере инертного газа до температуры плавления припоя; последний, плавясь и перераспределяясь под действием поверхностного натяжения, образует на каждой контактной площадке сферическую каплю. Затем припой охлаждается до затвердевания, а кристалл переворачивается и накладывается на подложку так, чтобы соответствующие контактные площадки совместились. После установки на подложку всех кристаллов весь узел вновь нагревается до температуры плавления

припоя; при этом каждый контактный шарик припоя приобретает форму усеченной с двух сторон сферы и соединяет электрически контактные площадки кристалла и подложки, сохраняя при этом зазор между их поверхностями. Смонтированные таким образом кристаллы можно испытать и проверить с помощью размещенных вдоль их периферии контактных площадок для монтажных изменений. Все необходимые проводные соединения в этих случаях делаются с помощью ультразвуковой пайки.

**ГОТОВАЯ** многослойная керамическая подложка вместе с фланцем и штырьковыми контактами образует основание теплопроводящего модуля, в состав которого входят еще два главных компонента: узел крышки и панель охлаждения. Крышка крепится к кольцевому фланцу подложки, обжимая это пластичное кольцо С-образного сечения и обеспечивая тем самым герметичность внутреннего объема. Панель охлаждения крепится сверху болтами к крышке. Внутри крышки размещена матрица подпружиненных алюминиевых плунжеров, расположенных в точном соответствии с кристаллами ИС на подложке. Каждый плунжер прижимается к обратной стороне кристалла и благодаря этому проводит выделяемое им тепло вверх к панели охлаждения. В свою очередь панель охлаждения имеет внутренние каналы, по которым течет охлаждающая вода с начальной температурой  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$  и с расходом  $40\text{ см}^3/\text{с}$ . Дополнительное улучшение тепловых свойств модуля дало заполнение его внутреннего герметичного объема гелием, который при комнатной температуре намного превосходит воздух по теплопроводности. Гелий снижает внутреннее тепловое сопротивление модуля более чем наполовину.

Собранный модуль имеет внутреннее тепловое сопротивление (измеренное от кристалла до панели охлаждения)  $9\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$  и внешнее тепловое сопротивление  $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$  для каждого посадочного места кристалла. Паспортные характеристики модуля выбраны с запасом и предусматривают максимально допустимую мощность  $4\text{ Вт}$  на кристалл и  $300\text{ Вт}$  на модуль в целом. По величине теплового сопротивления можно рассчитать, что перегрев кристалла, рассеивающего мощность  $4\text{ Вт}$ , составит  $68\text{ }^{\circ}\text{C}$ , так что его температура будет значительно ниже максимальной рабочей температуры таких схем. Поток тепла составляет примерно  $20\text{ Вт}/\text{см}^2$  на уровне кристаллов и  $4\text{ Вт}/\text{см}^2$  на уровне модуля, что на порядок превышает поток тепла для типовых корпусов с воздушным охлаждением.

Рассмотренный теплопроводящий модуль — это лишь один из трех уров-

ней сборочно-монтажной иерархии в изготовлении центрального процессора по новой передовой технологии. На первом уровне находятся сами кристаллы, разработанные в лаборатории компании IBM в г. Ист-Фишбилле. Все они смонтированы над одной и той же структурой из 704 базовых логических элементов; но поверх этой структуры помещаются еще три слоя металлических проводников, с помощью которых реализованы различные варианты включения вентиля и других приборов. По этим же металлическим слоям к отдельным схемам подводится электропитание и разводятся сигналы между элементами и контактными площадками. Время переключения биполярных логических схем на этих кристаллах равно  $1,1\text{ нс}$ .

**ТРЕТИЙ** конструктивный компонент рассматриваемой вычислительной системы, представляющий собой еще одно крупное достижение в сборочно-монтажной технологии, — это большая печатная плата (панель), соединяющая между собой до девяти теплопроводящих модулей. Она разработана на предприятии компании IBM в г. Эндикотте и представляет собой 20-слойную плату из шести сигнальных слоев с контролируемым импедансом линий. Размеры на девять модулей  $60 \times 70\text{ см}$ , а сама она обеспечивает взаимное соединение 16 200 штырьков модулей и более 2000 дополнительных выводов для кабелей, ведущих к другим сборочным узлам машины. Панель обеспечивает также подачу на модуль тока питания до  $600\text{ А}$ .

Новые теплопроводящие модули и технология их изготовления и монтажа были впервые применены компанией IBM в 1981 г. в ее быстродействующем процессоре данных модели 3081, который был разработан в Паукипской лаборатории. В типовом модуле процессора 52 посадочных места заняты логическими кристаллами. В состав модуля входят также 34 матричных кристалла памяти и пять кристаллов с оконечными нагрузками. Кристаллы памяти образуют быстродействующее полупроводниковое запоминающее устройство, в котором хранятся данные и команды, необходимые центральному процессору во время его работы. Кристаллы с оконечными нагрузками представляют собой матрицы резисторов для согласования импедансов длинных линий, проведенных вне кристаллов. Модуль с набором кристаллов содержит более 25 тыс. логических схем, 65 тыс. бит памяти и почти 500 согласующих резисторов.

Сравним технологию сборки и монтажа процессора 3081 с традиционной технологией изготовления другой высокопроизводительной ЭВМ компании IBM — машины 3033. В машине 3033

каждый кристалл содержит в среднем по 12 логических схем и собран в отдельный корпус. Вместе с согласующими резисторами и другими компонентами корпуса смонтированы на печатных платах, которые в свою очередь через разъем на одном из краев соединяются с панелями (платами второго уровня). Если функции типового теплопроводящего модуля, о котором речь шла выше, реализовать по этой технологии, понадобилось бы 1880 корпусов с логическими кристаллами, еще 80 корпусов с матрицами памяти и дополнительные компоненты для оконечных нагрузок линий. Для монтажа и взаимного соединения всех этих компонентов пришлось бы использовать 52 печатные платы, четыре панели и кабельные линии их соединения. Отметим, что все эти компоненты потребовались бы для реализации функций только одного модуля, а полностью укомплектованная система 3081 состоит из 26 модулей.

Наибольшее внимания заслуживают три достоинства сборочно-монтажной технологии на основе теплопроводящих модулей. Во-первых, существенно сокращается требуемое количество элементов и средств, что позволяет значительно снизить производственные расходы и стоимость готовой продукции. Во-вторых, повышается надежность систем. Основные места отказов в электронных блоках — это соединения между элементами разных сборочно-монтажных уровней. В теплопроводящем модуле один сборочно-монтажный уровень вообще отсутствует, а количество логических сигнальных соединений между элементами различных уровней уменьшено почти в 10 раз. Кроме того, большинство остальных соединений — это места припайки кристаллов к модулю, которые значительно надежнее, чем механические соединения на последующих уровнях сборочно-монтажной иерархии.

Третье достоинство — это повышение производительности. Полная длина цепей, по которым передаются сигналы логических операций в процессоре 3081, примерно в 8 раз меньше по сравнению с длиной, которая была бы при изготовлении процессора по технологии машины 3033. В результате полное время прохождения сигналов в монтажных соединениях центрального процессора (включая соединения в модулях, панелях и кабелях) снижено в четыре раза, за счет чего длительность цикла процессора уменьшилась в два раза.

# Развитие листьев у пальм

Сложные листья растений обычно образуются в результате либо дифференцированного роста, либо избирательного отмирания клеток.

Однако у пальм листья проходят своеобразный путь развития, в котором сочетаются оба этих процесса

ДОНАЛЬД Р. КАПЛАН

**О**ДИН из центральных вопросов современной биологии — каким образом из оплодотворенной яйцеклетки развивается зародыш и затем взрослое животное или растение? Стадии развития целого ряда организмов и тканей уже давно подробно описаны, однако изучение регуляторных процессов, лежащих в их основе, стало возможным лишь с возникновением молекулярной биологии. А чтобы разобраться в последовательности стадий развития многих тканей, понадобились такие методы, как электронная микроскопия. Понять процессы, составляющие суть отдельных стадий, невозможно, не идентифицировав эти стадии.

Убедиться в том, что пока не будет выяснен путь развития, невозможно судить о его регуляции, можно на примере листа представителей одного из семейств цветковых растений — пальм (*Palmae*). У всех цветковых растений три основных органа: корень, стебель и лист. Листья наиболее разнообразны. Например, лист в дополнение к своей основной роли как органа фотосинтеза может видоизменяться в защитную чешую новой почки, в приспособление для лазания стебля, в репродуктивные органы и даже в ловушку для насекомых. Основная часть обычного, немодифицированного листа — широкое плоское зеленое образование, в тканях которого в высокой концентрации содержится хлорофилл. Эта так называемая листовая пластинка улавливает солнечный свет и функционирует как орган газообмена. Пластинку поддерживает черешок. По нему питательные вещества — продукты фотосинтеза — поступают из листовой пластинки к основанию листа, соединяющемуся со стеблем растения. Исполняя механическую функцию и функцию переноса питательных веществ в стебель (и, таким образом, в растение в целом), основание также служит защитой для листовой пластинки и черешка на том раннем этапе, когда будущий лист представляет собой лишь часть верхушечной почки побега.

Каким образом лист развивается из

почки? Я буду рассматривать этот процесс в основном на примере пальм, но полезно также уделить внимание представителям семейства аронниковых (*Agaceae*), относительно близкородственного пальмам. У пальм и аронниковых листья от эмбрионального до взрослого состояния проходят совершенно различные пути развития, которые до недавнего времени были мало понятны.

Растения развиваются совершенно иначе, чем животные. У большинства животных новые органы образуются лишь на ранних этапах эмбрионального роста. У растений же новые органы возникают непрерывно из центров роста — недифференцированных тканей, состоящих из клеток, способных к дальнейшей дифференцировке. Центрами роста являются эмбриональные ткани верхушки корня и стебля — так называемая верхушечная меристема.

**В** ТИПИЧНОМ побеге благодаря меристеме стебель растет одновременно с листьями, расположенными вдоль стебля в определенном геометрическом порядке. Из-за того, что прирост стебля и развитие листьев происходят в течение продолжительного периода, может показаться, что побег — это набор структурно одинаковых единиц, подобно сегментам тела земляного червя. Например, считается, что, поскольку чем дальше от верхушечной почки побега находится лист, тем он «старше», то последовательность листьев на побеге иллюстрирует стадии развития листа в данном положении на стебле. На самом деле это верно только тогда, когда у растения имеет место стабильный рост, т.е. можно показать, что последовательные структурные единицы побега идентичны. Однако известны многочисленные примеры, когда они заметно изменяются по мере роста побега. В этом случае сначала необходимо выбрать какое-то одно положение листа на стебле и изучать развитие этого определенного листа.

Лист возникает в виде выроста периферической части верхушечной почки,

обычно имеющего форму уплощенного бугорка без всяких признаков дифференцировки. Первыми становятся различимы основание листа и листовая пластинка. Черешок, если он вообще развивается, появляется позже как вставка между основанием и пластинкой.

**Л**ИСТЯ цветковых растений разнообразны по форме и размерам. Весьма распространены рассеченные, или сложные, листья. Пластинка сложного листа как бы разрезана на сегменты, или листочки. С точки зрения развития рассеченные листья представляют особый интерес, поскольку наглядно демонстрируют, как совершенно разными путями формируются внешне очень похожие листья. Гигантские листья пальм — самые большие и наиболее сложные из рассеченных листьев. Что касается тропических аронников (а в семействе аронниковых листья очень разнообразны по форме), то на их примере мы разберем два альтернативных способа формирования рассеченного листа.

Пластинка взрослого листа аронника вида *Zamioculcas zamiifolia* перистосложная: от удлиненного стержня, или рахиса, отходят, как отростки, 4—5 пар сегментов пластинки. Если последовательно удалить молодые листья с верхушечной почки побега *Z. zamiifolia*, обнаруживается крошечная куполообразная структура диаметром около 100 мкм. Это верхушечная меристема побега: из нее возникают самые молодые примордии, или эмбриональные листья. Примордий образует маленький шлем над верхушечной почкой побега. По мере того как примордий растет вверх, он полностью покрывает верхушечный купол и два свободных края его шлема плотно прижимаются друг к другу.

В результате того что разные ткани растут с разными скоростями, вскоре появляются будущие листочки в виде бугорков по краям листа. У верхушки листа бугорки побольше, а в направлении к основанию постепенно появляются молодые маленькие. Когда число

бугорков достигает 4—5 пар, они разрастаются и принимают форму взрослых листочков.

У высших растений (будь то простые сосудистые растения — такие, как папоротники; голосеменные — как саговники; или же высшие цветковые растения) возникновение листочков по краям листа — наиболее распространенный способ развития рассеченного листа. Сложные листья могут быть рассеченными дважды, трижды или даже многократно. Судя по всему, ограничений относительно степени рассеченности листа в принципе нет.

А у такого представителя ароннико-

вых, как филодендрон с рассеченными листьями (один из лазающих родов *Monstera*), способ рассечения листа совершенно иной. Это растение обращает на себя внимание характерными отверстиями в листовой пластинке, благодаря чему оно очень популярно как декоративное. Размер и форма отверстий различны, так как разные части пластинки растут с неодинаковой скоростью. Так, первые отверстия появляются ближе к краю пластинки. У сформированных листьев они большого размера и имеют эллиптическую форму вследствие того, что эта часть пластинки особенно сильно растет шири-

Отверстия, которые возникают позже, расположены ближе к средней жилке листа. Они меньше и более округлые, поскольку окружающая их ткань гораздо меньше разрастается в стороны.

Еще в прошлом веке стало известно, что отверстия в листьях филодендрона образуются в результате отмирания клеток в определенных участках листовой пластинки. С помощью сканирующего электронного микроскопа удалось наблюдать этот процесс в деталях. Сначала на поверхности листовой пластинки появляются слегка вдавленные участки округлой формы. Вдавливание — это следствие уменьшения



КОКОСОВАЯ ПАЛЬМА — один из самых распространенных представителей семейства пальм. В мощной кроне листьев

видны гроздья орехов. Форма листьев образуется в результате сложного процесса развития.

тургора пораженных клеток. После того как клетки окончательно погибают, этот участок листа просто высыхает и отпадает, а на его месте остается отверстие.

У многих видов рода *Monstera* краевая полоска, т.е. ткань вокруг периферических отверстий, растет с иной скоростью, чем остальная часть листовой пластинки. В результате тонкий мостик краевой ткани обычно разрывается, и дырчатая листовая пластинка превращается в лопастную. У некоторых видов (например, у *M. subpinnata*, *M. tenuis* и *M. dilacerata*) образуются только широкие эллиптические отверстия по краям листовой пластинки. Когда мостики краевой полоски рвутся, получается перистолопастная листовая пластинка, поразительно похожая на перистые листья *Zamioculcas zamiifolia*. Если бы мы не знали, что рассеченный лист у *Monstera* формируется путем отмирания клеток, а у *Zamioculcas* — путем образования лопастей, то предположить, что программы развития у них разные, было бы довольно трудно.

Как и аронниковые, пальмы широко распространены в тропиках. Листья у пальм, как правило, очень крупные. Самые большие листья во всем растительном царстве у пальм рода *Raffia*. Длина их листочков может превышать 18 м. Процесс формирования рассечен-

ных листьев у пальм в некоторых отношениях представляет собой комбинацию тех двух способов, которые мы рассмотрели выше: образования лопастей и отмирания клеток. Однако многое еще не ясно. Недавно я и мои коллеги из Калифорнийского университета в Беркли провели исследование с целью установить, что лежит в основе развития пальмового листа.

Лист пальмы состоит, как и типичный лист, из трех частей: удлиненной листовой пластинки, черешка и основания, которое обычно трубчатое и полностью охватывает стебель. У пальм основание листа играет особенно важную роль. Оно не только поддерживает очень большие и тяжелые органы фотосинтеза — пластинку и черешок, — но также механически укрепляет побег в молодых участках стебля (ствола) пальмы, где междоузлия (т.е. отдельные участки) стебля еще удлиняются. Вот почему в основании листа у пальм очень развита сеть сосудисто-волокнистых трубчатых пучков, которые обеспечивают его прочность и гибкость.

**ЛИСТОВЫЕ** пластинки у пальм бывают двух типов, различающихся по тому, как распределяется рост в процессе рассечения листа: перистые и пальчатые. Перистый лист напоминает птичье перо, а пальчатый похож на руку с растопыренными пальцами. У

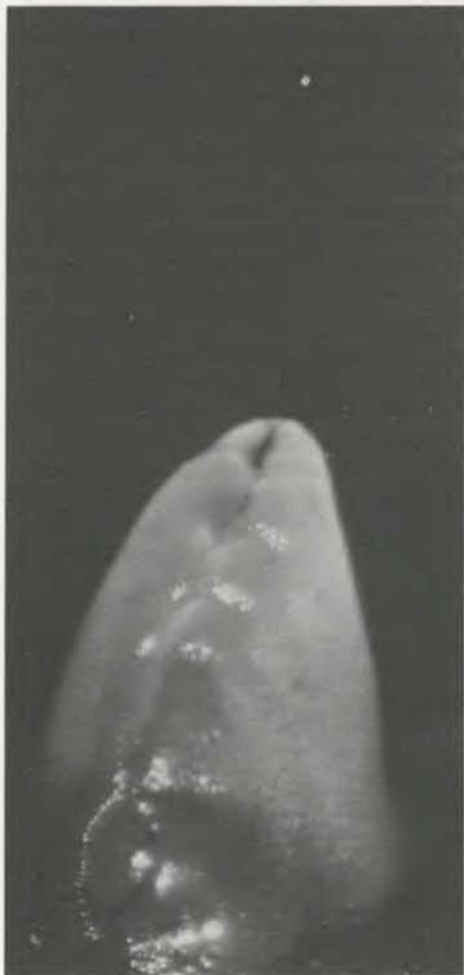
перистых листьев черешки короткие, у пальчатых — длинные. Особенностью развития листьев у пальм является то, что листовая пластинка сначала имеет складчатую поверхность. Затем вдоль некоторых складок происходит разрыв тканей и пластинка распадается на отдельные листочки. В полностью сформировавшемся пальчатом листе отчетливо видно, что его сегменты получились из складок листовой пластинки: сжимая листочки, лист можно сложить, как веер, притом каждый листочек в поперечном сечении имеет V-образную форму, т.е. как бы вырезан из гофрированного слоя.

Перистый лист пальмы в своем развитии проходит более сложный путь. Для лучшего понимания необходимо рассмотреть весь процесс развития, начиная с момента зарождения листа. В перистом листе листочки расположены по бокам вдоль центральной осевой жилки листа, они образуются во время роста жилки. Примордий перистого листа пальмы возникает как шлемообразный вырост на верхушке побега. Та часть примордия, которая выступает выше и дальше от верхушки побега, представляет собой будущую листовую пластинку. Основание листа появляется в виде воротничка вокруг периферической части верхушки побега, т.е. оно закладывается так, чтобы в дальнейшем полностью охватывать сте-



РАССЕЧЕННЫЕ ЛИСТЬЯ двух тропических аронников во взрослом состоянии очень похожи, хотя их развитие шло совершенно разными путями. Слева лист *Zamioculcas zamiifolia*: 5 пар его листочков возникают в виде бугорков по краям эмбриональной листовой пластинки (см. следующий рисунок). Справа лист филодендрона с рассеченными листья-

ми (*Monstera subpinnata*). Его 12 листочков первоначально составляли цельную листовую пластинку; затем в тех местах, где произошло отмирание клеток, образовались отверстия и пластинка разделилась на листочки (см. рисунки на с. 63). По внешнему виду взрослого листа судить о пути развития практически невозможно.



ЭМБРИОНАЛЬНЫЙ ЛИСТ *Z. zamiifolia* на ранней стадии развития (слева) и на более поздней (справа). Длина препаратов 1,7 и 3 мм соответственно. Бугорки, которые видны по краям более молодого листа, — это будущие листочки.

бель. Через некоторое время примордий становится больше похож на капор, чем на шлем. Его хорошо различимая наружная поверхность соответствует нижней поверхности будущей листовой пластинки, а узкая внутренняя часть станет ее верхней поверхностью.

Если у аронника *Zamioculcas* начало роста листочков влечет за собой образование лопастей вдоль края листовой пластинки, то будущие листочки перистого листа пальмы возникают как серия выпуклостей, или гребней, на некотором расстоянии от края пластинки. Эти складочки особенно хорошо заметны на будущей нижней поверхности пластинки, но их можно разглядеть и на верхней поверхности. На срезе, сделанном под прямым углом к одному из краев пластинки, видно, что нижние и верхние гребни в действительности составляют одну серию складок, бегущих вдоль всей пластинки плотным зигзагом, как волна.

Своеобразие такого способа закладки листочков заключается в том, что складки никогда не распространяются до краев пластинки, так что по периферии листовой пластинки тянется узкая полоска ткани без складок. Точно так же на обратной стороне листовой пла-

стинки складки отходят от осевой утолщенной жилки листа лишь на короткое расстояние.

По мере того как лист продолжает расти, появляются новые складки. Они возникают в направлении к основанию листовой пластинки, хотя несколько складок может образоваться и в направлении ее верхушки. Общее число складок обычно соответствует числу листочков во взрослом листе; как только это число достигается, складок больше не возникает. На этой стадии складки остаются плотно сжатыми вместе подобно мехам фотоаппарата.

**КОГДА** складки становятся достаточно глубокими, листовая пластинка разъединяется на отдельные листочки и периферическая ткань, связывавшая верхушки листочков, исчезает. Вначале соседние складки отделяются друг от друга. Предполагается, что разъединение осуществляется вследствие разрушения межклеточного вещества по линии разрыва. Установлено, что при этом гибели клеток не происходит. У большинства перистолистных пальм процесс разъединения идет по гребням нижней поверхности листа. Наблюдения с помощью сканирующего элек-

тронного микроскопа показывают, как вдоль вершины гребня возникает и распространяется вдавленность, которая затем превращается в отчетливую щель. Отметим, что, даже если листочки отделились друг от друга почти по всей длине, их верхушки некоторое время — очень недолго — остаются прикрепленными к полоске ткани, идущей по краю листа. Лист на этой стадии похож на упряжь лошади, и свободно свисающие полоски называют вожжами.

**СПОСОБ** образования складок листа пальмы был предметом споров в кругу ботаников на протяжении полутора столетий. Предлагались две альтернативные гипотезы. Согласно одной из них, складки образуются вследствие того, что благодаря дифференцированному росту пластинка молодого листа изгибается.

По другой гипотезе образование складок начинается с процесса разрыва ткани, а уж затем следует дифференцированный рост. Предполагается, что на верхней и нижней поверхностях пластинки листа возникают чередующиеся щели, потому что постепенное разъединение клеток начинается на поверхности листовой пластинки и получается борозда. По мере того как клетки отделяются друг от друга, борозды углубляются и поверхность листа становится зигзагообразной и очень похожей на складчатую.

**ВТОРАЯ** гипотеза намного сложнее первой, так как по ней необходимы некоторые значительные осложнения клеточной дифференцировки. Так, развитие борозд должно разделить эпидермис листа на изолированные участки. Но согласно наблюдениям, стороны борозд тоже покрыты слоем эпидермальных клеток. Тогда следует предположить, что они происходят из клеток, лежавших глубоко внутри листа. Однако внутренние клетки обычно не превращаются в эпидермальные. Если такая трансформация имеет место, то это уникальный случай среди высших растений.

Проблема казалась настолько нетривиальной, что моими исследованиями заинтересовались Нэнси и Рональд Дэнглер из Университета г. Торонто. Хотя то, что я называю гипотезой «разрыва ткани», пока что не доказано, были основания считать ее правдоподобной. Во-первых, какая-то форма разъединения ткани, несомненно, имеет место при разрыве складок листа пальмы на отдельные листочки. Что если тот же процесс ответственный и за возникновение складок? Следуя принципу бритвы Оккама, разумнее считать, что действует одна программа развития, а не две различные программы. В пользу гипотезы «разрыва тка-



ни» свидетельствуют также наблюдения, сделанные при исследовании молодых листьев пальмы с помощью сканирующего электронного микроскопа: первичные складчатые борозды выглядели как узкие щели, прорезанные в листовой поверхности. Кроме того, оказалось, что у некоторых видов пальм разделенные узкими щелями складки имеют прямоугольную форму. Все это склоняло нас в пользу гипотезы разрыва ткани.

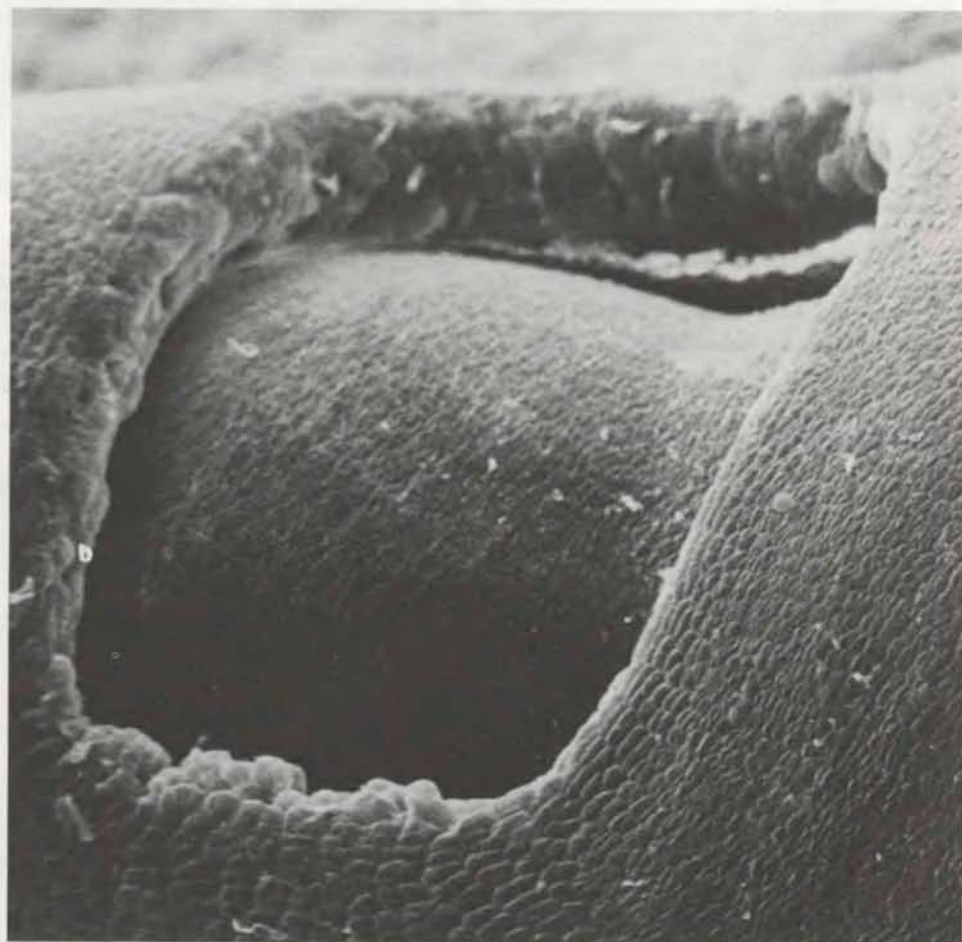
**Н**И ТОЙ ни другой гипотезе долгое время нельзя было отдать окончательного предпочтения по той причине, что за неимением достаточно мощной аппаратуры приходилось исходить только из внешнего вида складок. Поставив своей целью исследовать возникновение складчатости в листьях у нескольких разных видов пальм, мы решили воспользоваться сканирующим электронным микроскопом, чтобы понять, как происходит развитие пластинки листа в пространстве. Мы также изучали тонкие (1,3 мкм толщиной) срезы растительной ткани, приготовленные по методу, применяемому для просвечивающего электронного микроскопа. (В просвечивающем электронном микроскопе в отличие от сканирующего электроны проходят сквозь образец.) Такие тонкие срезы позволили нам в световом микроскопе получить изображения с очень хорошим разрешением и исключить многие артефакты, которые мешали прежде.

Согласно как гипотезе разрыва ткани, так и гипотезе дифференцированного роста, борозды, разделяющие гребни складок, по мере развития листа должны углубляться. По первой гипотезе борозды углубляются сами по себе. По второй — вследствие роста гребней вверх от основания борозды. Значит, если подсчитать, сколько клеток осталось соприкасающимися в нижнем и верхнем гребнях складки (либо ниже, либо выше соответствующих линий борозды), можно будет окончательно установить, какая из двух гипотез ближе к истине. Если дело в прогрессирующем разрыве ткани, то число контактирующих клеток на исходном уровне «дна» борозды должно уменьшаться со временем, поскольку по мере углубления борозды клетки разъединяются. Если же имеет место рост гребня вверх, как это предполагается в гипотезе дифференцированного роста, то число контактирующих клеток либо увеличивается (если рост гребней происходит благодаря делению и растяжению клеток), либо остается без изменений (если клетки только увеличиваются в размерах, но не делятся).

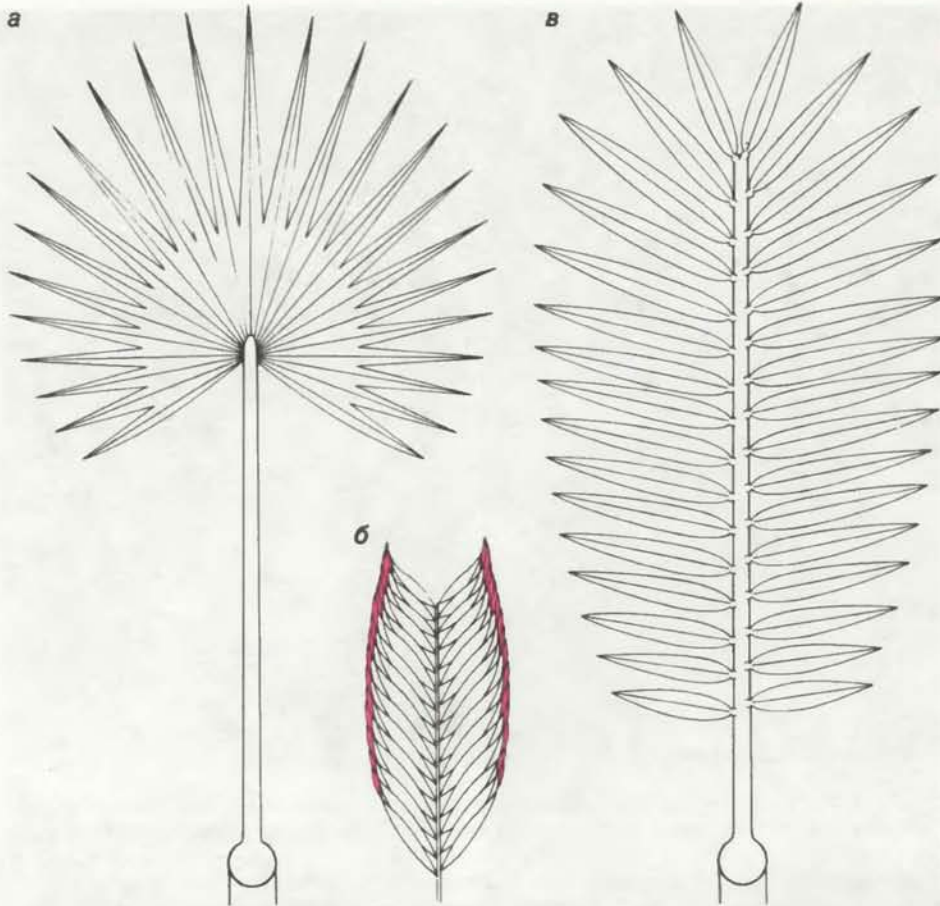
Мы провели такой подсчет и пришли к выводу, что борозды углубляются в результате не разъединения клеток, а роста гребней вверх. Хотя для нижнего



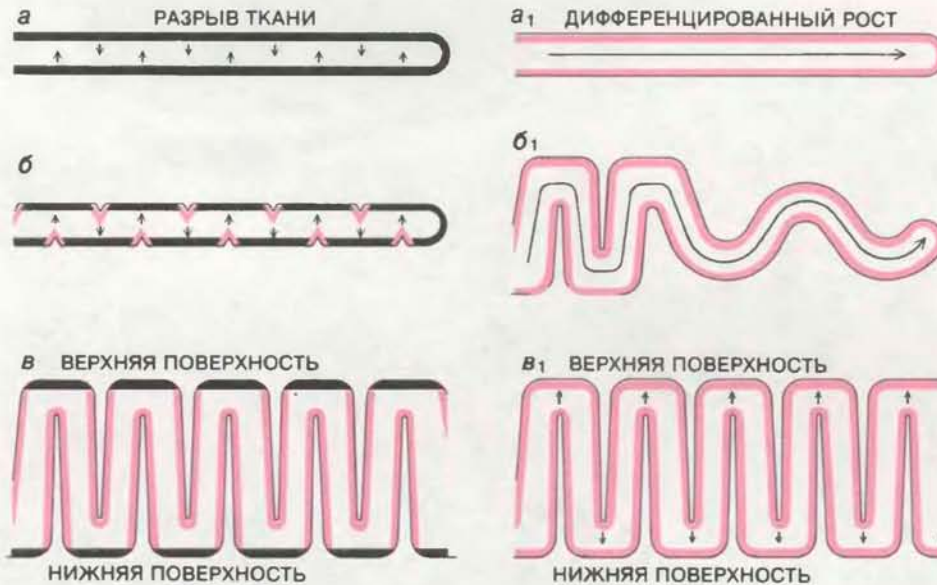
ОТВЕРСТИЯ в пластинке листа *Monstera*. В более молодой части листа (справа) будущие отверстия имеют вид вдавленностей на поверхности листовой пластинки. В более старой части (слева) участок отмершей ткани отрывается от края листовой пластинки с еще здоровыми клетками. (Микрофотография сделана с помощью сканирующего электронного микроскопа; увеличение  $\times 35$ .)



СЛЕДУЮЩАЯ СТАДИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ в листовой пластинке *Monstera*. Отмершая ткань отвалилась. Когда ткань между отверстием и краем листа разорвется, пластинка разделится на листочки. (Микрофотография сделана с помощью сканирующего электронного микроскопа; длина препарата 17 мм; увеличение  $\times 35$ .)



**ВЗРОСЛЫЙ ЛИСТ** у пальмы обычно имеет либо веерную (а), либо перистую форму (в). Прежде чем плотно сложенные листочки раскроются в лист (б), должны исчезнуть «вожжи» (выделены цветом) — тонкие полоски по краю пластинки, связывающие верхушки листочков.



**СКЛАДЧАТОСТЬ ЛИСТА** у пальм возникает, как считают, двумя альтернативными путями. Первый путь (слева) начинается (а) как «разрыв ткани» на верхней и нижней поверхностях пластинки листа; в этом случае эпидермис пластинки (черный) разделяется на несоединенные друг с другом части (б). По мере роста листовой пластинки (в) зоны мезофилла между верхней и нижней поверхностями существенно расширяются (выделены цветом) и каким-то образом частично восстанавливается эпидермис. При развитии по второму пути (справа) складчатость есть результат дифференцированного роста (а<sub>1</sub>, б<sub>1</sub>): первоначально складки получаются в процессе роста листовой пластинки вследствие ограниченности пространства в почке, а затем увеличиваются вверх и вниз; слой эпидермиса все время остается неповрежденным (выделен цветом) (в<sub>1</sub>). Автор и его коллеги, изучая электронные микрофотографии и тонкие срезы различных листьев пальм, пришли к выводу, что гипотеза «разрыва ткани» неверна.

и верхнего гребней складки этот процесс был не совсем одинаков, ни разу мы не обнаружили уменьшения числа клеток, т.е. признака прогрессирующего разрыва. В верхних гребнях число контактирующих клеток сначала увеличивалось, в нижних почти не менялось. Дальнейшие исследования также подтвердили гипотезу дифференцированного роста. Например, оказалось, что на складках слой эпидермальных клеток непрерывен по всей поверхности на всех стадиях развития. Никаких доказательств разрыва или редифференцировки эпидермиса ни на одной стадии мы не обнаружили. С перистыми и пальчатыми листьями получились по существу одинаковые результаты. Поэтому мы предполагаем, что независимо от морфологии пластинки наши выводы правильны для всех представителей семейства пальм вообще. Однако не был решен еще один спорный вопрос. Почему примордиальные складки листьев у некоторых видов пальм имеют такой вид, что наводят на мысль о разрыве ткани? Хотелось понять, какие силы влияют на форму уже заложившихся складок.

**В XIX в.** полагали, что в примордии листа пальмы складки образуются потому, что пространство внутри верхушечной почки ограничено. Такое мнение сложилось под впечатлением внешнего вида молодых листьев: в кроне пальмы они собраны в плотные складки. Можно ли считать, что связь между складчатостью и ограниченностью пространства, столь очевидная на поздних стадиях развития листа, существует и на той стадии, когда примордий листа еще крошечный, по существу микроскопический, и говорить о «скученности» трудно? Есть косвенные данные против такого предположения. Так, если рассматривать складчатость просто как результат недостатка места, логично было бы ожидать, что складчатой будет вся поверхность пластинки листа. Однако по краям пластинки складок никогда не бывает. Более того, при анализе отношения между пространством внутри влагалища более старого листа и формой и распределением складок на пластинке соседнего, более молодого листа, не обнаруживается никакой корреляции между доступным для роста пространством, с одной стороны, и конфигурацией и степенью складчатости — с другой.

Это не значит, однако, что ограниченность пространства в почке вообще не влияет на форму складок. У тех пальм, листья которых в почках плотно упакованы, наружная поверхность листа выглядит плоской и борозды складок напоминают щели. У пальм же, листья которых в почках упакованы менее плотно, складки заметно выступают, создавая впечатление, что

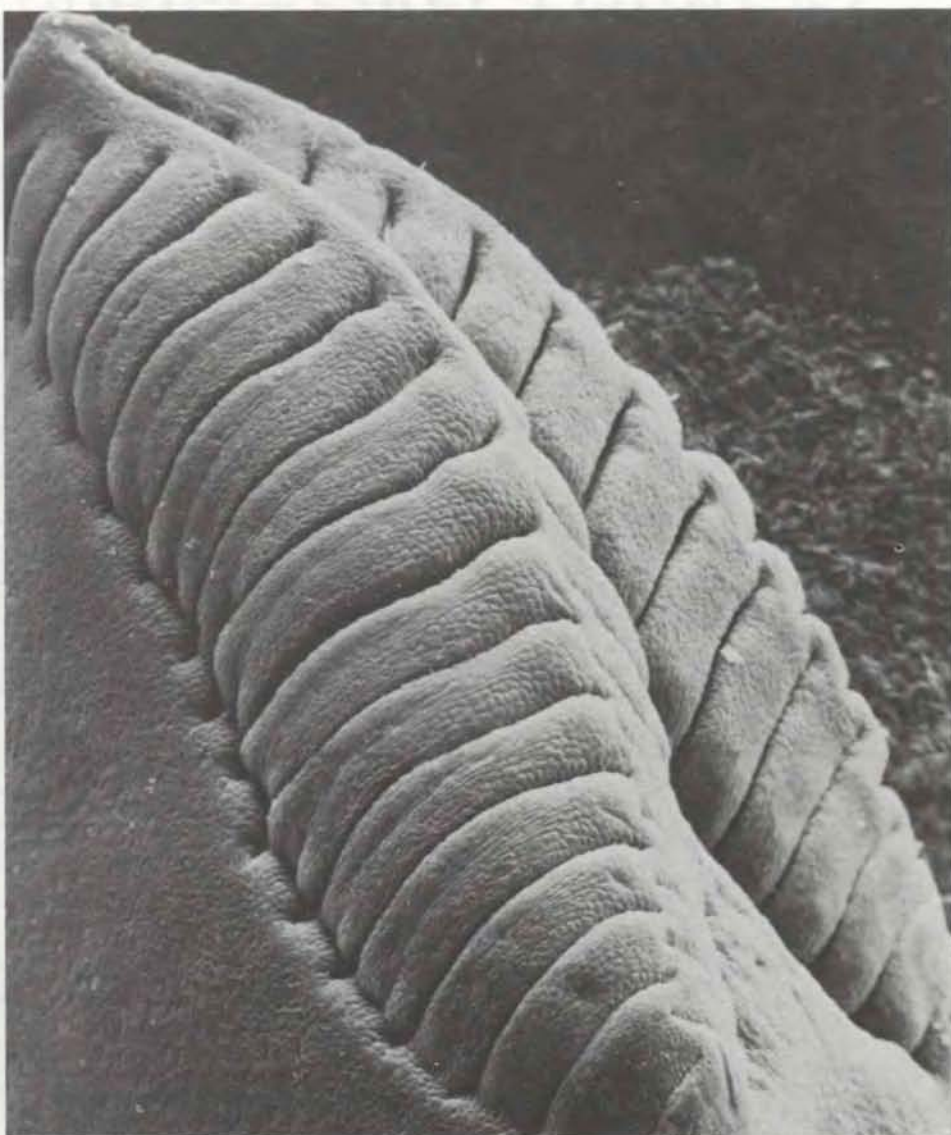
они возникли в результате изгибания листовой пластинки, а не разрыва ткани.

Выяснить роль «скупенности» в образовании складчатости листа можно было бы, вырастив отдельный листовый примордий на питательной среде, т.е. в условиях, когда пространство для роста не ограничено. По предварительным данным, можно выращивать *in vitro* такие примордии начиная с ранней стадии, когда их длина меньше 1 мм. Однако мы еще не провели строгого анализа их развития и не знаем, насколько оно сравнимо с ситуацией *in vivo*.

Наши исследования развития листа пальмы вдохновлялись предположением, что при рассечении пластинки листа на листочки имеет место уникальный в растительном царстве процесс — разрыв ткани. Однако эксперименты показали, что, в то время как причиной разрыва первичных сгибов листовой пластинки на отдельные сегменты действительно иногда является разъединение тканей, развитие складчатой листовой пластинки представляет собой всего лишь относительно несложный процесс — дифференцированный рост.

**В** СУЩНОСТИ за рассечение листа у пальм ответствен тот же морфогенетический процесс, что и у аронника *Zamioculcas*. Отличие лишь в том, что у аронника дифференцированный рост происходит вблизи свободного края листовой пластинки, а у пальм — во внутренней части поверхности пластинки на некотором расстоянии от ее края. Можно думать, что у пальм лист развивается так сложно потому, что листочки начинают образовываться внутри пластинки, а не по краю. С этой точки зрения своеобразие пальмам своеобразие развития листа представляется не таким уж аномальным.

Конечно, нельзя ограничиться одной лишь каталогизацией путей развития растений. Конечной задачей ботаника должно быть сопоставление такой информации с результатами исследований на молекулярном уровне. Некоторые молекулярные биологи полагают, что те системы регуляции, которые открыты у исследовавшихся на этот предмет растений, функционируют вообще у всех высших растений. Вовсе не обязательно, что это так. Вероятнее, что различия в путях развития, которые мы здесь рассмотрели, связаны с глубокими различиями в регуляторных системах на молекулярном уровне. Изучение морфогенеза ценно не само по себе, но в сочетании с информацией, полученной в других областях биологических исследований, — лишь такой подход дает надежду разобраться в механизмах роста и развития.



**ОБРАЗОВАНИЕ СКЛАДОК** на пластинке взрослого перистого листа пальмы из рода *Chamaedorea*. (Длина препарата 3 мм; электронная микрофотография сделана с увеличением  $\times 45$ .) Внутренние гребни станут средними жилками будущих листочков. На некоторых наружных гребнях видны углубления у центральной жилки листа. Разрыв ткани будет продолжаться вдоль них до тех пор, пока каждый листочек не отделится от соседнего (см. следующий рисунок).



**НАРУЖНЫЕ ГРЕБНИ** той же листовой пластинки, которая показана на предыдущем рисунке. Ясна связь между будущими половинками листочков и соответствующими им средними жилками.

# Частицы с обнаженной прелестью

Открыты частицы, в состав которых входит пятый кварк с «ароматом», известным под названием «прелесть».

В этих частицах «прелестный» кварк появляется в комбинации с антикварком другого аромата, так что «прелесть» новых составных частиц не скрыта

НАРИМАН Б. МИСТРИ, РОНАЛЬД А. ПОЛИНГ,  
ЭДВАРД Г. ТОРНДАЙК

**В** НАСТОЯЩЕЕ время фундаментальными «кирпичиками» материи считается небольшое число неделимых частиц, называемых кварками и лептонами. Окружающий нас мир почти полностью построен из лептонов одного типа — электронов ( $e^-$ ) и кварков двух видов  $u$  и  $d$  (от англ. *up* — вверх и *down* — вниз). Кварки обладают дробным электрическим зарядом и различаются между собой некоторым квантовым свойством, известным под названием «аромат» (от англ. *flavour*). Различные комбинации этих кварков образуют ядерные частицы: протон с составом  $uud$  и нейтрон  $udd$ .

Полное описание субатомных частиц, включая и те объекты, которые на мгновение образуются в ускорителях при столкновении частиц высоких энергий, потребовало введения большего числа фундаментальных составляющих материи. Обнаружено шесть видов лептонов, которые естественным образом разбиваются на пары, или, как говорят, на три дублета. До недавнего времени было надежно установлено существование четырех видов кварков, которые тоже образуют два дублета. В дополнение к кваркам  $u$  и  $d$ , входящим в состав обычного вещества, понадобилась пара кварков, наделенных особыми ароматами: странностью  $s$  (от англ. *strangeness*) и очарованием  $c$  (от англ. *charm*). В этой статье мы дадим обзор экспериментальных доказательств в пользу существования кварков пятого вида: кварка  $b$ , который наделен ароматом, называемым «прелесть» (иногда обозначение кварка  $b$  производят не от англ. *beauty* — красота, прелесть, а от *bottom* — низ).

Первые указания на существование прелестных кварков появились шесть лет назад в результате экспериментов, в которых пучок протонов высокой энергии направлялся на неподвижную мишень. Среди частиц, рожденных при такой «бомбардировке», были массивные частицы, состоящие, по-видимо-

му, из двух новых кварков —  $b$  и его антикварка  $\bar{b}$ . В таких частицах противоположные ароматы — «прелесть» и «антипрелесть» — взаимно компенсируются, так что получившаяся частица аромата не имеет. Другими словами, прелесть новых частиц скрыта.

В последние годы наша группа из Корнеллского университета использовала иной подход к изучению прелестных частиц. В наших экспериментах сталкиваются встречные пучки электронов и позитронов высоких энергий. Частицы вещества и антивещества аннигилируют, порождая всплеск электромагнитного излучения, из которого могут материализоваться новые частицы. Таким путем нам удалось создать частицы, в которых прелестный кварк  $b$  соединен с антикварком другого аромата. Прелесть таких частиц уже больше не скрыта — говорят, что она «обнажена». Наблюдение частиц «с обнаженной прелестью» может дать новую информацию о взаимодействиях фундаментальных частиц. Ожидается, что это открытие вновь повысит интерес к поискам еще одного кварка, необходимого для пополнения третьего кваркового дублета. Предсказанный, но все еще не обнаруженный шестой кварк  $t$  должен обладать новым ароматом, для которого уже заготовлено название «истина» (обозначение  $t$ -кварка производят от англ. *truth*, иногда используют другое английское слово *top* — верх). Прежде чем начать рассказ об открытии прелестного кварка, мы дадим более подробный обзор современных представлений о строении материи из кварков и лептонов.

**ТРИ ДУБЛЕТА** лептонов включают: электрон ( $e^-$ ) и его незаряженного партнера — электронное нейтрино ( $\nu_e$ ), мюон ( $\mu^-$ ) и соответствующее ему нейтрино ( $\nu_\mu$ ) и, наконец, тау-лептон ( $\tau^-$ ) и его нейтрино ( $\nu_\tau$ ). У каждого лептона есть античастица, так что в полный набор лептонов входят также позитрон ( $e^+$ ), положительно заряженный мюон ( $\mu^+$ ), тау-лептон ( $\tau^+$ ) и

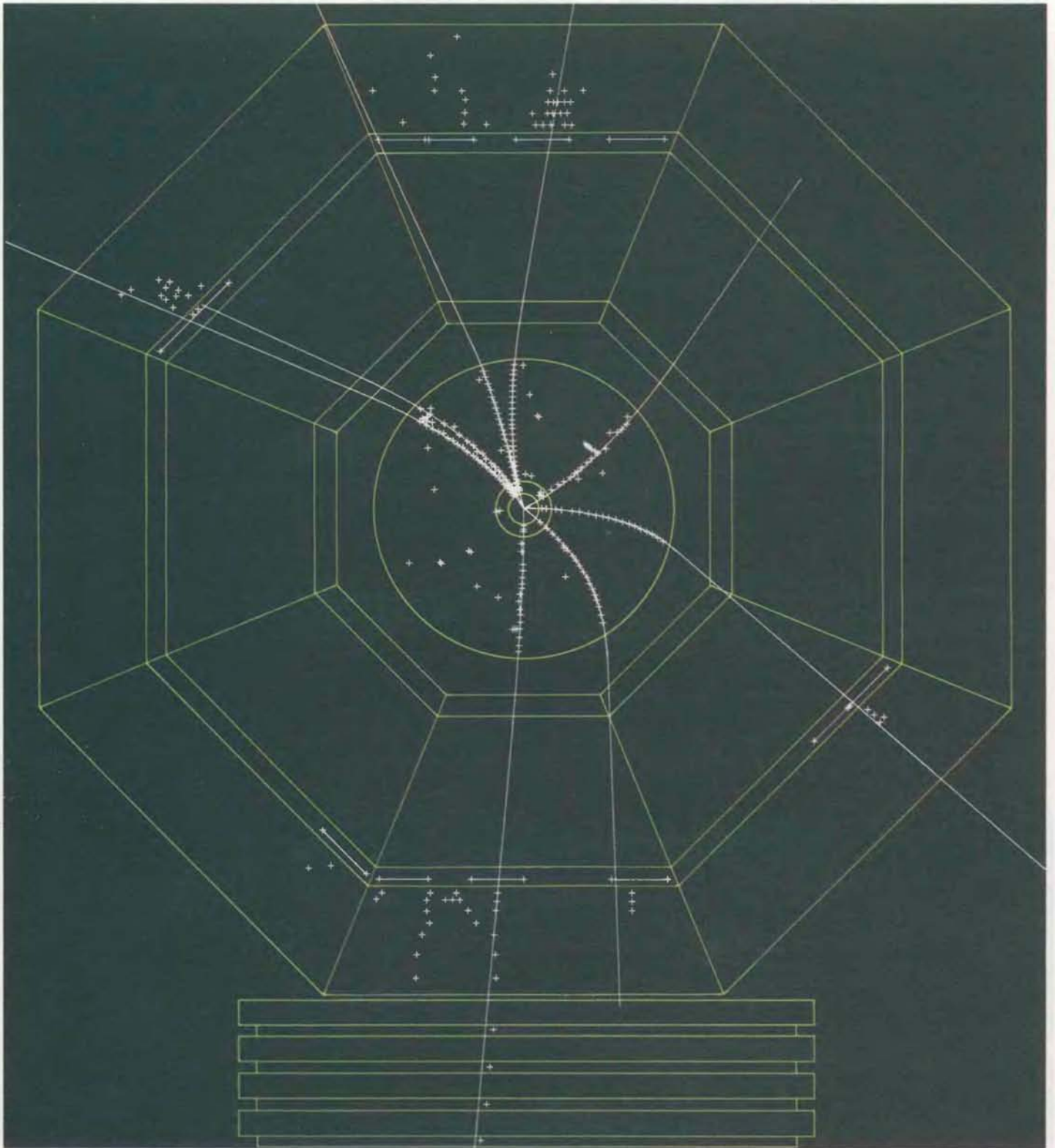
соответствующие им антинейтрино ( $\bar{\nu}_e$ ,  $\bar{\nu}_\mu$  и  $\bar{\nu}_\tau$ ). Лептоны чрезвычайно малы, не более  $10^{-15}$  см в диаметре; возможно, что они вообще являются точечными частицами, не имеющими внутренней структуры. Несмотря на то что все заряженные лептоны подобны по своим свойствам, их массы существенно различны: мюон в 206 раз тяжелее электрона, а тау-лептон тяжелее электрона почти в 3500 раз. Нейтрино очень легкие частицы, и не исключено, что они вообще не имеют массы.

В состав каждого из трех кварковых дублетов ( $u$  и  $d$ ,  $c$  и  $s$ ,  $b$  и  $t$ ) входит один кварк с зарядом  $+\frac{2}{3}$  и один кварк с зарядом  $-\frac{1}{3}$ . Кварки, как и лептоны, очень небольшие объекты; их обычно считают точечными частицами.

У каждого кварка имеется антикварк с противоположным зарядом и ароматом. Например,  $b$ -кварк имеет электрический заряд  $-\frac{1}{3}$  и несет единицу прелести (примем, что его прелесть равна  $-1$ ). Тогда антикварк  $\bar{b}$  будет иметь электрический заряд  $\frac{1}{3}$  и прелесть  $+1$ .

Итак, в общей сложности насчитывается 24 элементарных «кирпичика» материи, среди них — кварки, лептоны, антикварки и антилептоны. Однако замечательным является то обстоятельство, что свойства материи почти при любых условиях могут быть объяснены с помощью одного лептонного ( $e^-$  и  $\nu_e$ ) и одного кваркового ( $u$  и  $d$ ) дублетов. О трех членах этих дублетов, являющихся фундаментальными составляющими обычного вещества, мы уже говорили. Четвертая частица — электронное антинейтрино испускается веществом в процессах естественного радиоактивного распада.

Связанные в различные комбинации, кварки помимо протонов и нейтронов образуют множество других частиц. Существуют две возможные кварковые комбинации: группы из трех кварков, называемые барионами, и пары кварк — антикварк, образующие мезоны. Частицы, построенные из кварков, имеют общее название «адроны».



**ПРЕЛЕСТНЫЕ МЕЗОНЫ** — частицы, в состав которых входят два кварка, из которых лишь один обладает свойством, получившим название «прелесть». Прелестные мезоны дают начало множеству частиц, следы которых, реконструированные компьютером, показаны на рисунке белым цветом. Треки частиц начинаются в точке лобового столкновения электрона и позитрона. Сталкивающиеся частицы вещества и антивещества ускоряются в противоположных направлениях в круговой вакуумной камере корнеллского накопительного кольца (CESR). Столкновения происходят внутри детектора CLEO, одного из двух больших детекторов, установленных в точках пересечения встречных пучков. (Схема ускорителя и внешний вид детектора CLEO приведены на с. 71.) Аннигиляция электрона и позитрона инициирует всплеск электромагнитного излучения, из которого материализуется массивный нестабильный мезон  $Y''$ , состоящий

из прелестного кварка  $b$ , слабо связанного со своим антикварком  $\bar{b}$ . При последующем распаде  $Y''$  образуются два прелестных мезона  $B$  и  $\bar{B}$ . Они в свою очередь распадаются на разнообразные частицы. Прохождение электрически заряженных продуктов распада прелестных мезонов через разные части детектора фиксируется в виде множества «попаданий» (белые крестики). Проводя треки через точки «попаданий», компьютер автоматически определяет направление и импульс каждой частицы, а в некоторых случаях и устанавливает вид частицы. Например, трек, направленный вертикально вниз, принадлежит мюону с большой проникающей способностью, поскольку «попадания» были зарегистрированы в специальных камерах, расположенных снаружи вокруг детектора. Трек, направленный вертикально вверх, принадлежит, скорее всего, электрону.

Адроны не являются точечными частицами, хотя они тоже очень малы — их диаметр составляет примерно  $10^{-13}$  см; он больше диаметра лептонов, и в этом проявляется составная природа адронов. Кварки в свободном состоянии (изолированные кварки) пока не обнаружены. Это связано со свойствами сил, соединяющих их вместе в адронах. Физики изучают кварки, исследуя адроны. Известно более ста различных адронов, но большинство из них наблюдается только при столкновениях частиц, ускоренных до высоких энергий.

Во взаимодействиях кварков и лептонов важную роль играют три из четырех фундаментальных взаимодействий — сильное, слабое и электромагнитное. Четвертым взаимодействием, гравитационным, в мире кварков и лептонов можно пренебречь, хотя оно очень существенно в макромире. Согласно современным представлениям, взаимодействие двух частиц обусловлено обменом так называемыми калибровочными бозонами. В процессе обмена эти объекты ведут себя подобно частицам, однако их масса не определена однозначно, и они существуют очень короткое время.

Сильным взаимодействиям подвержены только кварки, и переносятся они калибровочными бозонами, называемыми глюонами (он англ. glue — клей). Электромагнитные силы действуют между любыми заряженными ча-

стицами и переносятся фотоном — безмассовым квантом электромагнитного излучения. В слабых взаимодействиях могут участвовать как кварки, так и лептоны. Эти взаимодействия переносятся калибровочными бозонами  $W^-$ ,  $W^+$  и  $Z^0$ , которые называют также промежуточными векторными бозонами. Сильное взаимодействие — самое интенсивное из всех фундаментальных сил; поэтому оно играет доминирующую роль в процессах с участием кварков и адронов, если по каким-либо причинам не подавлено. Слабые взаимодействия, наоборот, наименее интенсивны и при достижимых в настоящее время энергиях частиц могут играть заметную роль, лишь когда подавлены сильные и электромагнитные взаимодействия. Однако, чем выше энергия частиц, тем сильнее слабые взаимодействия, и при очень высоких энергиях они могут стать сравнимы с другими взаимодействиями.

**КАЛИБРОВОЧНЫЕ бозоны**, переносящие соответствующие взаимодействия, участвуют во всех процессах, где эти взаимодействия вносят вклад. Например, сильная связь между кварками  $d$  и  $u$ , образующими отрицательный пион (или мезон  $\pi^-$ ), возникает из-за обмена глюонами. Подобным образом электромагнитные силы, действующие между двумя электронами, обусловлены обменом фотонами. Существует и другой вид электромагнит-

ных взаимодействий, когда электрон и позитрон аннигилируют, порождая виртуальный фотон, который материализуется, превращаясь, например, в положительный и отрицательный мюоны. Слабые взаимодействия ответственные за такие процессы, как распад тау-лептона на тау-нейтрино и  $W^-$ -бозон;  $W^-$  распадается в свою очередь на отрицательный мюон и мюонное антинейтрино.

Тяжелые кварки и лептоны нестабильны и распадаются на более легкие кварки и лептоны. Распады кварков влекут за собой изменения ароматов. Глюоны и фотоны ароматов «не чувствуют» и не способны привести к таким изменениям. Поэтому распады кварков и лептонов относятся к процессам слабого взаимодействия. Например, странный кварк  $s$  при распаде испускает  $W^-$ -бозон и превращается в кварк  $u$ . В свою очередь  $W^-$ -бозон может превратиться в различные пары частиц, такие, как электрон и электронное антинейтрино. Можно было бы ожидать существования распада  $s$ -кварка на  $d$ -кварк и нейтральный промежуточный  $Z^0$ -бозон, который затем распадается на электрон и позитрон. Однако тщательное исследование показывает, что такие процессы с участием  $Z^0$ -бозона не происходят.

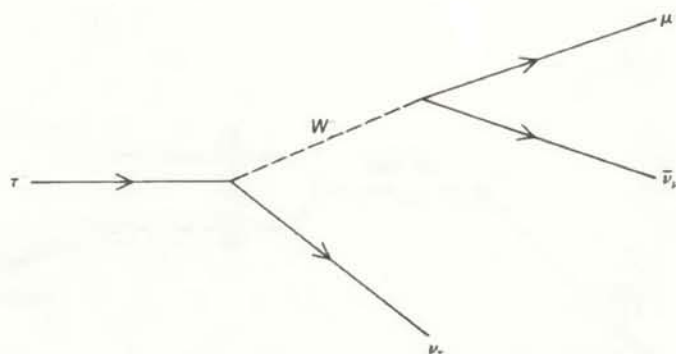
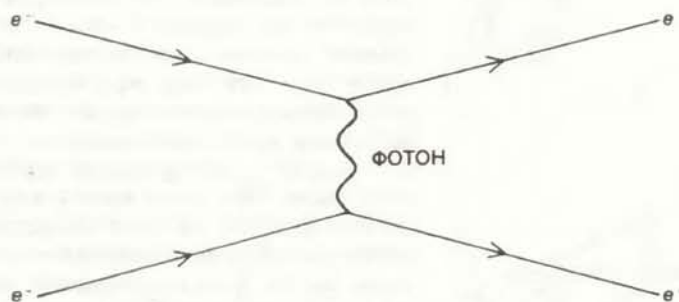
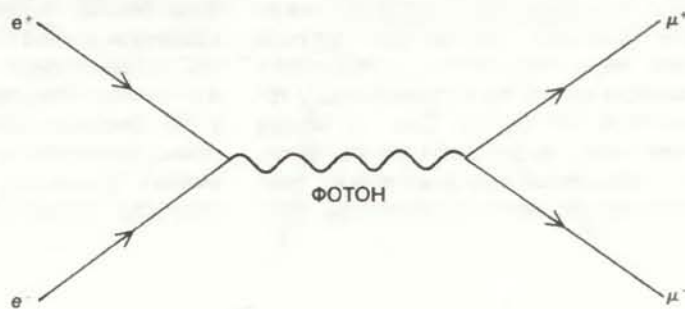
Этот экспериментальный факт необходимо было учесть при построении теории, что привело к гипотезе, согласно которой у странного кварка  $s$  с зарядом  $-1/3$  должен быть партнер по дублету — новый кварк с зарядом  $+1/3$  и ароматом, который назвали «очарованием». Наличие такого кваркового дублета исключает вероятность распада странного кварка на «нестранный» кварк и нейтральный  $Z^0$ -бозон. Существование  $s$ -кварка было предсказано почти 20 лет назад — за 10 лет до драматического открытия пси-частиц ( $\psi$ ), построенных из очарованного кварка  $c$  и его антикварка  $\bar{c}$  (см. Sidney D. Drell. Electron-Positron Annihilation and the New Particles, "Scientific American", June, 1975). Этот механизм подавления определенных процессов с изменением странности можно обобщить и на частицы с другими ароматами. В частности, если  $b$ -кварк находится в одном дублете с  $t$ -кварком, то запрещены процессы, в которых участвует  $Z^0$ -бозон, и одновременно изменяется прелесть частицы. Однако если  $t$ -кварк в природе не существует, то такие процессы возможны.

| ЗАРЯД | ЛЕПТОННЫЕ ДУБЛЕТЫ        |            | АНТИЛЕПТОННЫЕ ДУБЛЕТЫ    | ЗАРЯД |
|-------|--------------------------|------------|--------------------------|-------|
| 0     | ЭЛЕКТРОННОЕ НЕЙТРИНО     | $\nu_e$    | ЭЛЕКТРОННОЕ АНТИНЕЙТРИНО | 0     |
| -1    | ЭЛЕКТРОН                 | $e^-$      | ПОЗИТРОН                 | +1    |
| 0     | МЮОННОЕ НЕЙТРИНО         | $\nu_\mu$  | МЮОННОЕ АНТИНЕЙТРИНО     | 0     |
| -1    | ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ МЮОН       | $\mu^-$    | ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ МЮОН       | +1    |
| 0     | ТАУ-НЕЙТРИНО             | $\nu_\tau$ | ТАУ-АНТИНЕЙТРИНО         | 0     |
| -1    | ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ ТАУ-ЛЕПТОН | $\tau^-$   | ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ ТАУ-ЛЕПТОН | +1    |

| ЗАРЯД  | КВАРКОВЫЕ ДУБЛЕТЫ |     | АНТИКВАРКОВЫЕ ДУБЛЕТЫ | ЗАРЯД  |
|--------|-------------------|-----|-----------------------|--------|
| $+2/3$ | КВАРК $u$         | $u$ | АНТИКВАРК $\bar{u}$   | $-2/3$ |
| $-1/3$ | КВАРК $d$         | $d$ | АНТИКВАРК $\bar{d}$   | $+1/3$ |
| $+2/3$ | ОЧАРОВАННЫЙ КВАРК | $c$ | ОЧАРОВАННЫЙ АНТИКВАРК | $-2/3$ |
| $-1/3$ | СТРАННЫЙ КВАРК    | $s$ | СТРАННЫЙ АНТИКВАРК    | $+1/3$ |
| $+2/3$ | КВАРК $t$         | $t$ | АНТИКВАРК $\bar{t}$   | $-2/3$ |
| $-1/3$ | ПРЕЛЕСТНЫЙ КВАРК  | $b$ | ПРЕЛЕСТНЫЙ АНТИКВАРК  | $+1/3$ |

**ЛЕПТОНЫ И КВАРКИ** — два класса неделимых точечных частиц, которые считаются первичными «кирпичиками» материи. Они естественным образом разбиваются на пары, называемые дублетами. Лептоны, имеющие целочисленные заряды ( $-1$ ,  $+1$  или  $0$ ), наблюдались экспериментально. Кварки, частицы с дробным зарядом, в изолированном состоянии не наблюдались. По-видимому, они существуют лишь как составляющие сложных частиц, называемых адронами. У каждого лептона и кварка имеется соответствующий антилептон или антикварк с такой же массой, но противоположными зарядом и ароматом.

**ПОСЛЕ** открытия в 1974 г. очарованного кварка казалось, что описание материи с помощью кварков и лептонов поставлено на прочную основу. Известные к тому времени два лептонных и два кварковых дублета хорошо описывали все открытые частицы, и не было никаких серьезных аргументов в



ТРИ СИЛЫ, играющие важную роль во взаимодействиях субатомных частиц, возникают из-за обмена промежуточными частицами, называемыми калибровочными бозонами. На диаграммах, показывающих действие этих сил, ось времени направлена слева направо. Глюон — калибровочный бозон сильных взаимодействий — соединяет кварки в адронах. В нашем случае кварки  $d$  и  $\bar{u}$ , образующие отрицательный пион (или  $\pi^-$ -мезон), прочно связаны вследствие многократного обмена глюоном (диаграмма вверху слева). Фотон — безмассовый квант электромагнитного излучения — служит переносчиком электромагнитных сил. Например, когда два электрона сближаются, они взаимо-

действуют посредством обмена фотоном (диаграмма внизу слева). Другой вид электромагнитного взаимодействия — аннигиляция электрона и позитрона с образованием фотона, который материализуется в новые частицы, например в пару мюон — антимюон (диаграмма вверху справа). Лептоны и кварки распадаются вследствие слабых взаимодействий. Так, отрицательный тау-лептон при распаде превращается в тау-нейтрино, испуская промежуточный векторный бозон  $W^-$ . Для  $W^-$ -бозона — одного из трех переносчиков слабых взаимодействий — существует несколько способов распада, например на отрицательный мюон и мюонное антинейтрино (диаграмма внизу справа).

пользу существования других кварков и лептонов. Однако в 1975 г. был открыт тау-лептон (см. Martin L. Perl, William T. Kirk. Heavy Leptons, "Scientific American", March, 1978). Это привело к предположению о том, что могут существовать и другие кварки. Действительно, история открытия кварков  $c$  и  $b$  имеет много общего.

Первые указания на существование  $b$ -кварков были получены в результате экспериментов 1977 г., проведенных в Национальной ускорительной лаборатории им. Э. Ферми. Группу физиков возглавлял Л. Ледерман, работавший тогда в Колумбийском университете. Медную мишень бомбардировали пучком протонов с энергией 400 млрд. электронвольт (ГэВ) и изучали мюоны, рожденные в столкновениях. Когда экспериментаторы зарегистрировали пару противоположно заряженных мюонов, было высказано предположение, что они образовались в результате распада новой частицы, родившейся при соударениях протонов с мишенью. Измеряя импульс и направление вылета каждого мюона, удалось выделить массу новой частицы. В распределении масс мюонной пары присутствовал широкий пик при 10 ГэВ, указывающий на рождение новой частицы, названной ипсилон-частицей ( $Y$ ). Ледерман и его коллеги объяснили форму по-

лученного пика в распределении масс тем, что на самом деле наблюдаются два или более (вероятнее всего, три) узких пика, наложившихся друг на друга из-за недостаточной разрешающей способности аппаратуры (см. Leon M. Lederman. The Upsilon Particle, "Scientific American", October, 1978 \*).

Распад новой частицы происходит вследствие электромагнитных взаимодействий. Если бы в распаде ипсилон-частицы участвовали в полной мере и сильные взаимодействия, то на этом фоне электромагнитный распад  $Y$  на пару  $\mu^+ \mu^-$  был бы не заметен. Тот факт, что этот процесс удалось зарегистрировать, означает, что распад ипсилон-частицы с участием сильных взаимодействий каким-то образом подавлен. Это легко объяснить, если ипсилон-частица действительно является мезоном, построенным из новых кварков  $b$  и  $\bar{b}$ . Если бы кварки  $b$  и  $\bar{b}$ , образующие мезон, обладали достаточной энергией, они могли бы разлететься, в результате чего родилась бы новая пара кварк — антикварк, например  $u\bar{u}$ . При участии образовавшихся кварков могут возникнуть прелестные мезоны, например  $B^- (\bar{u}b)$  и  $B^+ (u\bar{b})$ .

\* Имеется перевод: Успехи физических наук, 1979, т. 128, вып. 4, с. 693—711. — Прим. перев.

Такой процесс происходит вследствие сильных взаимодействий и не должен быть подавлен, если он разрешен законом сохранения энергии. Тот факт, что он не наблюдался, означает, что запас энергии кварков слишком мал, чтобы такой процесс имел место. Другими словами, масса ипсилон-частицы меньше суммы масс двух прелестных мезонов. Альтернативой распаду с участием сильного взаимодействия является аннигиляция кварков  $b$  и  $\bar{b}$  с последующим рождением адронов. Однако известно, что аннигиляция этого типа, хотя она и происходит вследствие сильного взаимодействия между частицами, должна быть подавлена. Поэтому важную роль начинает играть электромагнитный распад. В электромагнитном процессе кварки  $b$  и  $\bar{b}$  аннигилируют, образуя виртуальный фотон, который затем материализуется в мюонную пару  $\mu^+ \mu^-$ .

ТОТ ФАКТ, что распады с участием сильных взаимодействий подавлены, должен отразиться на времени жизни ипсилон-частиц: оно должно быть больше характерного времени жизни адронов  $10^{-23}$  с. Временные интервалы такого порядка слишком коротки, чтобы их можно было измерить непосредственно. Они определяются по соотношению между временем жизни ча-

стицы и точностью, с которой может быть измерена ее масса. Если частица живет бесконечно долго, то ее масса в принципе может быть определена с абсолютной точностью. Если же время жизни мало, то значения массы частицы, получаемые при измерениях, распределены по некоторому закону. Ши-

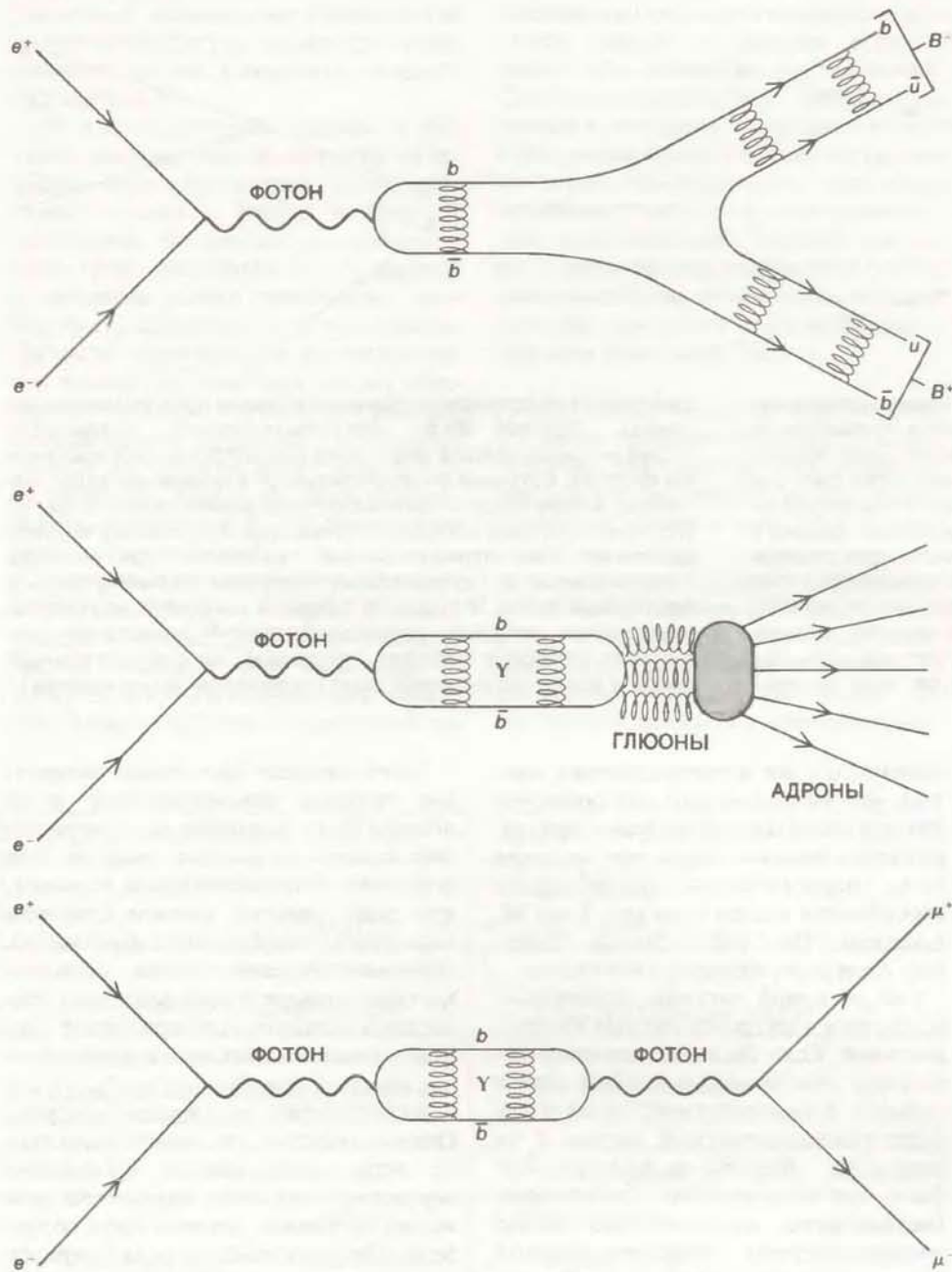
рина этого распределения связана с временем жизни частицы. Для адронов, распадающихся вследствие сильных взаимодействий, характерная ширина распределения значений массы равна примерно 0,15 ГэВ. В экспериментах Ледермана разрешающая способность аппаратуры была недоста-

точно для того, чтобы измерить ширину распределения значений массы ипсилон-частицы. Для таких измерений нужны были другие методы и иная техника.

Методы, позволившие открыть ипсилон-частицы, были не очень приспособлены для детального изучения их свойств. При столкновении ядер с протонами ипсилон-частицы рождаются редко, а когда это происходит, их сопровождает множество других частиц, родившихся в тех же столкновениях. Это и затрудняет исследование нужных процессов. Большие возможности для изучения ипсилон-частиц (или вообще  $b$ -кварков) представляют встречные электрон-позитронные пучки. Иногда сталкивающиеся электроны и позитроны аннигилируют и образуют фотоны, которые материализуются в кварк-антикварковые пары, такие, как  $b\bar{b}$ . В том случае, когда энергия электрона и позитрона в сумме равна массе ипсилон-частицы, резко возрастает вероятность образования пары кварков  $b$  и  $\bar{b}$ , которые, соединившись, дают ипсилон-частицу. Поскольку ипсилон-частицы распадаются преимущественно на адроны, техника проведения экспериментов сводилась к измерению вероятности рождения адронов при изменении энергии сталкивающихся электрон-позитронных пучков. Такой метод применялся ранее на электрон-позитронном накопительном кольце SPEAR — установке, принадлежащей Станфордскому ускорительному центру SLAC (Stanford Linear Accelerator Center), где были открыты пси-мезоны.

В 1978 г. на электрон-позитронном накопительном кольце DORIS при организации DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron) в Гамбурге был выполнен эксперимент по поиску ипсилон-частиц. Вероятность рождения адронов как функция энергии столкновения электронов и позитронов имела два узких пика при энергии примерно 10 ГэВ, что подтвердило предшествовавшие указания на наличие двух или более различных ипсилон-частиц. Однако на установке DORIS невозможно было достичь области энергий, где лежит третье состояние ипсилон-частиц — оно было за пределами ее досягаемости, так же как и все состояния системы  $b\bar{b}$ , в которой кварки  $b$  и  $\bar{b}$  не сильно связаны между собой.

Наступил решающий момент, когда надо было установить, действительно ли имеются третье связанное состояние  $b\bar{b}$  и — при несколько большей энергии — еще один «резонанс», в котором кварки связаны настолько слабо, что могут разлететься, образовав в конечном итоге прелестные мезоны. Основываясь на данных, полученных при анализе системы очарованных кварков  $c\bar{c}$  (т.е. пси-частиц), теоретики



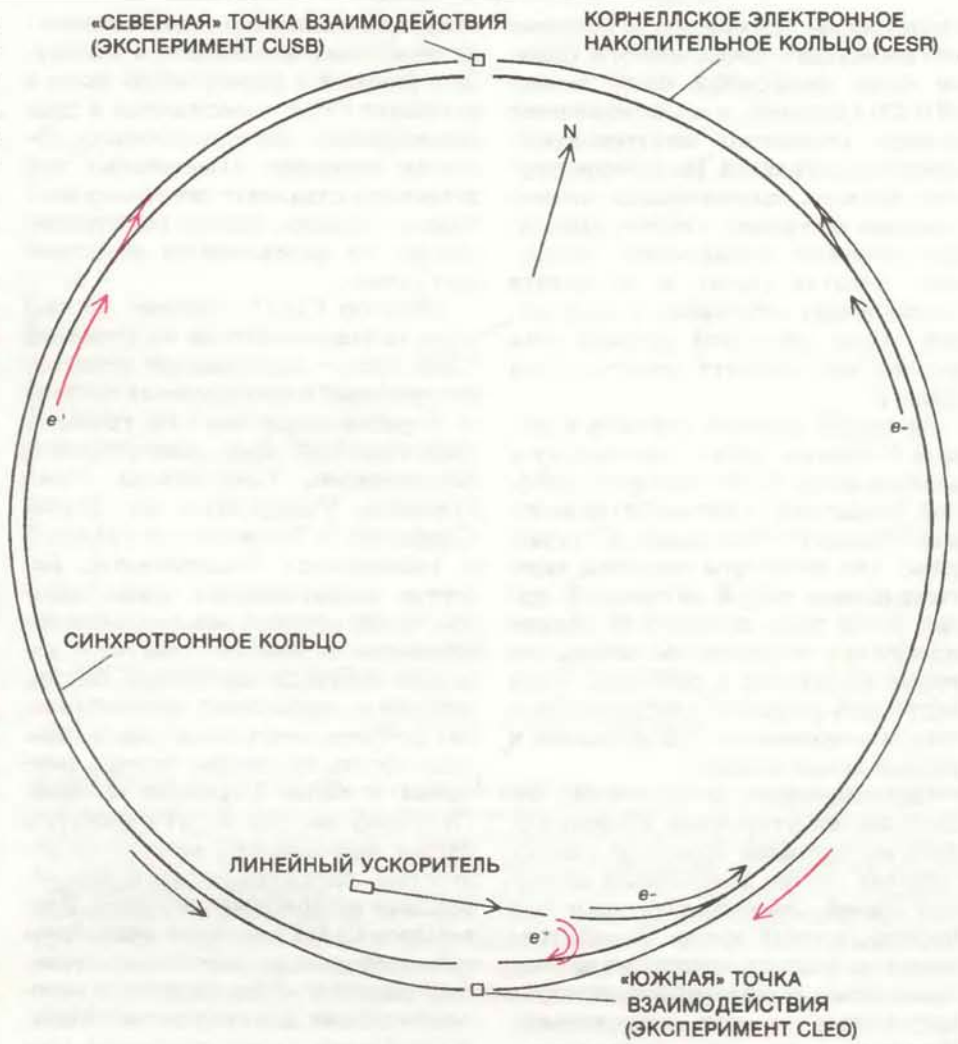
**ПРЕЛЕСТНЫЕ КВАРКИ РОЖДАЮТСЯ** в столкновениях электронов и позитронов, когда фотон, образующийся в результате их аннигиляции, материализуется в пару кварков  $b\bar{b}$ . Если энергия столкновения достаточна, то может появиться в дополнительной пара кварк — антикварк. Тогда кварки  $b$  и  $\bar{b}$  могут появиться в комбинации с другими кварками в виде прелестных мезонов (*диаграмма вверху*). При более низких энергиях, когда  $B$ -мезоны не могут родиться, пара  $b\bar{b}$  появляется в связанном состоянии как  $Y$ -мезон. Поскольку кварки не могут быть отделены друг от друга, они аннигилируют двумя возможными способами. Аннигиляция первого вида происходит вследствие сильных взаимодействий с испусканием глюонов. Глюоны в свою очередь превращаются в адроны, которые могут быть зарегистрированы в конечных продуктах распада (*средняя диаграмма*). Этот процесс пока не очень понятен. Такой процесс, хотя он и происходит из-за сильных взаимодействий, подавлен по сравнению с электромагнитными распадами. Аннигиляция пары  $b\bar{b}$  может идти также с образованием фотона, который может превратиться, например, в мюон-антимюонную пару (*диаграмма внизу*).



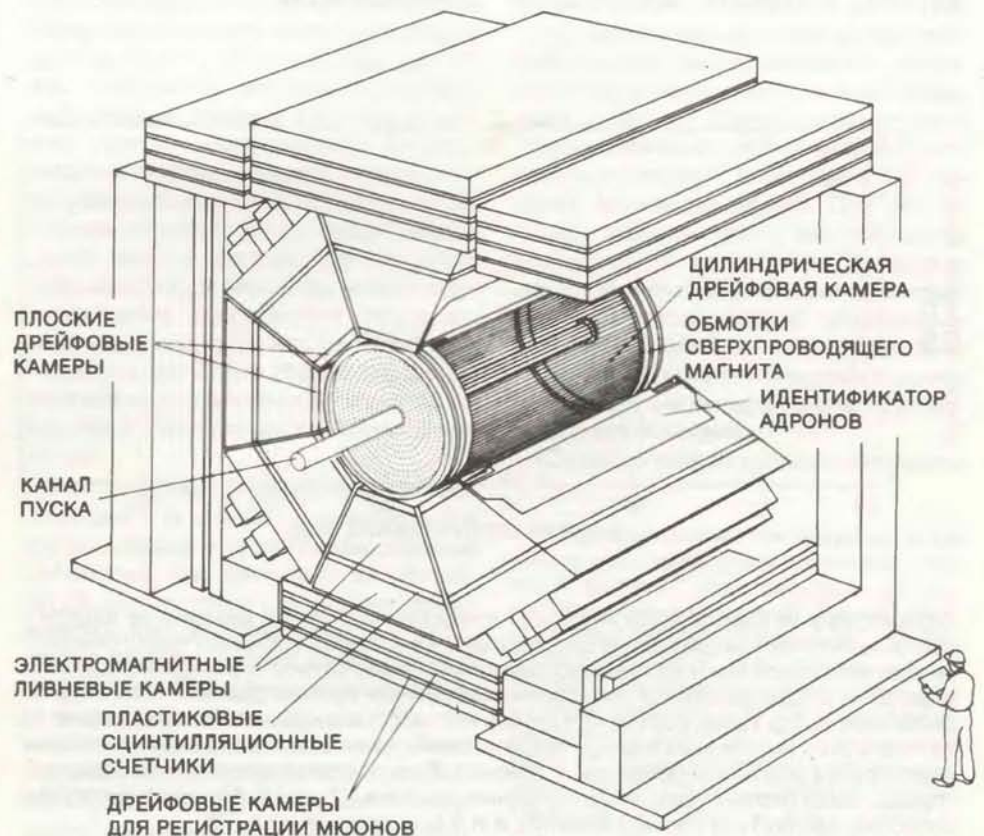
уже предсказали энергетические уровни системы прелестных кварков  $bb$ . Теперь экспериментаторы должны были подтвердить или опровергнуть теоретические расчеты и изучить поведение  $b$ -кварков при взаимодействиях и распадах.

В это время среди физиков, занятых подготовкой к пуску корнеллского электронного накопительного кольца CESR (Cornell Electron Storage Ring), царило возбуждение. Эта установка, построенная под руководством Б. Мак-Даниэла и М. Тигнера, была спроектирована еще в 1975 г., т.е. до открытия ипсилон-частиц. Оказалось, что энергия системы ипсилон-частиц находится как раз посередине области энергий, запланированных для CESR. И поскольку установка CESR вступила в строй в апреле 1979 г., на ней была проделана основная доля работ по изучению  $b$ -кварка.

**В** УСТАНОВКЕ CESR по кольцу с окружностью 768 м движутся в противоположных направлениях сгустки электронов, содержащий  $10^{11}$  частиц, и почти такой же сгусток позитронов. Эти сгустки вращаются в тороидальной вакуумной камере, где поддерживается давление около  $10^{-8}$  торр (примерно в  $10^{11}$  раз меньше атмосферного давления). Система направляющих и фокусирующих магнитов заставляет частицы двигаться по кругу в вакуумной камере и поддерживает размеры и форму сгустков. К пучкам постоянно подводится энергия для компенсации потерь на излучение. Поскольку плотность электронов и позитронов в сгустках сравнительно мала, лобовых



УСТАНОВКА, на которой были открыты прелестные мезоны. Масштабы двух рисунков различны. На верхнем приведен общий план ускорителя CESR. Электроны и позитроны сначала ускоряются в линейном ускорителе, а затем — в синхротронном кольце; после этого они инжектируются в накопительное кольцо. Частицы собираются в отдельные «сгустки», которые вращаются в кольце в противоположных направлениях. Пути сгустков пересекаются в двух противоположных точках, где происходят взаимодействия и где установлены детекторы, с помощью которых изучаются продукты электрон-позитронной аннигиляции. На нижнем рисунке дано трехмерное изображение детектора CLEO. Сверхпроводящий соленоидальный магнит создает сильное магнитное поле в центральной цилиндрической камере детектора. По кривизне траектории частиц в этой камере измеряется их импульс. Другие чувствительные устройства смонтированы в восьми одинаковых модулях, окружающих центральную область магнитного поля, а также в нескольких удаленных частях установки.



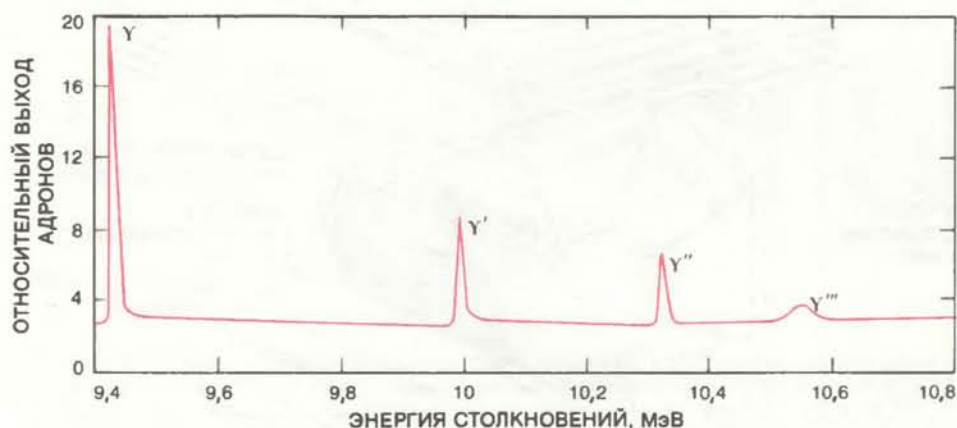
столкновений при каждом их пересечении происходит совсем немного. Однако число пересечений очень велико (400 000 в секунду), и это обеспечивает нужное количество электрон-позитронных аннигиляций. На научном жаргоне физиков, занимающихся элементарными частицами, такие столкновения называют «событиями». Адронные события (когда в результате столкновений электронов и позитронов среди продуктов реакции есть адроны) наблюдаются несколько раз в минуту.

Детальное изучение рождения и распада  $b$ -кварков требует наблюдения и анализа сотен тысяч адронных событий. Вероятность таких событий мала, и экспериментаторы должны быть уверены, что детекторы способны зарегистрировать любой интересный случай. Более того, детектор не должен пропустить то множество частиц, которые рождаются в событии, — они могут дать решающую информацию о том, что произошло при рождении и распаде новых мезонов.

Проектирование и сооружение систем для детектирования и последующего исследования продуктов взаимодействий частиц потребовали огромных усилий. Экспериментаторам был брошен грозный вызов. В событиях может родиться множество частиц, заряженных и нейтральных, которые выпускаются во всех направлениях. Кроме того, поскольку интересные с точки зрения исследователей события происходят очень редко, нужно было добиться высокой эффективности регистрации частиц. Детекторы должны измерить и записать параметры ча-

стиц, проходящих через них в количестве нескольких миллиардов в секунду. Электронный и позитронный пучки в установке CESR пересекаются в двух диаметрально противоположных областях установки. Помещенные там детекторы отражают два разных подхода к созданию систем регистрации частиц для экспериментов на встречных пучках.

Детектор CLEO занимает южную область взаимодействий на установке CESR. Это — многоцелевой детектор, построенный и используемый группой из 75 физиков (включая и нас троих) — представителей семи университетов: Корнеллского, Гарвардского, Рочестерского, Университета шт. Огайо, Сиракузского, Университета Ратджерса и Университета Вандербильта. Детектор проектировался таким образом, чтобы получать максимальную информацию о каждом событии — измерять импульсы заряженных частиц, энергию и направление распространения фотонов, идентифицировать такие виды частиц, как пионы, мюоны, электроны и каоны (странные мезоны). Поскольку частицы могут вылетать в разных направлениях, желательно полностью окружить область взаимодействия аппаратурой детектора. В результате CLEO получился очень большим прибором; он занимает пространство длиной 6 м, шириной 8 м и высотой 9 м. Весит детектор почти 1,5 млн. кг (1500 тонн). Тысячи измерений, проводимых в различных частях детектора, тщательно анализируются компьютером. Это дает возможность ясно представить, что происходит в каждом данном событии.



СЕМЕЙСТВО ИПСИЛОН-РЕЗОНАНСОВ представляет собой различные дискретные энергетические состояния системы из  $b$  и  $\bar{b}$ -кварков. Каждому члену семейства соответствуют пики на графике зависимости вероятности рождения адронов от энергии сталкивающихся электрон-позитронных пучков. Данные получены на детекторе CLEO. Пики, соответствующие  $Y$ ,  $Y'$  и  $Y''$ , очень узкие. Это указывает на то, что в этих резонансах кварки связаны очень прочно, а сами резонансы лежат ниже порога рождения прелестных мезонов. Пик, соответствующий резонансу  $Y'''$ , гораздо шире первых трех; следовательно, система  $Y'''$  имеет большую энергию и способна распасться на пару мезонов  $B$  и  $\bar{B}$  (см. рисунок на с. 73).

СЕРДЦЕМ детектора CLEO является сверхпроводящий соленоидальный магнит длиной 3 м и радиусом 1 м. Внутри магнита находится цилиндрический детектор, называемый дрейфовой камерой; с ее помощью можно проследить за движением частиц, рожденных в столкновениях. Экспериментаторы получают информацию о 17 разных положениях частицы в камере, что позволяет восстановить ее траекторию. Импульс частицы определяют по кривизне ее пути в магнитном поле. Процесс детектирования частицы и восстановления ее траектории является основным в работе детектора CLEO.

Вне соленоида расположены те части детектора, которые служат для идентификации различных видов заряженных частиц. Там расположены пластиковые сцинтилляционные счетчики, испускающие короткий световой импульс при пролете заряженных частиц через них. Точное измерение момента вспышки и информация о моменте пересечения встречных пучков позволяют определить время, за которое частица прошла путь от области столкновения до счетчика. Отсюда находится скорость частицы. Измерение скорости вместе с измерением импульса частицы в центральной дрейфовой камере позволяет найти ее массу. Таким способом различают протоны, пионы и каоны.

В первоначальной конструкции детектора CLEO для измерения скорости частиц применялись черенковские счетчики. Такие счетчики регистрируют свет, испускаемый при прохождении частицы, скорость которой больше скорости света в газе, заполняющем счетчик. (Частица при этом напоминает самолет, преодолевающий звуковой барьер.) Черенковские счетчики удобны для идентификации электронов. Сейчас они заменены газовыми детекторами, измеряющими ту долю энергии, которая теряется каждой заряженной частицей при прохождении через газ. Эта информация и данные об импульсе частицы позволяют определить скорость и, следовательно, массу частицы. Таким методом можно независимо идентифицировать протоны, пионы, каоны и электроны.

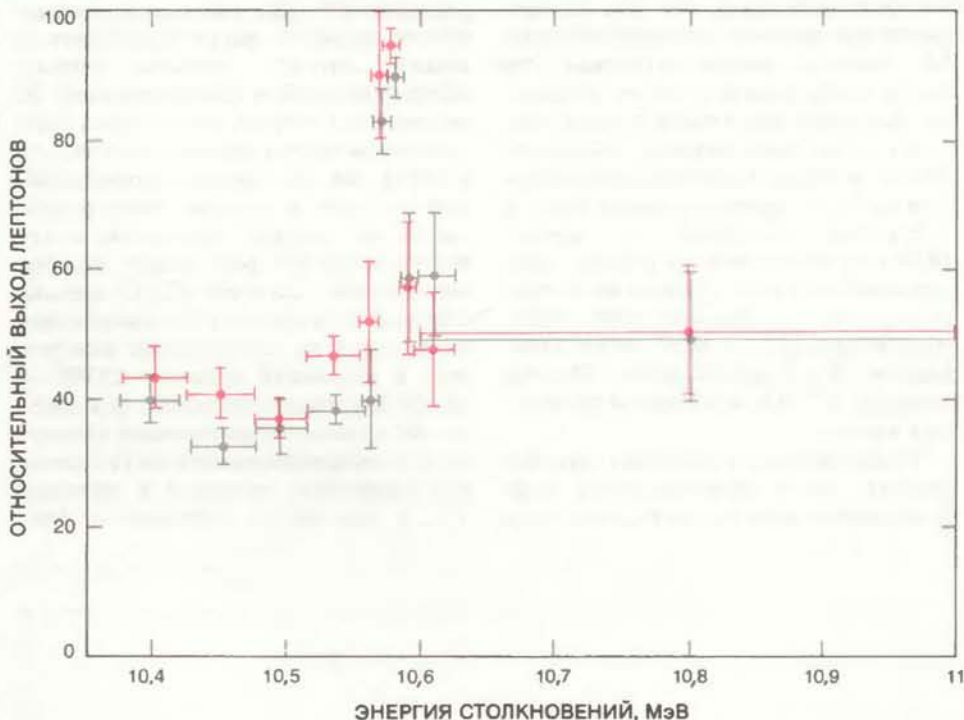
Появление электронов подтверждается также с помощью измерений, проводимых в другой части детектора. Когда электрон проходит через вещество, он теряет энергию на процесс образования «электромагнитного ливня». Процесс начинается с того, что быстрый электрон отклоняется ядром и испускает при этом фотон с большой энергией. Когда фотон проходит вблизи другого ядра, он превращается в электрон-позитронную пару. В свою очередь электрон и позитрон испускают фотоны, и процесс продолжается. Родается ливень вторичных электронов, позитронов и фотонов; процесс

длится до тех пор, пока вся энергия первоначального электрона не будет поглощена. Электромагнитный ливневый детектор в CLEO состоит из чередующихся слоев свинца (создающего среду для рождения ливней) и детекторов заряженных частиц (предназначенных для сравнения энергии и протяженности ливня в процессе его развития). Для идентификации электронов анализируется форма и энергия ливней, связанных с треками, исходящими из точки, где происходят столкновения. Ливни, не связанные с определенными треками, вызваны фотонами.

Детектирование мюонов основано на их способности проникать сквозь толстые слои вещества. Адрон, пролетающий через вещество, скорей всего, вступит с ним в сильное взаимодействие; электрон, как уже говорилось, станет инициатором электромагнитного ливня. Что касается мюона, то он теряет свою энергию очень медленно и может двигаться в толще вещества, практически не останавливаясь. Чтобы использовать это свойство мюонов, детектор CLEO окружили стальным поглотителем почти метровой толщины. Снаружи он покрыт плоскими дрейфовыми камерами, которые регистрируют все заряженные частицы, выходящие из поглотителя. Заряженные частицы, которые смогли пройти сквозь слой стали, отождествляются с мюонами.

Второй детектор (CUSB) расположен в северной части установки CESR. Это специализированный детектор для регистрации фотонов, обладающий высокой разрешающей способностью. В его создании принимала участие группа физиков из Колумбийского университета, Университета шт. Луизиана, Нью-Йоркского университета в Стоуни-Брук, а также из Института физики и астрофизики Макса Планка в Мюнхене. Главная часть CUSB — набор ливневых детекторов, состоящих из кристаллов иодида натрия. С помощью таких детекторов можно очень точно определять энергию фотонов. Детектор CUSB приспособлен в первую очередь для измерения энергии фотонов в диапазоне, характерном для переходов между различными состояниями семейства ипсилон-частиц. Кроме того, фотонный детектор CUSB служит для идентификации электронных ливней. Вблизи области, где происходят столкновения электронов и позитронов, CUSB имеет трековые камеры, регистрирующие заряженные частицы. Части детектора окружены стальными поглотителями и счетчиками, регистрирующими мюоны.

**ИЗУЧЕНИЕ** физических свойств  $b$ -кварков на установке CESR началось в конце 1979 г. На обоих детекторах (CLEO и CUSB) были быстро заре-



**БОЛЕЕ ЧЕТКИЕ УКАЗАНИЯ** на рождение прелестных мезонов в распадах  $Y''$  имеются на графике вероятности рождения лептонов как функции энергии столкновения электронов и позитронов. Резкое возрастание выхода электронов (черные обозначения) и мюонов (цветные изображения) происходит при энергии, эквивалентной массе резонанса  $Y''$ . Среди продуктов такого «полулептонного» распада резонанса  $Y''$  есть объекты, которые в свою очередь распадаются на лептон и другие частицы. Этот процесс свидетельствует о том, что распад  $Y''$  происходит вследствие слабых взаимодействий, и подтверждает, что действительно образуется пара мезонов  $B\bar{B}$ . Наряду с экспериментальными точками на графике представлены погрешности измерений.

гистрированы ипсилон-частицы  $Y$ ,  $Y'$  и  $Y''$  путем измерения вероятности рождения адронов как функции энергии. Три ипсилон-резонанса проявились как узкие пики соответственно при энергиях 9,46, 10,02 и 10,32 ГэВ. Частица  $Y''$  как отдельный резонанс отчетливо наблюдалась впервые. Об этом открытии ученые, занимающиеся физикой высоких энергий, узнали из нашей рождественской открытки. С тех пор обработано несколько сотен тысяч наблюдений ипсилон-частиц. Зарегистрированы некоторые переходы между энергетическими состояниями этого семейства, и по мере того, как будут наблюдаться все более редкие переходы, картина энергетических уровней системы будет становиться все более отчетливой.

Поскольку ипсилон-частицы состоят из кварка  $b$  (с ароматом «прелесть») и его антикварка  $\bar{b}$  (с противоположным ароматом), они ароматом не обладают. В соответствии с этим принято говорить, что у ипсилон-частиц «прелесть» скрыта. Распад таких адронов происходит вследствие аннигиляции  $b$ - и  $\bar{b}$ -кварков. Поэтому распады  $b$ -кварков в этих процессах не могут быть изучены. Когда энергия электронов и позитронов превышает эквивалентную массу состояний  $b\bar{b}$  ипсилон-частиц,

кварки в рождающихся парах могут иметь достаточную энергию для того, чтобы удалиться друг от друга. По мере того как это происходит, из вакуума в результате сильных взаимодействий, действующих между кварками, рождаются пары легких кварков и антикварков ( $u\bar{u}$  или  $d\bar{d}$ ). Кварки группируются, образуя мезоны  $B$  и  $\bar{B}$  ( $b\bar{d}$  и  $\bar{b}d$  или  $\bar{b}u$  и  $b\bar{u}$  соответственно)\*. В мезонах  $B$  и  $\bar{B}$  прелесть больше не скрыта. Про эти частицы говорят, что у них «обнажена прелесть». В отличие от частиц со скрытой прелестью система с обнаженной прелестью может распадаться вследствие слабых взаимодействий. Поэтому изучение прелестных мезонов  $B$  и  $\bar{B}$  дает сведения о слабых взаимодействиях  $b$ -кварков.

С самого начала ипсилон-резонансы

\* При распаде ипсилон-частиц могут родиться либо заряженные прелестные мезоны  $B^+$  ( $b\bar{u}$ ) и  $B^-$  ( $\bar{b}u$ ), либо пара нейтральных прелестных мезонов  $B^0$  ( $b\bar{d}$ ) и  $\bar{B}^0$  ( $\bar{b}d$ ). В скобках указаны кварковые составы частиц. Так как  $B^+$ - и  $B^-$ -мезоны — античастицы, оба варианта распада обозначены в статье одинаково ( $B\bar{B}$ ). По последним измерениям на детекторе CLEO распад резонанса  $Y''$  на заряженную пару мезонов происходит в 60% случаев, а распад на пару нейтральных мезонов — в 40% случаев. — Прим. перев.

интерпретировались как три различных энергетических состояния системы  $b\bar{b}$ . Казалось вполне разумным, что могут существовать и другие резонансы, расположенные выше порога рождения прелестных мезонов. «Охота за пиком» в области энергий, превышающих массу  $Y''$ , привела в начале 1980 г. к открытию резонанса с массой 10,58 ГэВ. В отличие от первых трех, чрезвычайно узких, резонансов четвертый резонанс  $\gamma''$  оказался очень широким. Это указывало на то, что его распады на  $B$  и  $\bar{B}$  не подавлены. Иными словами,  $Y''$  был источником прелестных частиц.

Чтобы надежно установить справедливость такой интерпретации, надо было найти следы прелестных частиц в

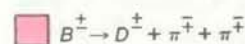
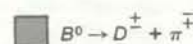
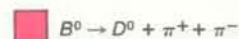
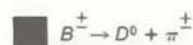
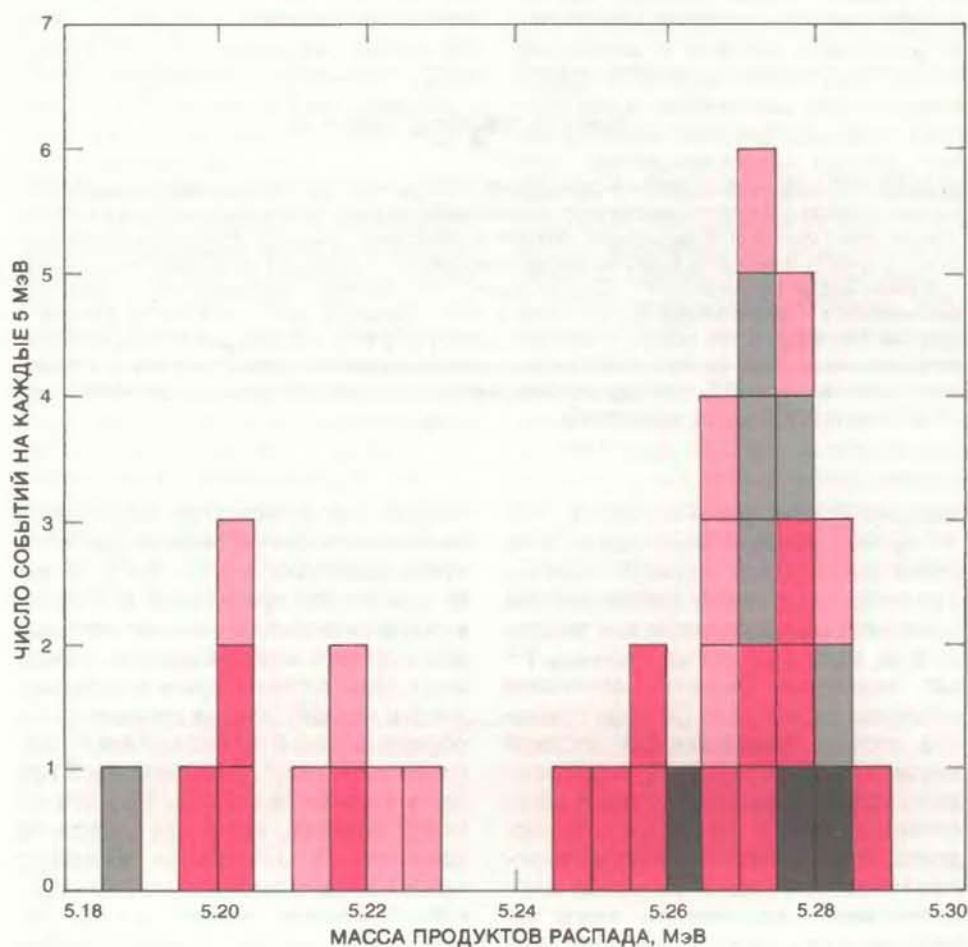
распадах  $Y''$ . Как мы видели, кварки одного аромата могут переходить в кварки другого аромата только вследствие слабых взаимодействий. К процессам, которые, несомненно, идут с участием слабых взаимодействий, относятся так называемые полуплептоновые распады, в которых мезон распадается на электрон или мюон, соответствующее нейтрино и один или более адронов. Детектор CLEO хорошо приспособлен как для регистрации мюонов, так и для регистрации электронов, а фотонный детектор CUSB — для регистрации электронов. Вот почему обе группы исследователей приступили к измерениям вероятности рождения одиночных лептонов в распадах  $Y''$ , с тем чтобы подтвердить при-

сутствие распадов прелестных мезонов, происходящих из-за слабых взаимодействий.

ПРОШЛО некоторое время, прежде чем удалось сделать определенные заключения из исследований лептонов. Это было обусловлено трудностями при их детектировании и медленным накоплением событий с участием  $Y''$ . В течение первой половины 1980 г. выяснилось, что при энергии, равной массе  $Y''$ , лептонов рождается больше, чем при близких к этому значениях энергии. Однако, прежде чем делать вывод о наблюдении прелестных мезонов, надо было исключить возможность появления лептонов любым другим путем, а не в результате слабых распадов  $B$ -мезонов. Наблюдаемое распределение импульсов лептонов качественно было таким, какое ожидалось при распадах тяжелых мезонов (подобных  $B$ ) и не походило на распределение импульсов при распадах более легких очарованных мезонов. Кроме того, поскольку лептоны появлялись по одному, а не в паре с противоположно заряженной частицей, это не могло быть связано с электромагнитными процессами. Когда все альтернативные варианты были отвергнуты, вывод был таков: мы наблюдаем «обнаженную прелесть».

Несмотря на то что выход лептонов свидетельствовал о присутствии частиц с «обнаженной прелестью», информация о  $B$ -мезонах была очень скудной. Мы могли лишь сказать, что масса  $B$ -мезона должна быть больше половины массы  $Y''$  (5,18 ГэВ) и меньше половины массы  $Y''$  (5,29 ГэВ), поскольку частица  $Y''$  лежит ниже порога распада на  $B\bar{B}$ , а  $Y''$  — выше него. Чтобы показать, что  $B$ -мезон является реальным объектом и измерить его массу, надо было выделить следы его присутствия из множества событий с участием  $Y''$ . Для этого в каждом таком событии выбирали различные комбинации треков и исследовали, какую из них можно было бы отождествить с продуктами распада  $B$ -мезонов. Такая процедура очень трудоемка, поскольку  $B$ -мезоны часто распадаются на большое число частиц, некоторые из которых нейтральны и потому ускользают от регистрации, а другие вылетают вдоль оси столкновения и поэтому тоже не наблюдаются. Более того, в каждом искомом событии должен присутствовать не только  $B$ -мезон, но и  $\bar{B}$ -мезон, что может сильно увеличить число неправильных комбинаций.

Группа CLEO сосредоточилась на изучении тех каналов распада  $B$ -мезонов, которые включают только небольшое число частиц. Недавно нам удалось реконструировать события с рождением прелестных мезонов. Для этого среди 150 000 событий, которые

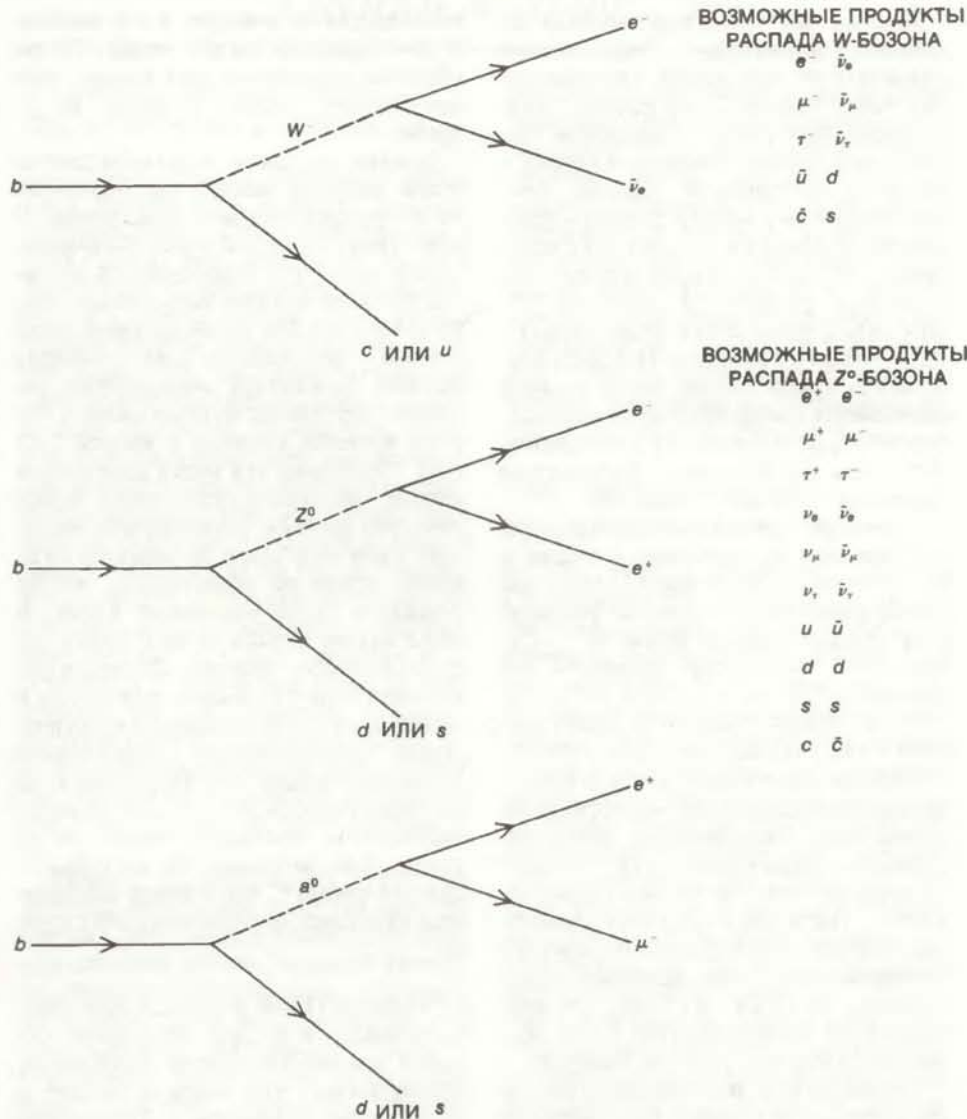


РЕКОНСТРУКЦИЯ СОБЫТИЙ С УЧАСТИЕМ ПРЕЛЕСТНЫХ МЕЗОНОВ была осуществлена группой CLEO. Изучались треки заряженных частиц от распада  $Y''$ ; они были собраны в различные комбинации в соответствии с четырьмя возможными моделями распада прелестных мезонов (обозначения приведены внизу слева). На получившейся диаграмме виден пик в окрестности 5,274 ГэВ. Рассмотренные каналы распада прелестных мезонов необычны тем, что среди продуктов распада  $Y''$  имеется лишь небольшое число заряженных частиц, а нейтральных (за исключением короткоживущего очарованного мезона  $D^0$ ) нет совсем. Эта небольшая диаграмма — результат 9 месяцев работы группы CLEO. На ней собраны данные, полученные при анализе 150 000 событий. Это свидетельствует о том, насколько редки исследуемые распады и как трудно их выделить из числа других распадов  $Y''$ .

были накоплены в течение девяти месяцев, разыскивались очарованные частицы, называемые  $D^0$ -мезонами. Эти частицы распадаются с образованием пары пион — каон. В некоторых случаях  $D^0$ -мезоны рождались непосредственно в распадах  $B$ -мезонов; в других —  $B$ -мезоны сначала распадались на  $D^0$ -мезон и заряженный пион. Все реконструированные  $B$ -мезоны распадались либо на  $D^0$ -мезоны, либо на заряженное возбужденное состояние очарованных частиц и один или два заряженных пиона. В результате наблюдалось от трех до пяти заряженных частиц, а долгоживущих нейтральных частиц в отобранных событиях вообще не было. Такие события заметно отличаются от типичных распадов  $B$ -мезонов, когда в конечном состоянии образуются девять частиц, три из которых нейтральны. Всего в качестве кандидатов на распады прелестных мезонов было отобрано 18 событий. Реконструированные по ним массы прелестных частиц группируются вокруг значения 5,274 ГэВ.

Эти измерения показывают, что резонанс  $Y'''$  с массой 10,58 ГэВ лежит лишь на 0,03 ГэВ выше порога рождения пары  $B\bar{B}$  (удвоенная масса  $B$ -мезона, по нашим измерениям, равна 10,55 ГэВ). Когда частица  $Y'''$  распадается на пару  $B\bar{B}$ , ее энергии хватает только на создание массы двух прелестных мезонов. В результате  $B$ -мезоны рождаются фактически покоящимися и вместе с ними не возникает других частиц, которые могли бы ввести в заблуждение экспериментаторов. Таким образом,  $Y'''$  является идеальной «фабрикой» для производства прелестных частиц. С одной стороны, этот резонанс — обильный источник  $B$ -мезонов, с другой — объект, с помощью которого можно без помех наблюдать и изучать распады  $b$ -кварков. В этих распадах имеется много особенностей, которые мы хотели бы изучить. Например, важно узнать, насколько быстро и на какие частицы распадается  $b$ -кварк. Если накопленный опыт может служить в таких случаях ориентиром, то есть основания полагать, что наши эксперименты углубят понимание взаимосвязи между кварками различных ароматов.

**ПО МАСШТАБАМ** процессов с элементарными частицами  $b$ -кварк распадается медленно, хотя с точки зрения процессов макромира это происходит очень быстро. Время жизни  $b$ -кварка лежит, по предсказаниям теории, между  $10^{-13}$  и  $10^{-14}$  с. За этот короткий интервал времени  $b$ -кварк, летя со скоростью, составляющей 10% скорости света, преодолеет расстояние всего лишь в 0,0002 см. Такие расстоя-



НЕСКОЛЬКО ВОЗМОЖНЫХ РАСПАДОВ  $b$ -кварка было изучено группой CLEO. Согласно стандартной теоретической модели, основанной на предположении о существовании трех кварковых дублетов,  $b$ -кварк распадается либо на  $c$ -кварк, либо на  $u$ -кварк, испуская при этом  $W^-$ -бозон (диаграмма вверху). У  $W^-$ -бозона — пять различных каналов распада, два из которых ( $e^- \bar{\nu}_e$  и  $\mu^- \bar{\nu}_\mu$ ) являются полулептонными каналами. Они и были предметом поисков при открытии частиц с обнаженной прелестью. Если  $t$ -кварк (гипотетический партнер  $b$ -кварка по дублету) не существует, то должен осуществляться второй механизм распада  $b$ -кварка: на  $d$ - или  $s$ -кварк и  $Z^0$ -бозон (средняя диаграмма). И в этом случае имеется набор возможных конечных состояний, два из которых ( $e^+ e^-$  и  $\mu^+ \mu^-$ ), как было показано группой CLEO, встречаются крайне редко (если вообще происходят). Некоторые теоретики, занятые исследованиями альтернатив стандартной модели, предложили процессы распада  $b$ -кварка на  $d$ - или  $s$ -кварк с испусканием экзотического нейтрального бозона  $a^0$  (внизу). Нет никаких экспериментальных доказательств существования  $a^0$ . Предполагается, что  $a^0$  может не подчиняться законам, обязательным для калибровочных бозонов стандартной теории, и поэтому он может распадаться на два лептона различных видов, например на мюон и позитрон. Эксперименты с детектором CLEO показали, что и такой экзотический процесс тоже редкость (если он вообще существует).

слишком малы, чтобы их можно было измерить с помощью детектора CLEO. Поэтому на основе полученных данных можно только сказать, что время жизни  $b$ -кварка меньше  $10^{-10}$  с. Аналогичные исследования проводились на электрон-позитронном накопительном кольце PETRA при организа-

ции DESY. Эта установка имеет преимущество в энергии и может производить более быстрые  $B$ -мезоны. Несмотря на чрезвычайно низкий уровень рождения  $B$ -мезонов на установке PETRA, экспериментаторам удалось уточнить верхнюю оценку времени жизни  $B$ -мезона:  $5 \cdot 10^{-12}$  с.

Каковы же продукты распада  $b$ -кварков? Возможные случаи можно разделить на три класса. Общепринятая точка зрения — это распад, укладывающийся в рамки стандартной теории: превращение  $b$ -кварка в кварки  $s$  или  $u$  с испусканием  $W^-$ -бозона. Альтернативой ему может служить превращение  $b$ -кварка в кварки  $s$  и  $d$  с испусканием  $Z^0$ -бозона. Такой процесс с изменением прелести и участием  $Z^0$ -бозона запрещен, если  $b$ -кварк входит в один дублет с  $t$ -кварком. Наконец, возможен и такой случай, когда  $b$ -кварк распадается совершенно неожиданным способом, не связанным с испусканием  $W^-$ - или  $Z^0$ -бозонов. Рассмотрим каждую из трех возможностей.

Конечные продукты распада при стандартном превращении  $b$ -кварка в  $W^-$ -бозон и кварки  $u$  или  $s$  должны содержать частицы, на которые распадается промежуточный бозон  $W^-$ . Существуют следующие варианты его распада:  $e^- \bar{\nu}_e$ ,  $\mu^- \bar{\nu}_\mu$ ,  $\tau^- \bar{\nu}_\tau$ ,  $ud$  и  $cs$ . Вообще говоря, кварковый канал распада в три раза вероятнее лептонного. Определяя вероятность тех или иных вариантов распада (при некоторых необходимых теоретических предположениях), можно предсказать, что электрон появится в 13% случаев распада  $b$ -кварка. Такова же вероятность появления мюонов. Это хорошо согласуется с экспериментальными данными, полученными на CLEO и CUSB, что подтверждает общепринятую точку зрения относительно распада  $b$ -кварка.

Теория не дает предсказаний, как чаще распадается  $b$ -кварк: на  $s$ -кварк или на  $u$ -кварк. Это одно из наиболее важных сведений о  $b$ -кварке, которые мы надеемся получить. Недавние прямые наблюдения  $D^0$ -мезонов в продуктах распада  $B$ -мезонов указывают по крайней мере на то, что распады  $b$ -кварка на  $s$ -кварк действительно происходят. Существуют два метода, с помощью которых можно определить, какие каналы преобладают в распадах  $b$ -кварков. Хорошо установлено, что доминирует распад  $s$ -кварка на  $s$ -кварк. Это подсказывает подход к решению поставленной задачи: если распад  $b$ -кварка на  $s$ -кварк доминирует над его распадом на  $u$ -кварк, следует ожидать, что в продуктах распада  $B$ -мезонов будет большое число странных частиц — каонов. Детектор CLEO может регистрировать и заряженные, и нейтральные каоны. Внимательное изучение рождения каонов показывает, что имеется отчетливый рост уровня рождения каонов в распадах  $Y^m$  по сравнению с нерезонансными событиями. В числах это выглядит так: уровень рождения заряженных и нейтральных каонов составляет 1,4 частицы на один распад  $B$ -мезона. Теоретически ожидаемая величина — 0,8 каонов на каждый распад  $B$ -мезона, если  $b$ -кварк всегда

распадается на  $u$ -кварк, и 1,6 каонов, если он распадается на  $s$ -кварк. Таким образом, измерения показывают, что преобладает распад  $b$ -кварка на  $s$ -кварк.

Однако лучшим подтверждением этого является анализ распределения по импульсам лептонов, рождающихся в полуплептонных распадах  $B$ -мезонов. Среди продуктов какого-нибудь из таких распадов должны быть лептон, нейтрино и один или более адронов. Если  $b$ -кварк распадается на  $s$ -кварк, должны родиться очарованные частицы. Легчайшей из очарованных частиц является  $D$ -мезон с массой 1,87 ГэВ. Поскольку эта масса достаточна велика, она ставит ограничения на количество энергии, переносимой лептоном. Если же  $b$ -кварк распадается на  $u$ -кварк, вовсе не обязательно, чтобы родился столь массивный адрон. В этом случае лептон может иметь гораздо большую энергию. Исследуя выход лептонов с большим импульсом и сравнивая эти наблюдения с теоретическими предсказаниями относительно распадов  $b$ -кварка на  $s$ -кварк (или  $b$  на  $u$ ), вновь удалось показать, что  $b$ -кварк распадается преимущественно на  $s$ -кварк. Действительно, из полученных данных следует, что  $b$ -кварк распадается на  $u$ -кварк не более чем в 5% случаев.

**СТАНДАРТНЫЙ** подход к описанию распадов  $b$ -кварка, служивший основной предшествующего обсуждения, предполагает, что кварк  $b$  входит в один дублет с кварком  $t$ . Решающим обстоятельством для подтверждения этой модели стало бы открытие  $t$ -кварка. Поиски  $t$ -кварка велись на электрон-позитронных накопительных кольцах PEP (в SLAC) и PETRA (в DESY). Неудачный результат этих попыток может просто означать, что максимальной энергии данных установок (37 ГэВ) не хватает для рождения связанного состояния  $t\bar{t}$ . Альтернативой этому может быть лишь утверждение, что стандартная теория неверна и должны быть построены другие теоретические модели.

Если стандартная теория ошибочна и  $b$ -кварк не имеет партнера по дублету, следует рассмотреть возможность его распада с испусканием  $Z^0$ -бозона. Напомним, что такой процесс запрещен в стандартной теории. Независимо от того, распадается ли при этом  $b$ -кварк на  $d$  или  $s$ , продукты распада самого  $Z^0$  должны присутствовать в конечном состоянии после распада  $b$ -кварка. Нейтральный  $Z^0$ -бозон может распасться по следующим каналам:  $e^+e^-$ ,  $\mu^+\mu^-$ ,  $\tau^+\tau^-$ ,  $\nu\bar{\nu}$ ,  $u\bar{u}$ ,  $d\bar{d}$ ,  $s\bar{s}$  и  $c\bar{c}$ . Из них наиболее привлекательны для экспериментаторов распады на  $e^+e^-$  и  $\mu^+\mu^-$ , поскольку они дают отчетливые сигналы в детекторе. Поиски

двух возможных путей распада ( $b \rightarrow \mu^+ + \mu^- +$  адроны и  $b \rightarrow e^+ + e^- +$  адроны) не привели к доказательству существования таких распадов. Следовательно, распад с образованием  $Z^0$ -бозона не является основным распадом  $b$ -кварка.

Наконец, не исключено, что  $b$ -кварк распадается каким-то совершенно новым способом, без испускания  $W^-$ - или  $Z^0$ -бозонов. В рамках довольно общих теоретических предположений возможны в принципе только два дополнительных способа распадов. Первый из них — распад  $b$ -кварка на другой кварк и два лептона из разных дублетов. Второй — распад  $b$ -кварка на лептон и два антикварка. Если распад  $b$ -кварка происходит по первому из этих двух «экзотических» вариантов, то следует ожидать событий с образованием множества мюонов, тау-лептонов, электронов и нейтрино в различных комбинациях. Тау-лептоны в свою очередь должны распасться, передавая часть энергии нейтрино, ускользающим от регистрации. Тогда следует ожидать рождения большого числа мюонов и электронов и больших видимых потерь энергии при распаде  $B$ -мезонов. Одновременно измерение числа мюонов и электронов, а также наблюдаемой энергии в распадах  $Y^m$  позволило группе CLEO установить, что такой процесс не является доминирующим.

Второй вид экзотических распадов  $b$ -кварка должен приводить к более частому (в три раза) появлению антикварков, чем кварков. Действительно, на каждый кварк  $b$  приходится один антикварк  $\bar{u}$  (или  $\bar{d}$ ), первоначально связанный с ним в  $B$ -мезоне, и еще два антикварка, рождающихся при распаде. Присутствие трех антикварков должно приводить к рождению одного антибариона на каждый распад  $B$ -мезона. Аналогично избыток кварков в распаде  $\bar{b}$ -кварка должен приводить к рождению одного бариона на один распад  $B$ -мезона. Существует множество барионов и антибарионов, которые могут родиться в процессах такого рода, но все они в конце концов распадутся на протоны и нейтроны или антипротоны и антинейтроны. Протоны и антипротоны регистрируются в детекторе CLEO, что же касается нейтронов и антинейтронов, то они не поддаются наблюдению. Если  $b$ -кварк распадается на лептон и два антикварка, следует ожидать, например, появления мюона, электрона, антипротона или большого количества «потерявшейся», т.е. незарегистрированной, энергии. Измеряя одновременно число образовавшихся мюонов, электронов и антипротонов и величину регистрируемой энергии, приходившейся на одно событие, экспериментаторы группы CLEO показали, что и второй из экзотических способов

распада  $b$ -кварка не является доминирующим.

В целом все данные говорят в пользу распада  $b$ -кварка с испусканием  $W^-$ -бозона. Более того, имеются указания на то, что в большинстве случаев он скорее превращается в  $c$ -кварк, нежели в  $u$ -кварк\*.

**Н**ЕСМОТЯ на то что мы все глубже постигаем свойства  $b$ -кварка и его взаимодействий, ряд вопросов все еще остается без ответа. Каково время жизни  $b$ -кварка? Пока установлен лишь верхний предел для него, но он существенно выше ожидаемой величины и поэтому не дает новой информации для оценки справедливости теории. Какова доля распадов  $b$ -кварка на кварки  $c$  и  $u$ ? Данные, полученные с помощью детекторов CLEO и CUSB, показывают, что доля распадов  $b$ -кварка на  $u$ -кварк мала, но насколько она мала? Существует ли  $t$ -кварк? Экспериментаторы группы CLEO отвергли почти все теории, в которых нет  $t$ -кварка, показав, что процессы с изменением прелести и участием  $Z^0$ -бозона происходят крайне редко (если вообще происходят) и что экзотические процессы без участия  $W^-$  или  $Z^0$  также редки (или вообще отсутствуют). Возможно,  $t$ -кварк до сих пор не обнаружен, поскольку его масса слишком велика. Быть может, это произойдет в экспериментах на установках со встречными пучками более высоких энергий, чем существующие ныне. Если же  $t$ -кварк не существует, то в теории кварковых распадов возникнут большие сложности.

Даже если предположить, что  $t$ -кварк будет в конце концов обнаружен, останется еще ряд серьезных проблем, связанных с кварковыми и лептонными дублетами. Очевидно, что одного кваркового ( $u$  и  $d$ ) и одного лептонного ( $e$  и  $\nu_e$ ) дублета достаточно, чтобы построить вполне удовлетворительную картину мира. Однако почти не вызывает сомнений, что существует еще по два дублета кварков и лептонов; не исключено, что будут открыты и другие. Почему природа столь неэкономна? Как связаны между собой различные дублеты и чем они отличаются? В чем суть свойства, названного ароматом? Дальнейшее изучение  $b$ -кварков может помочь ответить на некоторые из этих вопросов.

\* Авторы статьи не упоминают ряд интересных результатов, полученных при исследовании ипсилон-мезонов. В частности, следует отметить очень точные измерения массы легкой из ипсилон-частиц  $Y$ , проведенные в Новосибирске учеными Института ядерной физики СО АН СССР. Согласно их результатам, ее масса составляет  $9459,7 \pm 0,6$  МэВ, в то время как табличное значение равно  $9456 \pm 10$  МэВ (см. препринт ИЯФ 82-94, Новосибирск, 1982). — Прим. перев.

## Атомная энергетика: современное состояние

**Ш**ЕСТЬ стран в настоящее время получают на атомных электростанциях более 25% производимой в этих странах электроэнергии. (В США действуют 72 промышленных реактора, но с учетом огромных масштабов страны на этих реакторах производится лишь 13% всей вырабатываемой электроэнергии.) Во Франции в эксплуатации находится 32 реактора, которые вырабатывают 40% электроэнергии; к концу столетия Франция намеревается получать 85% электроэнергии с помощью атомных станций и лишь в часы пиковой нагрузки будет подключаться другие источники. Атомные реакторы, вырабатывающие электроэнергию, кроме США, имеются в 23 странах, и 17 стран уже приняли программы по строительству атомных электростанций. К концу прошлого года мировое производство электроэнергии атомными станциями составляло 9% — на 1% больше по сравнению с 1981 г.

Данные о программах развития ядерной энергетики в 40 странах, не считая США, были собраны специальной службой Atomic Industrial Forum, Inc. Исследования показали, что по относительной доли электроэнергии, вырабатываемой атомными электростанциями, лидирующее положение после Франции занимают Швеция (36%), Финляндия (35,8%), Швейцария (28,1%) и Бельгия (25,4%). По числу уже эксплуатируемых атомных электростанций передовыми являются СССР (37), Франция и Великобритания (по 32), Япония (25), ФРГ (15) и Канада (12).

За пределами США в мире сейчас работает 207 атомных реакторов — на 8 больше, чем было в 1981 г. Известно, кроме того, что 163 атомные станции уже сооружаются, на 13 имеются заказы и строительство 172 планируется начать в ближайшем будущем. Общий объем электроэнергии, производимой действующими вне США атомными станциями, составляет 105 823 МВт — на 9% больше, чем было в 1981 г.

В отчете по результатам проведенного исследования отмечается, что в 1982 г. имели место четыре наиболее знаменательных события в рассматриваемой области. Одно из них — заключение первого договора Китайской Народной Республикой на строительство атомной электростанции близ г. Шанхая. На ней будут установлены два реактора с водой под давлением, каждый мощностью 300 МВт. Станция войдет в строй в 1988 г. Второе событие касается Бразилии, которая с

прошлого года вошла в число стран, имеющих собственные реакторы для производства электроэнергии. Третье отмечает «ввод в действие в Индии и Японии электростанций с вторичной переработкой ядерного топлива, что свидетельствует о стремлении обеих стран создать условия для полного самобеспечения этим видом энергетических ресурсов». И наконец, Южная Корея стала восьмой страной, разработавшей программу по созданию реакторов на быстрых нейтронах.

## Наболевший вопрос и духи для картошки

**К**УЛЬТУРНЫЙ картофель *Solanum tuberosum* чувствителен ко многим насекомым-вредителям. В то же время дикий картофель *Solanum berthaultii* к ним устойчив. Что обеспечивает его устойчивость? Стебель и листья у *S. berthaultii* покрыты крошечными железистыми волосками двух типов; ранее полагали, что с помощью этих волосков и их липких выделений растение просто механически обезвреживает вредителей, в частности тлей. Оказалось, однако, что способ, которым *S. berthaultii* борется с тлей, более изощрен. Исследователи из Ротемстедской опытной станции (Великобритания) обнаружили, что волоски одного типа выделяют углевод, который у тлей является основным компонентом их феромона, выполняющего роль сигнала опасности. Получается, что растение как бы маскируется химически под тлю, предупреждающую сородичей о необходимости держаться подальше.

Р. Джибсон и Дж. Пикетт сообщили в «Nature», что в спиртовом экстракте листьев *S. berthaultii*, который они проанализировали с помощью газовой хроматографии и масс-спектрометрии, был обнаружен «фальшивый» феромон. Оказалось, что среди тех углеводов, которые содержатся в экстракте листьев дикого картофеля, но отсутствуют в экстракте из культурного картофеля, один представляет собой (E)- $\beta$ -фарнезен — феромон тлей. Он содержится в липких капельках на кончиках волосков типа В. С целью показать, что вещество достаточно летуче, чтобы воздействовать на тлей, Джибсон и Пикетт собрали воздух над неповрежденными листьями, пропустили его через растворитель пентан и измерили количество фарнезена, растворившегося в пентане. Из 20 мл воздуха было получено около  $5 \cdot 10^{-8}$  г феромона. В такой концентрации он уже вызывал у тлей соответствующую реакцию. Сотрудники лаборатории в Ротемстеде показали это в прямом эксперименте. Листья *S. berthaultii* положили в шприц

и сделали, чтобы воздух из него выходил на расстоянии 1 см от колонии бескрылых тлей (*Myzus persicae*). Тли разбежались, продемонстрировав такое же поведение, как и в присутствии настоящего феромона. Воздух из пустого шприца или шприца, наполненного листьями культурного картофеля, этого эффекта не имел. Затем тлей поместили на расстоянии 1 см от картофельного листа, головой в сторону листа. На лист культурного картофеля большинство насекомых поползли сразу же. Но только 6 из 48 тлей поступали так, когда им предлагали лист дикого картофеля; остальные отодвинулись подальше на расстояние от 1 до 3 мм или же двинулись параллельно краю листа, не приближаясь к нему. Когда растение предварительно обработали (E)- $\beta$ -фарнезенем, тли вели себя так же.

Джибсон и Пикетт отмечают, что скрестить *S. berthaultii* с культурным картофелем нетрудно. У некоторых гибридов волосков типа В довольно много. Если *S. tuberosum* передается способность секретировать феромон, это поможет уменьшить потери урожая картофеля из-за тлей, которые высасывают из растений сок, а также, что еще важнее, из-за вирусов, которых разносят эти насекомые.

### Загадки полярности

НА ЗЕМЛЕ найдется немного таких мест, которые отличались бы столь сложным, трудно уловимым и загадочным для ученых взаимодействием различных сред, как полярность — аномальные участки, остающиеся тальми в замороженном море. Слово «полярность» русского происхождения и означает незамерзшее или уже растаявшее место на ледяной поверхности водоема. В полярности взаимодействуют сразу три среды — лед, воздух и вода.

В одном из выпусков журнала «Journal of Geophysical Research» две группы ученых поместили свои статьи о результатах изучения полярности. Дж. Шумахер и К. Пиз, сотрудники Национального института по изучению океана и атмосферы (г. Сياتл), а также К. Огорд и Р. Трипп из Университета шт. Вашингтон исследовали полярности в Беринговом море у южного побережья о. Св. Лаврентия. В этом месте течения северного направления (в сторону Северного Ледовитого океана) встречаются с ветрами южного направления, которые относят постоянно образующиеся здесь льды. С ноября 1980 по июнь 1981 г. исследователи измеряли в зоне полярности скорость течения, температуру и соленость воды, а также скорость ветра. Около двух третей наиболее значительных изменений направления течения, которые были зарегистрированы в тот зимний сезон, можно объяснить изменчивостью гло-

бальных океанских циркуляций или непосредственным действием ветра. Одиннадцать раз, однако, были зарегистрированы и более сложные процессы. Океанское течение меняло свое направление, температура воды понижалась, оставаясь вблизи точки замерзания соленой морской воды. Очевидно, в результате «выброса» соли из замерзающих вод океана повышалась плотность нижележащих слоев морской воды, что вело к увеличению градиента давления в море и поэтому при дополнительном действии ветра изменялось среднее направление потока.

Другая группа — канадские ученые Д. Толам и Р. Перкин (Институт океанологии, пров. Британская Колумбия), С. Смит и Р. Андерсон (Институт океанографии в Бедфорде, пров. Новая Шотландия), а также Г. ден Хартог (Служба изучения и контроля атмосферы, пров. Онтарио). Они исследовали полярности в Баффиновом море между островами Девон и Дундас. Этот район отличается сильными течениями и большими приливами. Наличие самого узкого места в канале Пайонир между островами объясняется тем, что здесь на глубине около 40 м они соединены sillом. Исследователи измеряли скорость океанского течения, температуру и соленость воды в марте и апреле 1980 г. Температура во время приливов изменялась на 0,2° С. Приток более холодной воды понижал температуру до близкой к точке замерзания. Вода поступала, по-видимому, из мелководных прибрежных районов. При теплых импульсах вода в южной части канала поднималась до уровня суши. Предполагается, что эти импульсы были вызваны сильными приливными течениями, пересекавшими залегающий на небольшой глубине sill. Незначительное повышение температуры достаточно, чтобы вода не замерзала.

### Все еще на свободе...

В ПОСЛЕДНЕЕ время экспериментальные достижения физики высоких энергий, как правило, связаны с наблюдением элементарных частиц, которые могут существовать лишь в специфических условиях, создаваемых мощными ускорителями. В начале этого года ученые Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН), проводившие эксперименты на встречных протон-антипротонных пучках высоких энергий, пришли к выводу, что в пяти случаях столкновения протонов и антипротонов привели к рождению промежуточных векторных бозонов  $W^+$  и  $W^-$ . Несколько позже было объявлено еще о четырех событиях с участием  $W$ -бозонов. Таким образом, сейчас насчитывается уже девять случаев наблюдения этих частиц. Не исключено, что обнаружен и третий век-

торный бозон  $Z^0$ : были зарегистрированы электрон и позитрон с энергиями по 50 ГэВ, движущиеся в противоположных направлениях от точки столкновения протонов и антипротонов. Полагают, что тем самым получены веские основания в пользу рождения  $Z^0$ -бозона в этом событии\*.

Экспериментальные данные, полученные при поиске промежуточных векторных бозонов, позволяют предположить, что уже обнаружен и давно разыскиваемый  $t$ -кварк. К такому предварительному результату пришли теоретики ЦЕРН. Однако выводы о существовании  $Z^0$ -бозонов, и особенно  $t$ -кварков, нуждаются в более тщательном анализе. В опытах на встречных электрон-позитронных пучках высоких энергий были открыты мезоны с «обнаженной прелестью». В их состав входит  $b$ -кварк — носитель квантового свойства, называемого «прелестью». В этих мезонах прелестные кварки связаны с кварками других видов, так что «прелесть» мезонов не скомпенсирована — физики говорят, что она «обнажена» (см. статью Н. Мистри, Р. Полинга и Э. Торндайка «Частицы с обнаженной прелестью» на с. 66). Наблюдение всех этих экзотических частиц важно для подтверждения теоретических предположений. Во всех других отношениях они являются довольно эфемерными объектами: быть может, физические установки — единственное место во Вселенной, где их можно наблюдать.

Есть, однако, явления, которые, по мнению некоторых теоретиков, должны происходить в естественных условиях окружающего нас мира, хотя экспериментально они пока не установлены. Перед учеными стоят три фундаментальные проблемы. Существует ли магнитный монополю? Имеет ли массу нейтрино? Распадается ли протон? Любая определенность, достигнутая в решении этих проблем, имела бы далеко идущие последствия для предсказания будущего Вселенной. Однако, определенности пока нет. Экспериментаторам удалось только сузить границы, в пределах которых эти явления могут происходить.

Магнитный монополю привлекает внимание, поскольку его существование предсказывается теорией великого объединения, в которой унифицируются сильные, слабые и электромагнитные взаимодействия — три из четырех

\*Здесь речь идет о результатах первого сеанса поиска  $W$ -бозонов в ЦЕРН, проведенного в конце прошлого года. Второй сеанс проводился в апреле — июне с.г., а первое сообщение о наблюдении  $Z^0$ -бозона появилось в мае. В настоящее время сеанс завершен; зарегистрировано около 100 случаев рождения  $W$ -бозонов и 10 случаев рождения  $Z^0$ -бозонов. — Прим. перев.



известных фундаментальных сил природы (четвертой является сила гравитации). Согласно этим теориям, изолированные магнитные полюса с массой около  $10^{16}$  масс протона должны были образоваться в первые  $10^{-35}$  с после Большого взрыва. Магнитные монополи на много порядков массивнее самых тяжелых частиц, которые можно получить на ускорителях. И все же, если они действительно появились в первые мгновения после Большого взрыва, большая их часть должна была бы существовать и сегодня. Возможно, монополи сохранились в виде сверхплотного вещества внутри земного ядра или существуют как микрометеориты, удерживаемые гравитационными силами в пределах нашей Галактики или даже Солнечной системы (см. Richard A. Carrigan, Jr., W. Peter Troger. Superheavy Magnetic Monopoles, "Scientific American", April 1982\*).

Легче всего, по-видимому, зарегистрировать монополи космического происхождения. Недавно Б. Кабрера из Станфордского университета создал прибор, в котором три катушки из сверхпроводящей ниобиевой проволоки установлены вдоль трех взаимно перпендикулярных осей. Если бы монополь пролетел через эти катушки или через защитный экран, то по крайней мере в одной из катушек был бы наведен небольшой, но поддающийся измерению ток. В прошлом году на более простом приборе с одной катушкой меньших размеров Кабрера зарегистрировал изменение тока, как будто свидетельствующее о прохождении одного монополя. На своем новом приборе Кабрера ничего не обнаружил, и, скорее всего, полученный ранее сигнал был ложным. Если масса монополя действительно равна  $10^{16}$  масс протона, то новый результат Кабреры означает, что во Вселенной приходится не более одного монополя на каждые  $10^{17}$  протонов.

Сверхпроводящие кольца Кабреры могут регистрировать монополи,двигающиеся с любой скоростью, однако скорость набора данных его прибором невелика, поскольку размеры катушек относительно малы. Сцинтилляционные счетчики позволяют набирать данные быстрее, однако они могут не регистрировать медленные монополи. Исследователи из Станфордского университета и Университета шт. Юта предприняли попытку «поймать» монополь с помощью сцинтилляционных счетчиков. Монополей со скоростью в интервале от  $1,4 \cdot 10^{-4}$  до  $3 \cdot 10^{-2}$  скорости света обнаружено не было. По-видимому, величина потока монополей вблизи поверхности Земли

не превышает  $5 \cdot 10^{-12} \text{ см}^{-2} \text{ стер}^{-1} \text{ с}^{-1}$ .

Если сверхтяжелые магнитные монополи существуют, то в них может быть сосредоточена значительная часть полной массы Вселенной. Попытки обнаружить у нейтрино массу также частично обусловлены проблемами космологии. Если масса покоя нейтрино отлична от нуля, то полная масса Вселенной может превышать критическое значение. В этом случае силы гравитации когда-нибудь остановят расширение Вселенной и стянут все вещество в начальную сингулярную точку, с которой и начался наблюдаемый ныне этап ее эволюции.

Один из методов определения массы нейтрино основан на том, что существуют три различных вида этих частиц. Если нейтрино имеют массу, то по законам квантовой механики они должны осциллировать, т.е. самопроизвольно превращаться из одного вида в другой. Группа исследователей из Калифорнийского технологического института, Технического университета в Мюнхене и Института ядерных исследований в Швейцарии измеряет поток нейтрино от ядерного реактора в Госгене (Швейцария). Аппаратура чувствительна к электронным нейтрино; если электронные нейтрино, покинув реактор, превращаются в мюонные нейтрино или тау-нейтрино, то их число должно уменьшаться по мере удаления от реактора. Ф. Бом из Калифорнийского технологического института сообщает, что такие изменения не наблюдаются\*\*.

Эксперименты по изучению осцилляций не дают непосредственно верхней оценки массы нейтрино; с их помощью можно лишь определить квадрат разности масс для нейтрино различных видов. Три года назад в СССР были проведены эксперименты по прямому измерению массы нейтрино. Исследовался спектр электронов, испускаемых при  $\beta$ -распаде трития, радиоактивного изотопа водорода. Экспериментаторы пришли к выводу, что масса нейтрино мала, но конечна: по их оценке, она лежит в пределах от 14 до 46 эВ\*\*\*. Однако повторный анализ результатов этих экспериментов, проведенный Дж. Симпсоном из Университета в Гуэлфе

\*Лучшая из существующих в настоящее время оценок —  $5 \cdot 10^{-15} \text{ см}^{-2} \text{ стер}^{-1} \text{ с}^{-1}$  получена на Баксанской нейтринной обсерватории (СССР); см.: Алексеев Е. Н., Балиев М. Н. и др. Препринт ИЯИ, № ПО268, 1983. — Прим. перев.

\*\*Об аналогичных экспериментах, проводимых в СССР, см.: Микаэлян Л. А. Нейтринная лаборатория на Ровенской АЭС, Природа, 1983, № 9. — Прим. перев.

\*\*\*Имеются в виду результаты группы физиков Института экспериментальной и теоретической физики (Москва), руководимой В. А. Любимовым. — Прим. перев.

(пров. Онтарио, Канада), указывает на то, что они не противоречат предположению о нулевой массе нейтрино. Недавно группа Бома получила новую верхнюю оценку массы нейтрино 10—20 эВ при измерении скорости двойного  $\beta$ -распада изотопа германия-76. Сейчас в Калифорнийском технологическом институте планируется более широкомасштабный эксперимент, в котором для исследования двойного  $\beta$ -распада будет использовано 3 тыс. л ксенона-136.

Пожалуй, самым разочаровывающим экспериментальным результатом для теории великого объединения является новая нижняя граница времени жизни протона. Согласно наиболее простым вариантам этой теории, протон должен распадаться примерно за  $10^{29 \pm 2}$  лет. Такие редкие события можно зарегистрировать лишь в экспериментах с очень большим количеством вещества. Группа физиков из Калифорнийского университета в Эрвине, Мичиганского университета и Брукхейвенской национальной лаборатории проводит исследования в соляной шахте близ Кливленда. Они ведут наблюдения за 8 тыс. т воды, в которой содержится около  $10^{33}$  протонов. Однако на сегодняшний день не зарегистрировано ни одного события, которое могло бы стать кандидатом на распад протона. Следовательно, время жизни протона больше  $6,5 \cdot 10^{31}$  лет, что намного превышает предсказание простейшего варианта теории великого объединения, даже если принять во внимание погрешность теоретических расчетов.

Некоторые надежды у теоретиков все-таки остаются. В двух других экспериментах получены указания на распад протона. Группа, выбравшая для своих опытов шахту Колар-Голдфилдз на юге Индии, объявила о трех событиях, которые можно интерпретировать как распад протонов. Экспериментаторы из ЦЕРН, работающие с железными пластинами, помещенными в туннеле между Францией и Италией (который проходит через Монблан), сообщили о наблюдении одного возможного распада протона. Ученые должны решить, действительно ли эти события представляют собой распад протона, и если это так, то как их согласовать с отрицательными результатами, полученными в Кливленде. В любом случае, как сказал М. Гольдхабер из Брукхейвенской лаборатории, «идея великого объединения будет жить вечно». Существует много других, более сложных вариантов теории, объединяющей фундаментальные взаимодействия. Быть может, придет день, и они также «предстанут перед судом», чтобы подвергнуться испытанию экспериментом.

\*Имеется перевод: Успехи физических наук, 1983, т. 139, вып. 2. — Прим. перев.

# Креольские языки

*Между этими языками, на которых говорят в различных уголках земли, обнаруживается поразительное сходство. Исследования развития креольского языка на Гавайских островах позволяют предположить, что, когда дети учатся говорить, у них сначала формируется своего рода креольский язык абстрактного типа*

ДЕРЕК БИКЕРТОН

**Д**РЕВНЕГРЕЧЕСКИЙ историк Геродот повествует о том, как в VII в. до н.э. египетский фараон Псамметих Первый решил определить изначальный язык людей. По его высочайшему указу двух младенцев отняли у родителей и отдали на воспитание немому пастуху, которому было приказано растить детей в изоляции от других людей. Пастух должен был отметить, какое первое слово произнесут дети, «не испорченные» языком своих предков. Псамметих полагал, что они заговорят на языке, из которого произошли все другие языки. И первые членораздельные звуки, произнесенные детьми, составили слово «бекос», что на древнем фригийском означало «хлеб». Отсюда Псамметих заключил, что изначальным языком человека был фригийский.

Эта история занимала многие поколения лингвистов. Большинство лингвистов считают, что подобные эксперименты не имеют смысла и опыт Псамметиха не заслуживает внимания как ошибочный по замыслу и не способный дать какие-либо полезные результаты. Поистине надо быть уж очень большим оптимистом, чтобы рассчитывать отыскать «изначальные» слова. Лингвистическая изоляция ребенка фактически не раз имела место в случаях жестокого обращения с детьми, но в результате ребенок обычно вообще не умел говорить. И все же этот эксперимент в той или иной форме неоднократно осуществлялся на протяжении последних 500 лет над детьми невольников и прочих работников в колониях европейских держав. Привезенные со всех концов света, чтобы выращивать и собирать урожай на плантациях колоний в Африке, районе Индийского океана, в странах Востока, в Карибском бассейне и на Гавайских островах, эти работники были вынуждены общаться с другими членами своего разноязычного коллектива на примитивном языке, именуемом «пиджин».

Синтаксис и словарь этого языка был крайне скуден, но для детей, родившихся в колониальных поселениях, это был единственный доступный им язык общения друг с другом. На его примитивной основе родились впоследствии новые местные языки, которые имеют общее название «креольские». Можно показать, что по своей сложности, выразительности и способности передавать оттенки смысла они не уступают языкам с более длительной историей.

На первый взгляд возникновение многих различных креольских языков говорит о том, что поиски единого изначального языка основаны на заблуждении. Однако уже на протяжении многих лет ученые отмечают удивительное сходство структуры всех креольских языков. В настоящее время изучение происхождения креольского языка на Гавайских островах показывает, что сходство креольских языков нельзя объяснить контактами с языком коренных жителей или с какими-нибудь другими языками. Результаты исследования свидетельствуют, что общие черты креольских языков вполне могут составлять основу усвоения ребенком любого другого языка. Сейчас мы рассматриваем большим количеством фактов, подтверждающих эту гипотезу: оказывается, что структура языка, на котором говорит ребенок от двух до четырех лет в окружении взрослых, владеющих языком, весьма напоминает структуру креольских языков. Таким образом, по иронии судьбы может оказаться, что лингвистическим остаткам колониализма будет суждено внести значительный вклад в изучение нашего собственного языкового наследия.

**И**СТОРИЧЕСКИЕ условия, способствовавшие возникновению и развитию креольских языков, хорошо известны. В период между 1500 и 1900 годами Англия, Франция, Голландия, Португалия и Испания создали во мно-

гих изолированных прибрежных районах и на малонаселенных тропических островах многочисленные колонии, нуждавшиеся в большом числе рабочих рук. В колониях выращивались главным образом монокультуры, обычно сахар, и жизнеспособность их экономики зависела от доступности дешевой рабочей силы, поставляемой из отдаленных районов и рабски эксплуатируемой. Работников везли сначала из Западной Африки, а позднее и из Восточной Африки, Индии и стран Востока; все они говорили на разных языках и не понимали друг друга.

При более благоприятных условиях иммиграции рабочие или их дети усвоили бы в конечном счете язык местных колониальных властей, однако существовали два фактора, мешавшие этому процессу. Во-первых, число людей, говоривших на языке колонизаторов, редко превышало 20% всего населения, а чаще всего составляло менее 10%. Во-вторых, колонизаторы держались высокомерно и обособленно, и условия для длительного языкового контакта между работавшими на плантациях и носителями господствующего языка практически отсутствовали.

За исключением Гавайских островов, очень мало где сохранились документальные свидетельства о первых этапах лингвистической истории колоний. Обычно считалось, что языки пиджин рождались исключительно как средство контакта между хозяевами и работниками, а также представителями различных групп рабочих-иммигрантов. Позже в среде детей рабочих в результате «экспансии» языка пиджин возникали креольские языки; у этих детей почти не было возможности говорить на языке своих предков, а язык господ был по-прежнему им недоступен. Что понимать под термином «экспансия», оставалось неясным, пока я и мои коллеги не начали проводить исследования на Гавайских островах.

Для исследования креольского языка

на Гавайских островах существуют уникальные возможности, поскольку там может быть восстановлена путем изучения речи еще живущих людей хотя бы часть подробностей его становления и развития. Хотя первые контакты гавайцев с европейцами относятся еще к 1778 г., лишь в 1876 г. были изменены тарифные законы США и был разрешен свободный ввоз гавайского сахара, что позволило сахарным плантациям Гавайских островов увеличить производство в несколько раз. После этого на островах начала собираться многоязычная армия законтрактованных рабочих — китайцев, филиппинцев, японцев, корейцев, португальцев, пуэрториканцев и многих других. К 1900 г. их общая численность вдвое превышала численность всех других групп населения — как местных, так и европейских.

Средством общения между местны-

ми уроженцами и иммигрантами поначалу служил язык пиджин, образованный на основе гавайского языка, принадлежащего к группе полинезийских языков. Однако после аннексии Гавайских островов Соединенными Штатами Америки в 1898 г. гавайский язык был постепенно вытеснен английским. С 1900 г. начинается упадок гавайского языка и пиджин-гавайский уступает свою роль *lingua franca* языку пиджин, основанному на английском. Когда в начале 70-х годов мы приступили к тщательному изучению лингвистической ситуации на Гавайских островах, еще были живы многие иммигранты и местные уроженцы, родившиеся в период между 1900 и 1920 годами.

**Н**АШИ записи отрезков речи местных уроженцев ясно показывают, что процесс креолизации языка происходил уже в 1900 г. и, несомненно, был

завершен к 1920 г. Большинство лингвистических черт, характерных для англо-креольского языка на Гавайских островах, наблюдается в речи представителей рабочего населения, которые родились на островах после 1905 г. Среди лиц, родившихся до 1905 г. процент говорящих на креольском языке значительно ниже. Напротив, иммигранты всегда говорят на какой-то разновидности языка пиджин, хотя характер этой разновидности зависит от времени приезда иммигранта на Гавайские острова и от его родного языка. Наши информанты из числа более ранних иммигрантов говорят на более примитивном языке пиджин, чем приехавшие в более поздние годы, возможно потому, что эти последние воспринимали не только пиджин, но и креольский язык. Как бы то ни было, сохраняется основное различие между пиджин и креольским языком: человек, знаю-



**ГРУППА ЗАКОНТРАКТОВАННЫХ РАБОЧИХ** на плантациях сахарного тростника, говоривших на примитивном языке пиджин; снимок сделан Р. Бейкером в 1924 г. на Гавайских островах. В конце XIX и в начале XX веков тысячи таких рабочих были привезены на Гавайские острова из многих стран, чтобы удовлетворить потребность в рабочей силе на крупных плантациях сахарного тростника и ананасов. Язык пиджин образовался как средство общения между различными языковыми группами в этой многоязычной рабочей среде; например, изображенные на снимке рабочие, хотя и происходили главным образом из Филиппин, первоначально говорили на разных языках типа висайан, илокано и тагалог. Дети родителей, говоривших на языке пиджин, были, как правило, изолированы от говоривших на гавайском или английском языке и не унаследовали от предыдущего поко-

ления какой-либо последовательной лингвистической модели, удовлетворявшей их потребности в общении. В среде этих детей родился язык, гораздо более развитый, чем пиджин. В этом языке, который называется креольским языком Гавайских островов, используется главным образом словарный состав английского языка, но его структура совершенно отлична от структуры английского языка или каково-нибудь другого некреольского языка. Во всем мире в социально-экономических условиях, сходных с существовавшими на Гавайских островах, часто возникали языки типа пиджин, которые дети рабочих-иммигрантов превращали впоследствии в креольские языки. Подлинник этого фотоснимка хранится в коллекции Р. Бейкера и Р. Ван-Дейка в Гонолулу.

ший гавайский язык, может сразу определить этническое происхождение любого иммигранта исключительно по особенностям его речи. В то же время этническое происхождение человека, родившегося на островах, нельзя с уверенностью определить только по произношению или грамматической структуре высказываний.

Одна из главных особенностей языка пиджин заключается в том, что он меняется от одного говорящего к другому. Кажется, будто каждый иммигрант по-своему решал задачу изобретения эрзац-языка. Например, иммигранты японского происхождения, говоря на языке пиджин, обычно ставят глагол в конце предложения: "The roof

people all potato eat" (ср. «Бедные люди всё картошка ест»\*), т.е. "All that the poor people ate were potatoes" («Бедные люди ели только картошку»). Напротив, у филиппинцев в предложении на

\* Русский перевод условно передает нарушение норм английского языка в оригинале. — Прим. перев.



РАСПРОСТРАНЕНИЕ КРЕОЛЬСКИХ ЯЗЫКОВ в современном мире отражает исторические условия их возникновения. Почти все креольские языки возникли в изолированных прибрежных районах или на тропических островах, где были созданы сельскохозяйственные колонии. Географическая разбросанность колоний свидетельствует о том, что

креольские языки развивались независимо друг от друга. Буквой в скобках после названия каждого креольского языка обозначен колониальный язык, из которого позаимствована большая часть словарного состава данного креольского языка.

языке пиджин глагол стоит перед подлежащим: "Work hard these people" («Работать тяжело эти люди»), т.е. "These people work hard" («У этих людей тяжелая работа»). Чаще всего порядок слов не подчиняется какому-то постоянному принципу, кроме прагматического правила, что старая, известная собеседникам информация сообщается в начале предложения, а новая информация — в конце.

По-видимому, все, что можно выразить на креольском языке или, скажем, на английском, можно выразить и на языке пиджин. Тем не менее говорящий на языке пиджин находится в крайне невыгодном положении, так как в этом языке отсутствуют многие строевые элементы, которые имеются во всех других языках. Такие важные элементы языка, как артикли, предлоги и вспомогательные глаголы, либо вообще не представлены, либо появляются самым непредсказуемым образом. В языке пиджин нет придаточных предложений, а в простых предложениях нередко отсутствуют глаголы.

Приведем несколько примеров. В первом из них на языке пиджин говорит кореец; в английском переводе приведены в скобках опущенные слова: "And a too much children, small children, house money pay" («И слишком много дети, малые дети, жилье деньги платить»), т.е. "And (I had) too many children, small children, (I had) to pay the rent" («И у меня было слишком много детей, маленьких детей, я должен был платить за жилье»). Во втором примере записана речь японца: "Before mill no more Filipino no, nothing" («До фабрики нет больше филиппинец, нет ничего»), т.е. "Before the mill (was built, there were) no Filipinos here at all" («До того, как была построена фабрика, здесь не было никаких филиппинцев»). Третий пример, где говорит бывший водитель автобуса, показывает, какие титанические усилия приходится затрачивать, чтобы сказать на языке пиджин что-либо более сложное: "Sometime good road get, sometime, all same bend get, enguru (angle) get, no? Any kind same. All same human life, all same. («Иногда хорошая дорога получать, иногда все тоже повороты получать, угол получать, нет? Всякий род тоже. Все тоже жизнь человека, все тоже»), т.е. "Sometimes there's a good road, sometimes there's like, bends, corners, right? Everything's like that. Human life's just like that" («Иногда дорога хорошая, а иногда сплошные углы и повороты, верно? Везде так бывает. И в жизни человека всегда так»).

Перед ребенком, родившимся в окружении людей, говорящих подобным образом, стоит совершенно иная задача по овладению языком, чем перед ребенком, которого окружают взрослые, владеющие полноценным языком. На-

пример, дети английских или китайских родителей получают точные языковые модели, которые они должны усвоить, хотя им не каждый раз указывают на их ошибки; они почти всегда

могут сравнить свою речь с речью старших и, если нужно, исправить свое высказывание. Овладев более простыми структурами своего языка, они могут переходить к более сложным.

| ЯЗЫК ПИДЖИН   | КРЕОЛЬСКИЙ ЯЗЫК ГАВАЙСКИХ ОСТРОВОВ   |
|---|--|
| Building — high place — wall part — time — now — time — and then — now temperature every time give you.   | Get one [There is an] electric sign high up on da wall of da building show you what time an temperature get [it is] right now.   |
| Now days. ah. house. ah. inside. wash clothes machine get. no? Before time. ah. no more. see? And then pipe no more. water pipe no more.  | Those days bin get [there were] no more washing machine. no more pipe water like get [there is] inside house nowadays. ah?   |
| No. the men. ah — pau [finished] work — they go. make garden. Plant this. ah. cabbage. like that. Plant potato. like that. And then — all that one — all right. sit down. Make lilly bit story. | When work pau [is finished] da guys they stay go make [are going to make] garden for plant potato an cabbage an after little while they go sit down talk story ['shoot the breeze']. |
| Good. this one. Kaukau [food] any kind this one. Pilipin island no good. No more money.   | Hawaii more better than Philippines. over here get [there is] plenty kaukau [food]. over there no can. bra [brother]. you no more money for buy kaukau [food]. 'a swhy [that's why]. |

СТРУКТУРНЫЕ РАЗЛИЧИЯ между языком пиджин и креольским языком Гавайских островов иллюстрируют одинаковые по смыслу предложения. Язык пиджин, на котором говорят только иммигранты, широко варьируется от одного говорящего к другому. Хотя на языке пиджин можно выразить, по-видимому, все, что можно сказать на английском или креольском языке, его структура крайне примитивна. Предложения на языке пиджин — это почти исключительно цепочки существительных, глаголов и прилагательных, расположенных обычно так, чтобы старая, известная собеседнику информация была в начале, а новая информация — в последующей части предложения. Креольский язык возник на Гавайских островах только среди детей иммигрантов, и его грамматическая структура гораздо более развита, чем в языке пиджин. Кроме того, правила грамматики этого языка едины с правилами других креольских языков. В скобках даны английские варианты слов и фраз.

| АНГЛИЙСКИЙ ЯЗЫК   | АНГЛО-КРЕОЛЬСКИЙ ЯЗЫК ГАВАЙСКИХ СТРОВОВ        |
|---|--|
| The two of us had a hard time raising dogs.                   | Us two bin get hard time raising dog.          |
| John and his friends are stealing the food.                   | John-them stay cockroach the kaukau.           |
| He doesn't want to play because he's lazy.                    | He lazy, 'a swhy he no like play.              |
| How do you expect to finish your house?                       | How you expect for make pau you house?         |
| It would have been better if I'd gone to Honolulu to buy it.  | More better I bin go Honolulu for buy om.      |
| The one who falls first is the loser.                         | Who go down first is loser.                    |
| The man who was going to lay the vinyl had quoted me a price. | The guy gon' lay the vinyl bin quote me price. |
| There was a woman who had three daughters.                    | Bin get one wahine she get three daughter.     |
| She can't go because she hasn't any money.                    | She no can go, she no more money, 'a swhy.     |

РАЗЛИЧИЯ МЕЖДУ СТРУКТУРОЙ предложений в креольском языке Гавайских островов и структурой их английских эквивалентов показывают, что грамматика креольского языка не была заимствована из английского. Например, прошедшее время глагола выражается в креольском языке не суффиксом "-ed", а частицами "bin" или "wen", которые ставятся перед основным глаголом. Неточечный, или длительный, вид выражается не суффиксом "-ing", а при помощи слова "stay". Правила английской грамматики требуют, чтобы говорящий употреблял в таком предложении, как "The two of us had a hard time raising dogs", единственное или множественное число существительного "dog", а в аналогичном предложении креольского языка не указывается ни единственное, ни множественное число. Между двумя языками имеются также сравнительно небольшие лексические различия: "cockroach" («таракан») может использоваться в роли глагола, а вместо "food" («еда») обычно используется слово "kaukau", которое, возможно, происходит от слова "chowchow" в китайском пиджин. Такие же удивительные структурные различия наблюдаются между креольским языком Гавайских островов и другими языками — китайским, гавайским, японским, корейским, португальским, испанским и филиппинским, — которые могли с ним контактировать.

Напротив, ребенок иммигрантов, родившийся на Гавайях, не располагает последовательной лингвистической моделью, определяющей основной порядок слов в простом предложении, и часто не имеет вообще никакой модели более сложных языковых структур. Многие из таких детей появляются на свет в результате межэтнических или межрасовых браков и поэтому даже дома почти не слышат родного языка отца или матери. Более того, даже если ребенок родился не в лингвистически смешанной семье, обстановка часто побуждает его отказываться от родного языка его родителей и пользоваться в компании его сверстников или взрослых соседей каким-либо вариантом языка пиджин. Как и у иммигрантов в других странах, дети иммигрантов на Гавайских островах часто становятся двуязычными или триязычными и воспринимают язык сверстников как свой родной язык, несмотря на все усилия родителей сохранить язык своих предков.

**И**СТОРИЧЕСКИЕ данные подтверждают справедливость утверждения, что структура креольского языка создается без сколько-нибудь существенных заимствований из других языков. Двуязычным или триязычным детям школьного возраста нет необходимости смешивать структурные особенности языков, которыми они пользуются (обычно они этого и не делают), и нет никаких оснований полагать, что смешение языков было обычным явлением на Гавайских островах. Однако наиболее убедительным аргументом в пользу самостоятельного развития креольского языка может служить его фактическая однородность. Поразительно, как на протяжении жизни одного поколения из лингвистической вольницы, которую представлял собой язык пиджин на Гавайских островах, мог развиться такой упорядоченный и однородный язык! Даже если все дети, принадлежавшие к различным группам иммигрантов, сначала учили язык своих родителей, даже если впоследствии различия между разными видами языка пиджин стерлись благодаря общению между детьми — все равно однородность возникшего языка нуждается в объяснении. Ведь пятьдесят лет контактов между взрослыми, говорящими на языке пиджин, не смогли стереть языковых различий между отдельными национальными группами. Поэтому однородность креольского языка обусловлена, по-видимому, речевыми различиями между детьми и взрослыми.

Можно было бы предположить, что структурная однородность креольского языка унаследована от одного из языков, на которых говорили предки иммигрантов, или даже от некоторых

структур английского языка, языка владельцев плантаций. Однако существуют многочисленные расхождения между структурой креольского языка и структурой любого другого языка, с которыми могли быть в контакте говорящие на креольском языке. Например, если имеется в виду неопределенный предмет или группа таких предметов, правила английской грамматики требуют, чтобы говорящий указывал, идет ли речь об одном или о многих неопределенных предметах, употребляя единственное или множественное число. Он должен сказать либо "I am going to the store to buy a shirt" («Я иду в магазин купить рубашку»), либо "I am going to the store to buy shirts" («Я иду в магазин купить рубашки»), даже если и не хочет заранее решать, сколько рубашек он будет покупать.

В креольском языке можно избежать указания числа, используя нейтральный показатель грамматического числа существительного «рубашка»: "I stay go da store for buy shirt", т.е. "I am going to the store to buy shirt" («Я иду в магазин, чтобы купить рубашка»). Кроме того, в креольском языке добавление к слову "shirt" определенного или неопределенного артикля меняет смысл предложения. Когда говорящий на этом языке произносит "I stay go da store for buy one shirt", он имеет в виду конкретную рубашку, а в предложении "I stay go da store for buy da shirt" он еще и предполагает, что слушающий уже знает эту рубашку, которую он собирается купить.

Существует много и других особенностей креольского языка, отличающих его от английского. В английском языке имеется прошедшее время, которое обычно образуется при помощи суффикса "-ed", а в креольском есть время, называемое «предшествующим», которое говорящие старшего возраста образуют с помощью "bin", а более молодые — с помощью "wen". Предшествующее время напоминает английское "Past Perfect". Английское "had walked" будет на креольском — "bin walk", а английское "walked" на креольском — просто "walk". Для того чтобы отличать нереальные или возможные действия и процессы от реальных, английский язык использует условное наклонение или будущее время. В креольском языке все такие нереальные обстоятельства выражаются с помощью частицы "go", которая ставится перед основным глаголом и обозначает то, что лингвисты называют «модальностью». Например, предложение "If I had a car, I would drive home" («Если бы у меня была машина, я бы поехал домой») передается на креольском как "If I bin get car, I go drive home".

В креольском языке есть также вспомогательный глагол, обозначающий то, что лингвисты называют «видом».

Он тоже ставится перед основным глаголом и указывает, что выраженное этим глаголом действие неоднократное или, иными словами, это действие повторяющееся, обычное, длительное или незавершенное. Чтобы выразить на креольском языке мысль "I run in Kapiolani park every evening" («Я бегаю каждый вечер в парке Капиолани»), нужно сказать "I stay run in Kapiolani park every evening". Если говорящий на креольском языке опускает частицу "stay", то действие рассматривается как законченное или однократное.

**В**АНГЛИЙСКОМ языке нет прямого способа отличать осуществленные намерения от неосуществленных. Предложение "John went to Honolulu to see Mary" («Джон поехал в Гонолулу, чтобы увидеть Мери») не уточняет, увидел ли в действительности Джон Мери или нет. По правилам креольской грамматики эта двусмысленность должна быть устранена. Если Джон увидел Мери и говорящий это знает, он должен сказать "John bin go Honolulu go see Mary". Если же Джон не видел Мери или говорящий не знает, видел Джон Мери или нет, он должен сказать "John bin go Honolulu for see Mary".

Подобные расхождения можно обнаружить между грамматической структурой креольского языка и структурами других контактирующих с ним языков, таких, как гавайский, илокан

| ФОРМА ГЛАГОЛА  |
|--|
| ОСНОВНАЯ ФОРМА<br>("HE WALKED"; "HE LOVES")                                      |
| ПРЕДШЕСТВУЮЩЕЕ ВРЕМЯ<br>("HE HAD WALKED"; "HE LOVED")                            |
| НЕРЕАЛЬНОЕ НАКЛОНЕНИЕ<br>("HE WILL/ WOULD WALK"; "HE WILL/ WOULD LOVE")          |
| НЕТОЧЕЧНЫЙ ВИД<br>("HE IS/ WAS WALKING")   |
| ПРЕДШЕСТВОВАНИЕ + НЕРЕАЛЬНОСТЬ<br>("HE WOULD HAVE WALKED"; "HE WOULD HAVE LOVE") |
| ПРЕДШЕСТВОВАНИЕ + НЕТОЧЕЧНОСТЬ<br>("HE WAS/ HAD BEEN WALKING")                   |
| НЕРЕАЛЬНОСТЬ + НЕТОЧЕЧНОСТЬ<br>("HE WILL/ WOULD BE WALKING")                     |
| ПРЕДШЕСТВОВАНИЕ + НЕРЕАЛЬНОСТЬ + НЕТОЧЕЧНОСТЬ<br>("HE WOULD HAVE BEEN WALKING")  |

**СПРЯЖЕНИЕ ГЛАГОЛА** аналогично во всех креольских языках, несмотря на внешнее различие лексики. Кроме того, система спряжения в креольских языках явно отличается от подобной системы в английском и большинстве других языков. Приведена таблица спряжения стативных и нестативных глаголов в креольских языках Гавайских островов и Гаити, а также в языке сранан-тонго (англо-креольский язык, на котором говорят в Суринаме, быв-

(язык, на котором говорят в северной части филиппинского острова Лусон) и японский. Есть также и сходные черты, но в большинстве случаев они сводятся к идиоматическим выражениям. Например, креольское выражение "O the pretty", означающее по-английски "How pretty he (she/it) is" («Какой он/она/оно красивый!»), является буквальным переводом гавайской идиомы "O ka nani". В целом же наши исследования убедительно доказывают, что основные структуры креольского языка отличаются от структур других языков. Хотя можно было бы предположить, что некоторые из детей иммигрантов перенесут структуры родных языков их родителей в формирующийся креольский язык, на самом деле этого не случилось. Структурно-лингвистический потенциал, который был в распоряжении этих детей, не использовался для развития креольского языка.

Даже если бы можно было показать, что все грамматические структуры креольского языка были заимствованы в готовом виде у того или иного контактирующего языка, и в этом случае было бы трудно объяснить однородность креольского языка. Каким образом «изобретатели» этого языка могли «договориться» о том, из какого языка и какую структуру нужно позаимствовать? А ведь без такой «договоренности» креольский язык не был бы та-

ким единым и однородным. Кажется невероятным, что эта договоренность могла быть достигнута в столь короткий срок. Если бы имели место многочисленные заимствования из языков родителей, различия между разновидностями креольского языка, которые использовались бы разными группами говорящих, сохранились бы по меньшей мере в следующем поколении.

Проблема однородности креольского языка на Гавайских островах имеет еще одну сторону. Оказывается, что во всем мире креольские языки обнаруживают ту же однородность и даже те же грамматические структуры, что и этот язык. Это явление особенно примечательно, если учесть отмеченное выше весьма незначительное соответствие между структурой креольского языка и контактирующими с ним языками на Гавайских островах. Например, имеющееся в креольском языке Гавайских островов различие между единственным, множественным и нейтральным числом отмечается во всех других креольских языках. Аналогичным образом во всех креольских языках имеются три неизменяемые частицы, выступающие в качестве вспомогательных глаголов и выполняющие те же функции, которые в креольском языке Гавайских островов выполняют "bin", "go" и "stay".

В креольском языке Гавайских островов, например, слово "te" служит по-

казателем предшествующего времени глагола, слово "av(a)" выражает нереальную модальность, а слово "ap" указывает на неоднократный (неточечный) вид глагола. Таким образом, на этом креольском языке фраза "I have been walking" («Я ходил») передается так: "m(I) t'ap (té + ap) maské". Аналогичным образом в англо-креольском языке сранан-тонго, на котором говорят в Суринаме (бывшая голландская Гвиана), показателем предшествующего времени является "ben", нереальной модальности — "sa", а неоднократно вида — "e". Фраза "He would have been walking" («Он бы ходил») звучит на этом языке как "A(he) ben sa e waka". Важно отметить, что во всех креольских языках существует строгий порядок слов, если в предложении имеется более одного из таких показателей. Частица — показатель времени предшествует частице модальности, а частица модальности ставится перед частицей — показателем вида.

Наконец, вспомним отмеченное выше грамматическое различие между осуществленным и неосуществленным намерением. Это различие, отсутствующее в английском, наблюдается во всех креольских языках. На франко-креольском языке острова Маврикий такое предложение, как "He decided to eat meat" («Он решил есть мясо»), может быть передано двумя способами. Если субъект предложения осуществил

| НЕСТАТИВНЫЕ ГЛАГОЛЫ |                  |                 | СТАТИВНЫЕ ГЛАГОЛЫ |                 |               |
|---------------------|------------------|-----------------|-------------------|-----------------|---------------|
| ГАВАЙСКИЙ           | ГАИТЯНСКИЙ       | СРАНАН-ТОНГО    | ГАВАЙСКИЙ         | ГАИТЯНСКИЙ      | СРАНАН-ТОНГО  |
| HE WALK             | LI MACHÉ         | A WAKA          | HE LOVE           | LI RÊMÉ         | A LOBI        |
| HE BIN WALK         | LI TÉ MACHÉ      | A BEN WAKA      | HE BIN LOVE       | LI TÉ RÊMÉ      | A BEN LOBI    |
| HE GO WALK          | L'AV(A) MACHÉ    | A SA WAKA       | HE GO LOVE        | L'AV(A) RÊMÉ    | A SA LOBI     |
| HE STAY WALK        | L'AP MACHÉ       | A E WAKA        | —                 | —               | —             |
| HE BIN GO WALK      | LI T'AV(A) MACHÉ | A BEN SA WAKA   | HE BIN GO LOVE    | LI T'AV(A) RÊMÉ | A BEN SA LOBI |
| HE BIN STAY WALK    | LI T'AP MACHÉ    | A BEN E WAKA    | —                 | —               | —             |
| HE GO STAY WALK     | L'AV AP MACHÉ    | A SA E WAKA     | —                 | —               | —             |
| HE BIN GO STAY WALK | LI T'AV AP MACHÉ | A BEN SA E WAKA | —                 | —               | —             |

шей голландской Гвиане). Стативные глаголы — это глаголы типа "like", "want" и "love", у которых нет неточечного вида; по-английски, например, к стативному глаголу в личной форме нельзя присоединить суффикс "-ing". Основная форма глагола выражает у стативных глаголов настоящее время, а у нестативных глаголов — прошедшее. Предшествующее время примерно соответствует английскому Past Tense у стативных глаголов и английскому Past Perfect Tense у нестативных глаголов. Нереальное наклонение включает английское будущее время и условное и сослагательное наклонения. Во всех креольских языках частица — показатель предшествующего времени ставится перед частицей

нереальной модальности, а эта последняя предшествует частице — показателю неточечного вида. Но в креольском языке Гавайских островов предложение "He bin go walk" стало означать "He walked" («Он ходил»), а не "He would have walked" («Он ходил бы»), в то время как формы "He bin stay walk", "He go stay walk" и "He bin go stay walk", широко распространенные перед второй мировой войной, теперь почти не употребляются вследствие усиления влияния английского языка на Гавайских островах. Английские переводы в скобках дают лишь приблизительное представление о значении креольских фраз.

| ЯЗЫК РЕБЕНКА                 | АНГЛО-КРЕОЛЬСКИЙ ЯЗЫК                          |
|------------------------------|--|
| Where I can put it?          | Where I can put om? (Гавайские острова)        |
| Daddy throw the nother rock. | Daddy t'row one neda rock'tone. (Ямайка)       |
| I go full Angela bucket.     | I go full Angela bucket. (Гайана)              |
| Lookit a boy play ball.      | Luku one boy a play ball (Ямайка)              |
| Nobody don't like me.        | Nobody no like me. (Гайана)                    |
| I no like do that.           | I no like do that. (Гавайские острова)         |
| Johnny big more than me.     | Johnny big more than me. (Ямайка)              |
| Let Daddy get pen write it.  | Make Daddy get pen write am. (Гайана)          |
| I more better than Johnny.   | I more better than Johnny. (Гавайские острова) |

**ПРЕДЛОЖЕНИЯ, УПОТРЕБЛЯЕМЫЕ ДЕТЬМИ** англоговорящих родителей в возрасте от двух до четырех лет, поразительно похожи на предложения англо-креольских языков. Большое сходство между различными креольскими языками и вероятность того, что эти языки возникли независимо друг от друга, дают основания предполагать, что креольские языки рождаются в детской среде всякий раз, когда отсутствует местный язык, который мог бы служить образцом для ребенка. Автор приходит к выводу, что, если удалить детей в возрасте двух лет из их родного англоговорящего окружения, они, вырастая, говорили бы на языке, словарный состав которого был бы английским, а грамматика — креольской.

свое намерение, нужно сказать "Li ti desid al mâz lavian", что буквально означает «Он решил идти есть мясо». Если же решение осталось невыполненным, предложение будет звучать так: "Li ti desid pu mâz lavian", или буквально «Он решил, чтобы есть мясо». В креольском языке Ямайки предложение "He went to wash" («Он пошел умыться») будет передаваться либо как "Im gaan fi bied" («Он пошел с намерением умыться»), либо как "Im gaan go bied" («Он пошел умыться и сделал это»).

Это всего несколько примеров значительного структурного сходства между креольскими языками. Сходство существует независимо от того, на скольком географическом расстоянии находятся эти языки друг от друга или из какого языка — голландского, английского или французского — они позаимствовали большую часть своего словарного состава. Такие ученые, как Гуго Шухардт, отмечали это сходство еще в XIX в., а в 60-е годы XX в. многие факты были изучены в работах Дугласа Тейлора, Роберта Уоллеса Томпсона из Университета Вест-Индии и Китом Уиннэмом из Эксетерского университета. Таким образом, еще до изучения развития креольского языка на Гавайских островах сходство грамматической структуры в креольских языках во всем мире рассматривалось как важный лингвистический факт, который еще предстояло объяснить.

**С**ТОЛКНУВШИСЬ с подобным явлением, лингвист стремится прежде всего установить, не происходят ли похожие языки от одного исходного языка. Было высказано, например, предположение, что таким исходным язы-

ком был контактный язык, образовавшийся на основе португальского и некоторых языков Западной Африки в период первых исследований португальцами Африки в XV и XVI вв. Согласно данной гипотезе, этот контактный язык был впоследствии распространен по всему миру португальскими моряками; проникая в колонизальные поселения, основанные различными странами, он изменял свой словарный состав, но сохранял синтаксис и семантику. На первый взгляд это объяснение не противоречит истории возникновения креольского языка на Гавайских островах, поскольку в конце XIX и в начале XX веков на эти острова было доставлено большое число португальских рабочих.

Однако в этой концепции имеется ряд весьма уязвимых мест. Во-первых, у креольского языка Гавайских островов очень мало общего с любым из контактировавших с ним языков, включая португальский. Во-вторых, данные о сходстве лингвистической структуры между креольскими языками и португальским или между креольскими и западноафриканскими языками сильно преувеличены. И самое главное, наше исследование речевой практики сотен гавайцев показало, что креольский язык Гавайских островов, несомненно, возник на самих островах. Нам не удалось обнаружить ни одного иммигранта, который говорил хотя бы на каком-то подобии креольского языка: все опрошенные нами иммигранты говорили на какой-либо разновидности пиджин. Если бы креольский язык Гавайских островов был привнесен извне, он должен был получить распространение среди всего иммигрантского на-

селения лишь спустя определенный период времени. Поэтому напрашивается вывод, что креольский язык возник на Гавайских островах среди детей иммигрантов, которые и говорят на нем в настоящее время. Далее, если на Гавайских островах креольский язык мог развиваться без каких-либо предшественников, то таким же образом он мог возникнуть и в любом другом месте.

Эти выводы имеют далеко идущие последствия. Поскольку грамматические структуры креольских языков более близки друг к другу, чем к структурам каких-либо других языков, разумно предположить, что большинство, а то и все креольские языки были созданы детьми иммигрантов, говорящих на пиджин. Кроме того, поскольку креольские языки создавались изолированно от других, их лингвистическая общность объясняется, по-видимому, какими-то общими особенностями, свойственными всем людям.

Мысль о том, что у людей существует биологическое предрасположение к использованию языка, не нова: по мнению Нозма Холмского из Массачусетского технологического института, существует врожденная универсальная грамматика, лежащая в основе всех человеческих языков. Предположение об универсальной грамматике выдвигается главным образом на том основании, что только благодаря ей дети могут овладеть такой исключительно сложной системой, как человеческий язык, за столь короткий срок. Исследования покойного Эрика Х. Леннеберга, видимо, подтверждают гипотезу Холмского. Овладение языком напоминает овладение ребенком сложными и гибкими формами поведения, такими, как умение ходить, которые в какой-то степени, несомненно, контролируются нейрофизиологическими факторами. Универсальная грамматика, постулируемая Холмским, представляет собой своего рода вычислительное устройство на нейробиологической основе, делающее доступным для ребенка широкий набор грамматических моделей. Холмский полагает, что ребенок «выбирает» затем из имеющихся у него грамматических моделей те, что соответствуют моделям языка, который должен стать его родным языком.

Данные о формировании креольских языков свидетельствуют о том, что овладение первым языком происходит с помощью врожденного механизма совершенно иного рода. Этот механизм не предоставляет в распоряжение ребенка набор грамматических моделей, а формирует у него единственную и весьма специфическую модель. Такая врожденная грамматическая модель не подавлялась впоследствии только в языковом коллективе, говорящем на языке пиджин, где не было грамматических моделей, способных соперни-



чать с врожденной грамматикой ребенка. А затем врожденная грамматика обросла лексическими единицами, которые имелись в данном географическом месте, и возникли современные креольские языки.

**ВЫВОДЫ**, вытекающие из данной гипотезы, ставят под сомнение положение, которое на протяжении многих лет молчаливо признавалось большинством лингвистов, включая Холмского, а именно что ни один язык не является более трудным для усвоения ребенком, чем любой другой. Если креольская грамматика каким-то образом запечатлена в мозгу ребенка, то креольские языки должны усваиваться легче, чем другие языки. Почему же тогда все дети, вырастая, не говорят на каком-нибудь креольском языке? Но ведь как раз это они и пытаются сделать! Однако люди вокруг них «упорно» говорят по-английски, по-французски или еще на каком-нибудь языке, и детям приходится модифицировать грамматику своего родного креольского языка, пока она не будет соответствовать грамматике местного языка.

Для проверки этой гипотезы следует обратить внимание на две группы лингвистических фактов. Во-первых, можно заметить, что, когда грамматическая структура креольского языка не совпадает с соответствующей грамматической структурой местного языка, дети регулярно делают ошибки по отношению к структуре местного языка. Напротив, если грамматические структуры обоих языков более или менее совпадают, отмечается быстрое и безошибочное овладение ребенком структурой местного языка в очень раннем возрасте.

Возьмите систематические ошибки, отмеченные Дэвидом Макнейллом из Мичиганского университета в речи четырехлетнего ребенка. В одной из бесед с Макнейллом ребенок пожаловался: "Nobody don't like me", его тут же поправила мать: "Nobody likes me" («Никто меня не любит»). Затем мальчик повторил свое предложение, и матери пришлось поправлять его не менее восьми раз. Наконец ребенок изменил фразу и раздраженно воскликнул: "Nobody don't likes me". Подобную ошибку делают многие английские дети в возрасте между тремя с половиной и четырьмя годами, в том числе и те, кто не подвергался воздействию английских диалектов, в которых употребляется двойное отрицание. Во многих языках, включая французский и испанский, также употребляется двойное отрицание, но только креольские языки допускают сочетание отрицательного подлежащего с отрицательным глаголом. Например, в португальско-креольском языке полуострова Малакка — папиа-кристанге можно

сказать "Angkosa nte mersimentu", т.е. буквально "Nothing not have value" («Ничто не имеет ценности»), а в англо-креольском языке Гайаны (бывшей британской Гвианы) можно сказать "Non dag na bait non kyat", или буквально "No dog did not bite no cat" («Никакая собака не укусила никакую кошку»).

Вторым примером систематических ошибок может служить построение детьми вопросительных предложений. Изучающие английский язык дети часто образуют вопросы исключительно за счет интонации, почти никогда не меняя местами подлежащее и вспомогательный глагол. Например, дети постоянно говорят такие фразы, как "You can fix this?" («Ты можешь это починить?»), хотя они много раз слышали подобный вопрос в форме "Can you fix this?". Аналогичным образом ни в одном креольском языке вопросы не отличаются от утверждений порядком слов, а образуются лишь с помощью интонации.

**РАССМОТРИМ** предложение "A gon' full Angela bucket". Хотя подобное предложение недопустимо в английском языке, оно вполне допустимо в креольском языке Гавайских островов, Гайаны или в любом из других англо-креольских языков. Оно синонимично английскому "I'm going to fill Angela's bucket" («Я собираюсь наполнить ведро Анджелы»), но его структура имеет ряд отличий. Во-первых, местоимение первого лица "I" редуцировано в "A". Во-вторых, опущен вспомогательный глагол "am". В-третьих, для обозначения будущего времени используются формы "go" или "gon". В-четвертых, опущена частица "to" при инфинитиве. В-пятых, прилагательное "full" употребляется как переходный глагол. И в-шестых, опущен показатель притяжательного падежа "s". Все эти особенности характерны для креольских языков, но дело в том, что данное предложение не принадлежит лицу, говорящему на одном из таких языков. Оно было произнесено трехлетней дочерью одного англоговорящего лингвиста.

Когда какая-нибудь особенность местного языка соответствует структуре креольского языка, дети не делают ошибок, которые, казалось бы, они должны делать. Например, дети, овладевающие английским языком, очень рано начинают употреблять суффикс "-ing", обозначающий длящееся действие. Еще не достигнув двух лет, многие дети уже говорят такие фразы, как "I sitting high chair", в которых глагол выражает длящееся действие. Можно было бы ожидать, что, выучив этот суффикс, ребенок будет присоединять его абсолютно ко всем глаголам, подобно тому как суффикс "s", образующий в

английском множественное число, зачастую неправильно употребляют и с такими существительными, как "foot" и "sheep". То есть можно было бы ожидать, что дети будут строить предложения типа "I liking Mommy" и "I wanting candy". Но примечательно, что таких ошибок они почти никогда не делают. Как будто дети интуитивно знают, что английские глаголы типа "like" и "want", именуемые «стативными», не присоединяют суффикса "-ing" для выражения длительности действия. В то же время в креольских языках различие между стативными и нестативными глаголами играет важную роль, и там тоже нельзя употреблять показатель длительности действия при стативном глаголе.

Различие между определенностью и неопределенностью наименования, о котором речь шла выше, составляет важную особенность креольских языков. В английском языке это подчас очень тонкое различие, и тем не менее дети овладевают им без труда. Майкл П. Маратсос из Миннесотского университета составил ряд предложений, которые дети должны были дополнить, причем выбор дополняющего варианта зависел от различия между определенностью и неопределенностью наименования. Например, предложение "John has never read a book" («Джон никогда не прочел ни одной книги»), где существительное "book" обозначает неопределенную книгу, можно дополнить фразой "and he never will read a book" («и он никогда не прочтет ни одной книги»), но нельзя дополнить фразой "and he never will read the book" («и он никогда не прочтет эту книгу»). Точно так же предложение "John read a book yesterday" («Вчера Джон читал одну книгу»), в котором подразумевается определенная книга, можно дополнить фразой "and he enjoyed the book" («и ему понравилась эта книга») и нельзя дополнить фразой "and he enjoyed a book" («и ему понравилась какая-то книга»). В 90% случаев трехлетние дети уже умели правильно учитывать подобные различия.

Несомненно, потребуется еще очень много исследований процесса овладения языком, прежде чем можно будет с уверенностью сказать, что структура, подобная структуре креольских языков, служит основой для изучения первого языка. Даниель Айзек Слобин из Калифорнийского университета в Беркли предположил, что существует ряд процессов, используемых ребенком по отношению к любому языку, который он слышит вокруг себя. Он назвал совокупность таких процессов «базовой детской грамматикой». В последних, еще не опубликованных работах Слобина приводятся факты из разных языков, подтверждающие эту гипотезу. Судя по всему, существует много об-

шего между базовой детской грамматикой и креольскими языками.

**Е**СЛИ креольские языки являются результатом реализации нейробиологически обусловленной программы развития ребенка, то Псамметих I, оказываясь, вовсе не был таким глупцом, каким его считали. Возможно, удастся обнаружить, хотя бы в общих чертах, структуру человеческого языка на ранних стадиях его развития. Кроме того, при попытке реконструкции такого языка лингвистам, возможно, удастся найти ответы на вопросы, которые у фараона даже не возникали. Как возник человеческий язык? Каковы минимальные условия возникновения у отдельного вида такого явления, как язык? Если окажется возможным ответить на эти вопросы или хотя бы сформулировать их более точно и последовательно, то будет сделан еще один шаг в изучении природы человека, отличающей его от животных.

Издательство  
**МИР**  
предлагает:

Д. Кнут  
**ИСКУССТВО  
ПРОГРАММИРОВАНИЯ  
ДЛЯ ЭВМ**  
Том 3  
**Сортировка и поиск**  
Перевод с английского

Третий том известной монографии одного из крупнейших американских специалистов по программированию Д. Кнута (первый том вышел в издательстве «Мир» в 1976 г., второй — в 1977 г.) состоит из двух частей: «Сортировка» и «Поиск». В них подробно исследуются различные алгоритмы внутренней и внешней сортировки, изучаются методы поиска информации в таблицах на основе сравнения или преобразования ключей, даются оценки эффективности предлагаемых алгоритмов.

1978, 64,53 л. Цена 4 р. 80 к.



# Наука вокруг нас

## Удары с вращением шара в бильярде

**ДЖИРЛ УОЛКЕР**

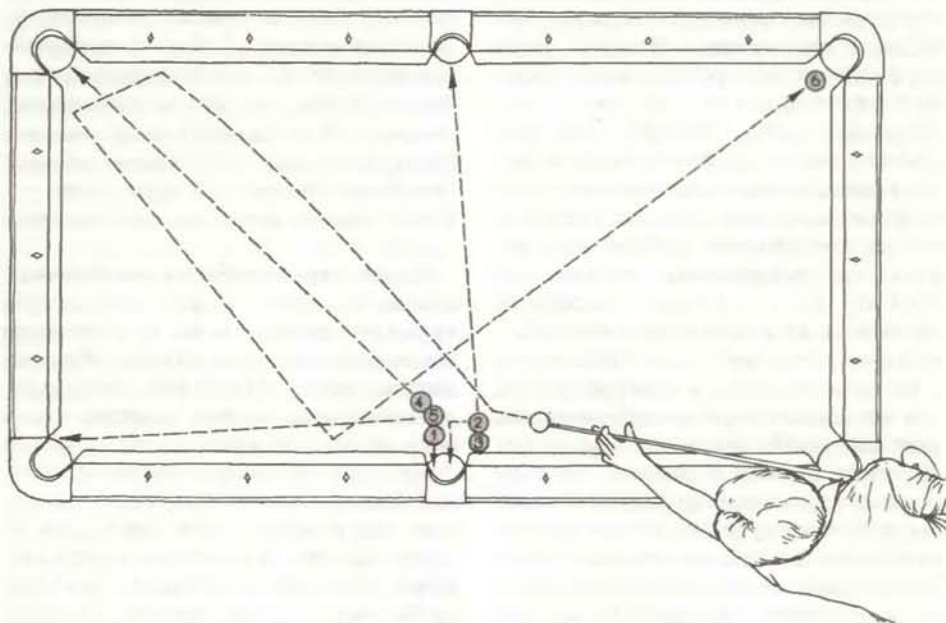
**Б**ИЛЬЯРД — прекрасная иллюстрация законов физики. Шары сталкиваются друг с другом и ударяются о борта, как молекулы газа в некоем двумерном резервуаре. Но физика бильярда сложнее: здесь важно и вращение. Опытный игрок, придавая шару вращение, может достигать таких эффектов, как накат, оттяжка и масса (дуговик). Анализ соударения кия с бильярдным шаром — это, быть может, одно из самых интересных приложений классической механики. Чтобы полностью освоиться с силами и траекториями в бильярде, нужно часто играть и при этом анализировать сыгранные партии. Очень полезно также предварительно усвоить физику, лежащую в основе игры.

Недавно Т. Кинг из Темпл-Сити (шт. Калифорния) прислал в редакцию свой разбор некоторых классических ударов в бильярде. До последнего времени по существу единственным пособием по динамике бильярда было приложение к лекциям по механике А. Зоммерфельда, который более известен своими работами в области квантовой механики\*. В прошлом году Д. Гриффинг из Майамского университета по-

святил бильярду главу в своей книге «Динамика спорта: почему мяч и шар отскакивают именно так». Таковы три источника, на которых ниже будет основано изложение физики бильярда. Рассмотрев ряд простых случаев, я затем объясню несколько знаменитых бильярдных трюков, описанных в книге Р. Берна «Бернова сокровищница бильярдных трюков».

Когда кий ударяет по шару-битку, он приводит его в горизонтальное и вращательное движение. Предположим, что кий при ударе горизонтален. В какую бы точку на поверхности шара ни ударил кий, он заставит его двигаться по горизонтали так, как если бы сила была приложена в центре тяжести.

Предположим теперь, что удар кием производится в вертикальной плоскости, проходящей через центр шара, т.е. точка соприкосновения с кием лежит на линии пересечения этой вертикальной плоскости с поверхностью шара, обращенной к играющему. Начальная скорость шара и его начальное количество движения (произведение массы на скорость) еще не определяется положением точки удара на этой линии. Важнее два других фактора. Один из них — длительность удара; игрок практически не может ее контролировать. Второй фактор, легко контролируемый играющим, — сила удара. При сильном ударе скорость шара и количество движения больше, чем при слабом.



Демонстрационный трюк

\* В прошлом веке обширные исследования механики бильярда опубликовал Кориолис (Кориолис Г. Математическая теория явлений бильярдной игры. — М.: Гостехиздат, 1956). — Прим. перев.

При ударе по шару кием также создается крутящий момент, который заставляет шар вращаться вокруг центра тяжести. Момент равен произведению силы на плечо, т.е. на расстояние по вертикали от точки, в которой делается удар, до горизонтальной средней плоскости шара. Он тем больше, чем дальше эта точка от средней плоскости.

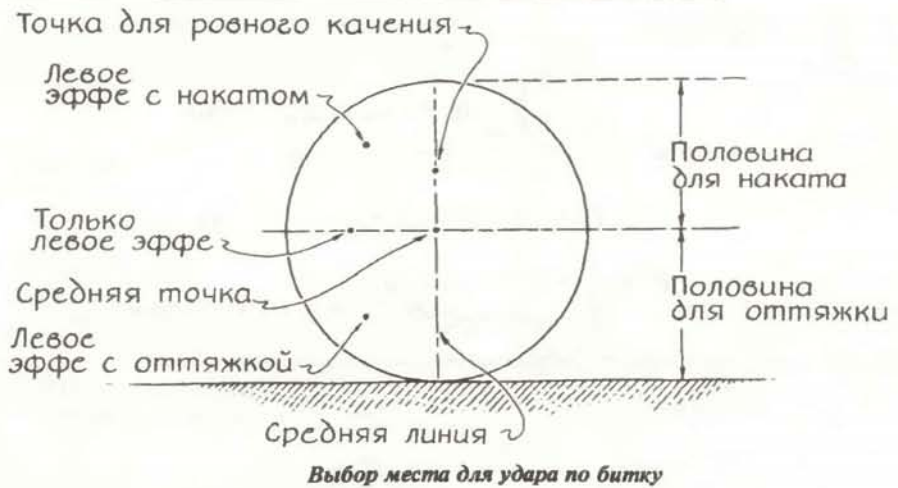
Моментом силы определяется начальная скорость вращения шара вокруг центра тяжести. Она пропорциональна моменту силы, деленному на момент инерции (который учитывает не только величину массы тела, но и то, как эта масса распределена вокруг оси вращения). Момент инерции шара, вращающегося вокруг своего центра тяжести, равен двум пятым его массы, умноженным на квадрат его радиуса. Выбирая место удара по шару в некоторых игровых вариантах, игрок должен помнить о множителе  $2/5$ , соответствующем геометрической форме шара.

Если игроку нужно, чтобы шар первоначально не вращался, он должен ударить его на высоте центра тяжести. Тогда плечо силы равно нулю, а потому равны нулю момент силы и скорость вращения. При ударе выше центра тяжести плечо силы отлично от нуля, и поэтому к шару прикладывается отличный от нуля крутящий момент. Благодаря силе удара шар движется вперед, а благодаря крутящему моменту вращается вокруг своего центра тяжести. Говорят, что шар идет с верхним (или прямым) вращением; верхняя часть вращающегося шара удаляется от игрока быстрее, чем в том случае, когда вращение отсутствует. При ударе кием ниже центра тяжести шар приобретает «обратное» вращение.

Итак, ударяя кием по шару, играющий задает три характеристики движения. Силой удара определяется скорость перемещения шара по столу, плечом силы — направление вращения, а произведением силы на плечо — скорость вращения.

Если бы не трение о поверхность стола, шар-биток продолжал бы двигаться, пока не ударился бы о борт или не натолкнулся на другой шар. Но даже если сукно бильярдного стола сильно изношено и поэтому очень гладкое, сила трения при скольжении шара по сукну достаточно велика. Из-за трения может заметно измениться и горизонтальное, и вращательное движение шара, а следовательно, может измениться и характер удара. Если же шар катится по столу без проскальзывания, то трение невелико и оказывает влияние лишь на максимальный пробег шара.

Сила трения, возникающая при скольжении шара, зависит от его массы, а также от фактуры сукна и от шероховатости поверхности шара, но не



зависит от скорости скольжения. Направление этой силы определяется направлением скольжения. Предположим, что играющий, ударив по шару, придал ему сильное прямое вращение; нижняя часть шара скользит к нему, а центр тяжести движется от него. В точке соприкосновения сила трения направлена навстречу скольжению (т.е. от играющего). Поэтому она замедляет вращение шара относительно центра тяжести. А так как она направлена от играющего, то она подталкивает шар вперед. Благодаря такому дополнительному подталкиванию шар с сильным прямым вращением может долго катиться.

Предположим, что играющий при ударе придает шару обратное вращение. Сила удара посылает шар вперед, а момент силы заставляет его вращаться так, что нижняя часть шара скользит по сукну в том же направлении. Следовательно, сила трения, действующая на нижнюю часть шара, направлена к играющему. Трение и теперь замедляет вращение, но соответствующая сила, перенесенная в центр тяжести, направлена обратно. При скольжении шара его движение вперед и вращение замедляются. В конце концов обратное вращение полностью прекращается и шар начинает катиться без проскальзывания. При ударе с обратным вращением шар проходит небольшое расстояние, так как сила трения, возникающая при скольжении, действует навстречу его движению.

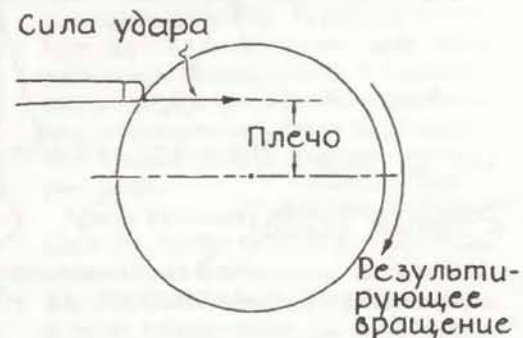
Шар с прямым вращением не будет скользить только в том случае, если скорость его центра тяжести равна угловой скорости вращения, умноженной на радиус. Тогда перемещение его нижней части в точке соприкосновения с поверхностью стола точно компенсируется перемещением шара вперед. Для такой компенсации играющий должен ударить шар кием в точке, лежащей выше горизонтальной средней плоскости шара на две пятых радиуса.

Тогда множитель  $2/5$  в формуле для момента инерции шара и множитель  $2/5$  в величине плеча силы сократятся.

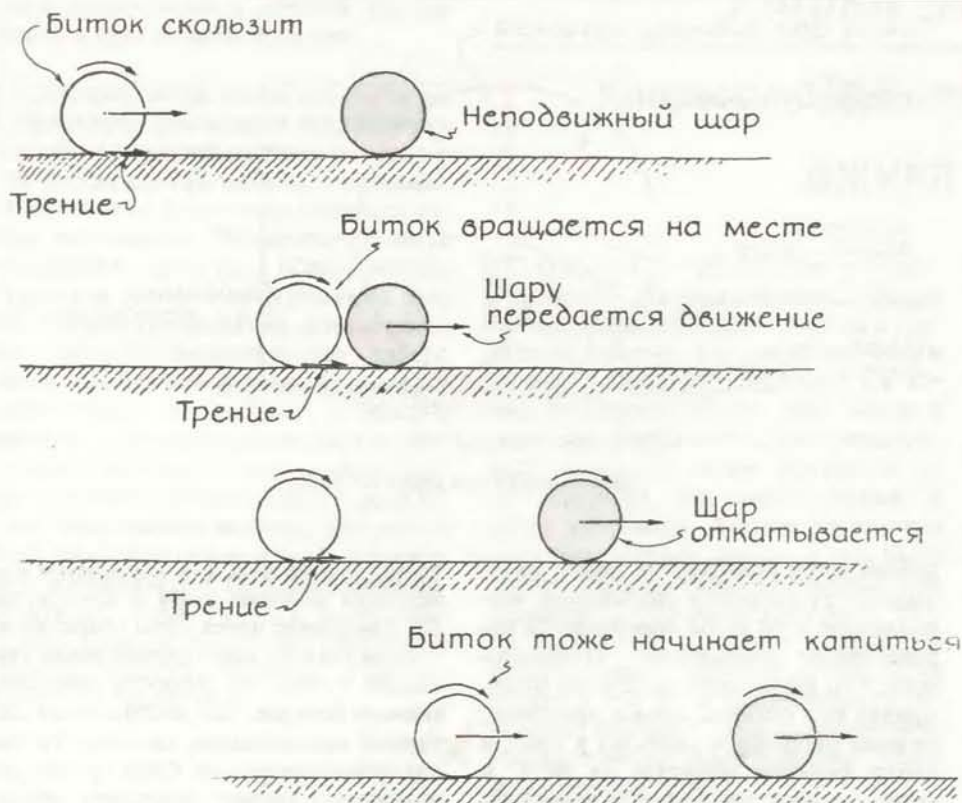
Если удар по шару сделан выше указанной точки, то скорость вращения вначале больше, чем необходимая для точной компенсации, но из-за трения она вскоре снижается. Сила трения, направленная вперед, замедляет вращение и в то же время ускоряет движение шара вперед. Если шар ни на что не наткнется, то в конце концов будет достигнута компенсация скоростей и он начнет катиться без скольжения.

Если же удар сделан между указанной точкой и средней плоскостью, то шар вращается так, что мог бы катиться без проскальзывания, если бы не слишком малая скорость вращения. В точке соприкосновения с сукном поверхность шара из-за вращения движется с определенной скоростью назад, а из-за движения центра тяжести — с несколько большей скоростью вперед. В результате того и другого он проскальзывает вперед. Сила трения скольжения, направленная назад, ускоряет вращение и замедляет перемещение шара по столу, пока не достигается компенсация, после чего шар катится ровно, без скольжения.

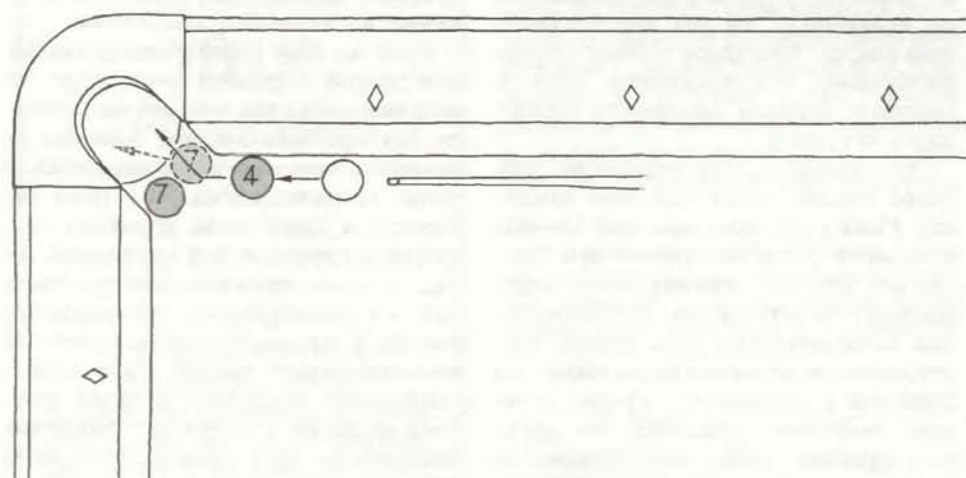
Если удар сделан ниже средней плоскости, то шар вращается не в ту сторону, в какую нужно для ровного качения. В этом случае сила трения, обусловленная проскальзыванием, замедляет и вращение шара, и его перемеще-



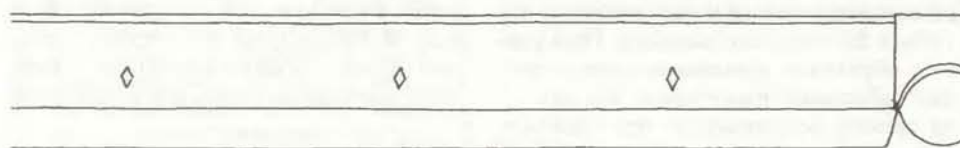
Удар с прямым вращением



Четыре элемента удара с накатом



Удар с накатом



Левое  
Без вращения (но отскакивает с левым эффе)  
Правое

Левое  
Без вращения  
Правое

Левое  
Без вращения (но отскакивает с правым эффе)  
Правое

Надписи у стрелок —  
вращение до удара о борт

Удар с боковым вращением

ние вперед. В конце концов вращение прекращается и шар катится ровно.

Опытный игрок легко изменяет пробег шара, выбирая точку удара на разном удалении от той точки, при ударе в которую шар катится без скольжения. Чтобы шар быстро достиг противоположного конца бильярда, удар нужно сделать выше этой точки, и тогда шар будет как бы подталкивать сила трения.

Очень важное значение имеет также вращение битка при столкновении с другим шаром. При таком столкновении первый передает второму импульс (количество движения). В лобовом столкновении он полностью отдает свой импульс и останавливается. При скользящем столкновении он теряет лишь часть импульса и продолжает двигаться. Вращение же битка при столкновении с другим шаром практически не передается, поскольку трение между шарами незначительно, а длительность столкновения очень мала. Биток мог бы передавать вращение другому шару лишь при значительном трении.

На том, что вращение не передается, основаны два интересных вида ударов. Предположим, что биток, посланный с прямым вращением, сталкивается «в лоб» с другим шаром, продолжая еще скользить. Сразу после столкновения скорость его центра тяжести равна нулю, но он продолжает вращаться. Вызванная вращением сила трения направлена вперед, она замедляет вращение и заставляет двигаться центр тяжести. Шар начинает снова катиться вдогонку за другим шаром. Это так называемый накат.

Если битку придано обратное вращение, то после лобового столкновения с другим шаром он покатится обратно к играющему. При столкновении биток теряет горизонтальную скорость, но сохраняет вращение. Сила трения, обусловленная скольжением поверхности шара по столу, направлена к играющему. Она замедляет вращение и «толкает» центр тяжести шара; шар катится без скольжения в сторону играющего — это то, что называется оттяжкой.

Удар с накатом представлен на среднем рисунке на с. 90. Игрок, желая «сделать» (положить в лузу) одним ударом шар 4 и шар 7, посылает биток с накатом так, что шар 4 рикошетом от шара 7 заходит в лузу. После столкновения с шаром 4 биток сначала вращается на месте, но сила трения толкает его к лузе. Тем временем шар 7, отскочив от борта возле лузы, опять выходит на линию между битком и лузой. Биток загоняет шар 7 в лузу и останавливается.

Выше речь шла только об ударах по средней вертикальной линии на поверхности битка. Такие удары придают

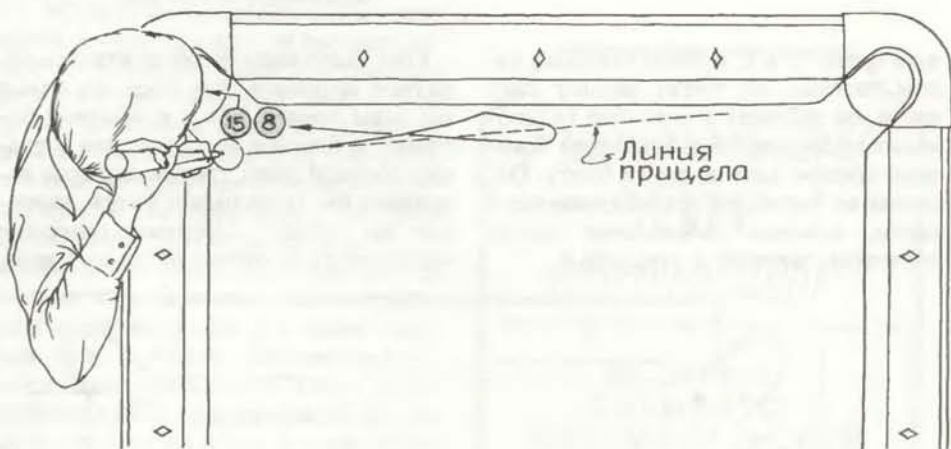
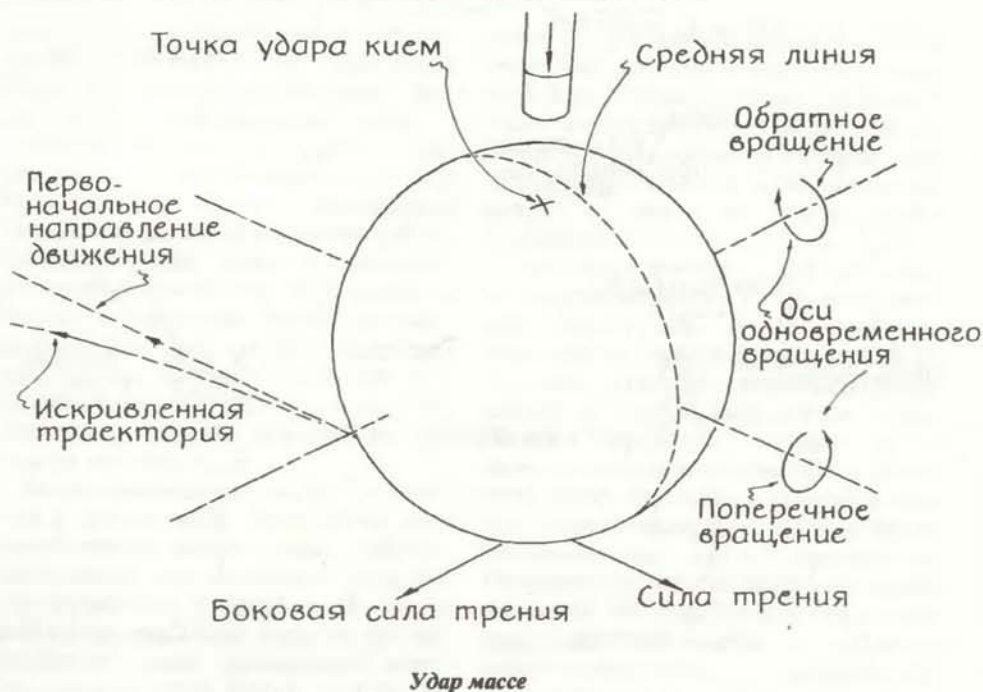
битку прямое или обратное вращение. Если же сделать удар в другом месте, то ось вращения, по-прежнему проходя через центр тяжести, уже не будет горизонтальна. Удар по левой половине шара (удар левым французом) придает ему левое вращение (левое эффе), а по правой — правое. Если смотреть сверху, то левое эффе — это вращение по часовой стрелке вокруг вертикали. Как и раньше, скорость вращения зависит от плеча силы. Чем дальше от середины шара делается удар, тем больше плечо силы и тем быстрее вращение вокруг вертикали. Трение шара о стол лишь замедляет вращение.

Если кий ударяет сбоку сверху или внизу, то шар вращается вокруг оси, наклоненной к горизонтали и вертикали. Удар ниже середины и слева приводит к оттяжке с левым эффе (оттяжке левым французом). Центр тяжести получает импульс, как обычно, но шар вращается вокруг оси, отклоненной от вертикали влево (относительно играющего). Можно считать, что шар вращается сразу вокруг двух осей: вертикальной (левое вращение) и горизонтальной (обратное). Основная сила трения, действующая на шар, обусловлена обратным вращением.

Биток с боковым вращением движется по прямой, как и шар без бокового вращения, но он совсем не так отскакивает от борта. Шар без бокового вращения отскакивает под таким же углом, под каким и подходит к борту. Если он идет перпендикулярно борту, то, отразившись, должен вернуться по той же линии. Если же у него левое эффе, то он отходит от борта влево (относительно играющего) из-за силы трения, действующей в момент соприкосновения с бортом. Шар с левым эффе вращается по часовой стрелке вокруг вертикали. Сила трения, обусловленная его скольжением по борту, направлена влево. Когда шар отскакивает от борта, его скорость приобретает составляющую, направленную влево. Шар отходит от борта по прямой, соответствующей сумме двух составляющих скорости: перпендикулярной борту и направленной влево.

Для шара с левым эффе, подходящего к борту под любым другим углом, направление отскока изменяется точно так же. В случае шара с правым эффе все изменения противоположны. Очень просто запомнить, что направление отскока поворачивается в ту же сторону, в какую вращается и шар: при левом эффе — по часовой стрелке, а при правом — против.

Если шар без бокового вращения подходит к борту под углом, отличным от  $90^\circ$ , то за счет трения о борт он приобретает боковое вращение. У шара, подходящего к борту, две составляющие скорости — перпендикулярная борту и параллельная ему. При сопри-



Применение удара массе

косновении с бортом из-за наличия параллельной составляющей возникает сила трения, действующая на шар. Момент этой силы закручивает шар вокруг вертикали. Предположим, что шар послан к борту справа от играющего. Если он первоначально не вращался, то отскакивает от борта с левым эффе.

Выше рассматривалось вращение вокруг осей, лежащих в плоскости, перпендикулярной направлению движения шара. Удар массе придает шару вращение вокруг оси, не лежащей в этой плоскости. Держа кий почти вертикально, играющий бьет им вниз по боковой поверхности шара-битка. Горизонтальной составляющей удара определяется начальное направление перемещения битка, а за счет сообщенного ему вращения возникает сила трения, действующая на биток со стороны стола и искривляющая его траекторию.

Предположим, что играющий делает резкий удар по левой стороне шара.

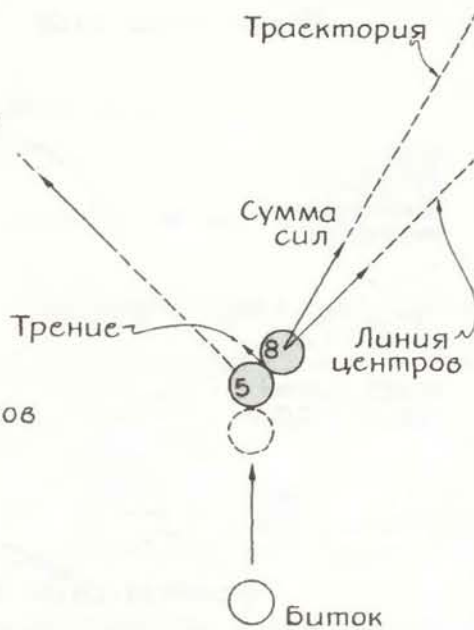
Поскольку удар сильный, а плечо силы большое, шар быстро закрутится. Он будет вращаться вокруг оси, лежащей приблизительно в горизонтальной плоскости, но не перпендикулярной начальному направлению движения шара. Можно считать, что он вращается вокруг двух осей. Одна из них параллельна начальному направлению движения, а другая — перпендикулярна. Вращение вокруг перпендикулярной оси — обычное обратное вращение при ударе-оттяжке. Вращение же вокруг другой оси заставляет шар скользить в перпендикулярном ей направлении, в связи с чем возникает сила трения, направленная против скольжения. Эта боковая сила искривляет траекторию шара.

Массе (дугвик) обычно применяют для того, чтобы послать биток в обход препятствия и попасть в заслоненный шар. Более сложный случай показан на нижней иллюстрации на с. 91. Здесь цель такова: одним ударом положить в



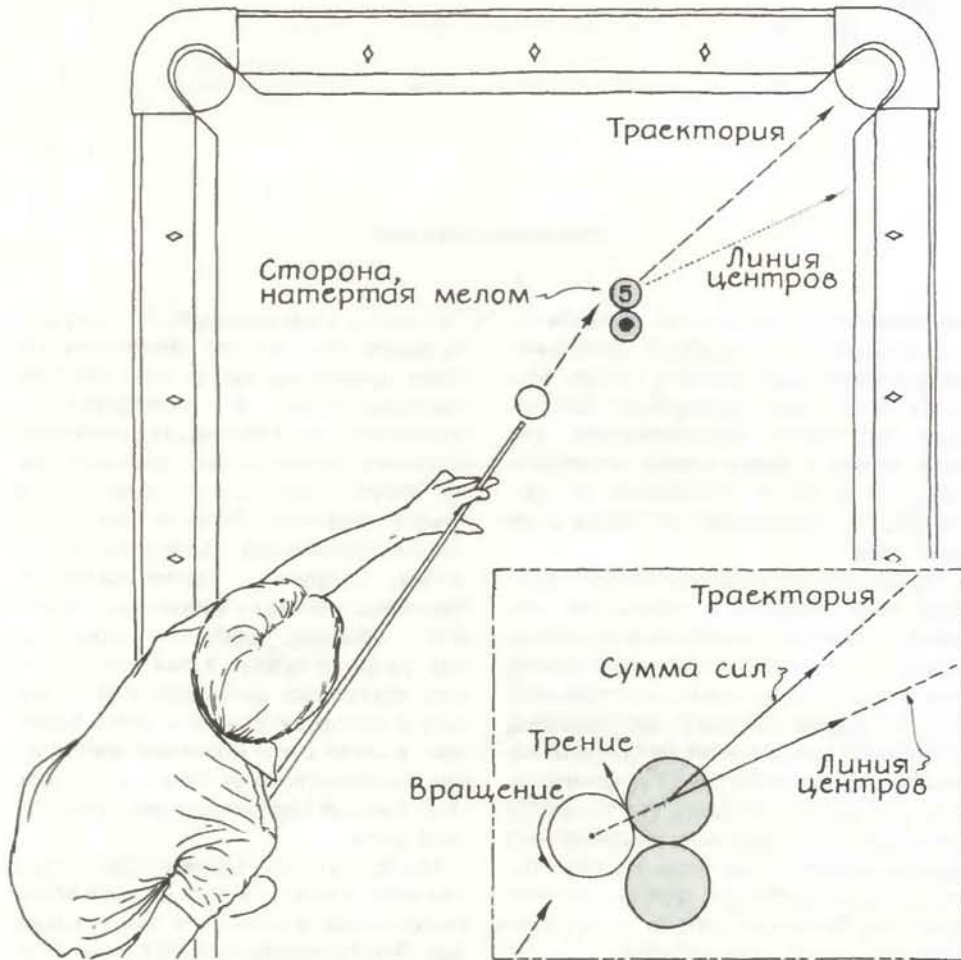
Столкновение битка с одним шаром

лузу шары 15 и 8, причем именно в таком порядке. По битку делают удар массе, он забивает в лузу шар 15, проходит мимо шара 8 и благодаря боковому трению идет по дуге к борту. Отскочив от борта, он останавливается и затем, изменив направление своего движения, загоняет в лузу шар 8.



Столкновение битка с шаром, тушующим другой шар

При ударе кием битку придается обратное вращение для создания такой же силы трения, как и в обычной оттяжке, и боковое вращение для создания боковой силы трения, которая искривила бы траекторию битка, направив его к борту. Обратное вращение мало влияет на отскок битка от борта,



Возникновение силы трения между двумя соприкасающимися шарами

а боковое трение удерживает его у борта. После отскока скорость перемещения уменьшается до нуля из-за обратного вращения. Поскольку шар продолжает вращаться, сила трения возвращает его к играющему. Боковая же сила трения продолжает толкать шар к борту. Поэтому после того, как направление движения изменится на обратное из-за оттяжки, биток возвращается к борту и забивает в угловую лузу шар 8.

Когда биток соударяется с другим шаром, он передает ему часть импульса и кинетической энергии. При лобовом столкновении передача полная. В случае же нелобового столкновения шары расходятся приблизительно по взаимно перпендикулярным траекториям. (Некоторая малая доля энергии шаров теряется при столкновении, и угол между их траекториями немного меньше  $90^\circ$ .)

Очень легко определить, куда будут двигаться оба шара после столкновения. Представим себе шары в момент их соприкосновения и проведем мысленно прямую через их центры. В этот момент на ударяемый шар со стороны битка действуют две силы. В точке соприкосновения перпендикулярно линии, соединяющей центры шаров, действует сила трения. Она почти всегда столь мала, что ее можно не учитывать. Параллельно же указанной линии действует более значительная сила, отталкивающая шар от битка вдоль этой линии. Направление движения шара после столкновения полностью зависит от ориентации линии центров в момент столкновения. Опытный игрок может задать такое положение линии центров в момент столкновения, что ударяемый шар покатится в лузу. При этом он знает, что биток покатится перпендикулярно траектории «играемого» шара.

Если биток идет с накатом или оттяжкой и еще продолжает скользить из-за вращения, приближаясь к другому шару, то картина столкновения немного меняется: после столкновения биток движется по дуге. Предположим, что битку придан сильный накат. При столкновении с другим шаром он передает ему часть импульса и кинетической энергии горизонтального движения. Если трение между сталкивающимися шарами незначительно, то вращение битка совершенно не передается другому шару. После столкновения биток удаляется по линии, перпендикулярной траектории другого шара. Но у битка еще сохраняется прямое вращение. Важно то, что, вращаясь, он теперь скользит поперек своего пути. Скольжение, перпендикулярное первоначальному направлению движения, вызывает появление боковой силы трения, которая искривляет траекторию шара. Поэтому при накате траектория

битка после столкновения искривляется в сторону его первоначального направления, а при оттяжке — в другую сторону.

В обычных условиях трение между двумя сталкивающимися шарами пренебрежимо мало. Его можно увеличить, натерев поверхность шаров мелом. Прекрасный пример приводится в книге Берна. Ситуация показана на рисунке на с. 92: игрок должен положить шар 5 в правую лузу. Можно ли это сделать без соударения битка с помеченным шаром? В обычных условиях — нет. Шар 5 может пойти в лузу только в том случае, если при столкновении битка с шаром 5 линия центров направлена в лузу. Но на пути битка находится помеченный шар.

Задачу можно выполнить, если играющий натрет мелом шар 5 с левой стороны, а затем направит в это место биток с небольшим правым эффе. Благодаря мелу трение между шарами будет ощутимым. На шар 5 при столкновении будут действовать две силы: одна — параллельная линии центров, а другая (сила трения) — перпендикулярная. Шар 5 пойдет в направлении результирующей силы, которая (в соответствии с замыслом играющего) направлена в угловую лузу.

Конечно, натирать шар мелом запрещается правилами бильярдной игры, но подобного действия трения между шарами можно добиться и без нарушения правил. Когда биток соударяется с другим шаром, который стоит, тушуя еще один шар (т.е. касаясь его\*), то при таком столкновении возникает трение между соприкасающимися шарами, которое может сильно изменить траекторию одного из них. Такой случай показан на правом верхнем рисунке на с. 92. Биток идет прямо на шар 5, который стоит, тушуя шар 8.

Столкновение можно мысленно разделить на два этапа. Сначала биток передает энергию и импульс шару 5, а затем шар 5 соударяется с шаром 8. Шары 5 и 8 должны разойтись по взаимно перпендикулярным траекториям, но из-за трения между ними шар 8 заканчивает движение ближе к прямому направлению.

В процессе столкновения между шарами 5 и 8 шар 5 начинает двигаться перпендикулярно линии их центров. Шар 8 должен двигаться параллельно ей под действием силы столкновения с шаром 5. Но вследствие первоначального туша шар 5 при своем движении трется о поверхность шара 8, и возникает сила трения, которая какое-то мгновение толкает шар 8 перпендикулярно предполагаемой траектории его движения. Фактическая траектория определяется суммарным действием

этих двух сил, возникающих при столкновении. Получается, что траектория ближе к прямому направлению, чем было бы без первоначального туша.

Последний пример — трюк, ставший широко известным после того, как С. Майзерек, мастер бильярдной игры, выполнил его в коммерческой телелепередаче. Пять шаров сгруппированы вокруг боковой лузы. Шар 6 стоит в разрезе угловой лузы. Можно ли «сыграть» (положить в лузу) все шесть шаров одним ударом? Пишущий эти строки, конечно, вряд ли сможет, но Майзереку, говорят, это удается три раза из четырех.

Биток направляют на шар 2 с накатом и левым эффе. Представим себе расположение шаров и силы, действующие между ними, в момент, когда биток соударяется с шаром 2. На шар 2 действуют три силы. Одна из них параллельна линии, проходящей через его центр и центр битка. Другая направлена вдоль линии центров шаров 2 и 3. Из-за первоначального туша этих шаров на шар 2, когда он проскальзывает относительно шара 3, в точке соприкосновения действует еще и сила трения, направленная вправо. Суммарная сила посылает шар 2 на шар 5, отскочив от которого он попадает в боковую лузу. В это время шар 3 тоже движется. Когда биток ударился о шар 2, возникли две силы, действующие со стороны шара 2 на шар 3. Сила, параллельная линии их центров, резко толкнула его к борту. Другая сила — направленная влево сила трения, обусловленная скольжением шаров друг по другу при отходе шара 2 влево. (Она возникает из-за первоначального туша.) Борт отталкивает шар 3 обратно, посылая его через весь стол. При этом шар 3 немного отклоняется влево из-за кратковременного взаимного трения с шаром 2. Его движение заканчивается в дальней боковой лузе.

Шар 5 первоначально стоял, тушуя шары 1 и 4. Когда по нему ударяет шар 2, на него действует несколько сил. Одна направлена по линии, соединяющей его центр с центром шара 2. Еще две направлены по линиям центров шаров 5 — 1 и 5 — 4. Кроме того, на шар 5 действуют силы трения, обусловленные тушем. Сумма всех сил направляет шар 5 в левую угловую лузу. Сумма сил, действующих на шар 1, посылает его в ближнюю боковую лузу. Суммарная сила направляет шар 4 в дальнюю левую лузу. Пять шаров сыграны.

После того как эта группа шаров рассеялась, сюда возвращается биток. Он был послан с накатом (для большого пробег) и с левым эффе. После столкновения с шаром 2 он отошел к дальнему борту, почти полностью сохранив первоначальное вращение. Но теперь вращение происходит отчасти поперек направления движения. Он идет по дуге

влево и отскакивает ближе к угловой лузе, чем было бы в отсутствие боковой силы. Отскок от борта «забирает» почти все его вращение. После этого он движется прямолинейно и еще два раза отражается от борта, в результате налетает на шар 6 на дальнем конце бильярда и загоняет этот шар в лузу.

Здесь были выбраны, конечно, лишь отдельные варианты из тысяч возможных. Может быть, читателя особенно заинтересует анализ физики ударов по большим группам соприкасающихся шаров. У Берна есть несколько любопытных примеров, авторы которых — мастера бильярда XIX в. Читателя могут также заинтересовать удары с перескоками, при которых биток посылает так, что он прыгает по бильярду или даже с одного бильярда на другой. Но нужно иметь в виду, что владельцы бильярдных не очень-то любят такие эксперименты, даже если те преследуют чисто научные цели.

Издательство  
**МИР**  
предлагает:

И. Экланд  
**ЭЛЕМЕНТЫ  
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ  
ЭКОНОМИКИ**

Перевод с английского

Введение в математическую экономику, начинающееся с основных понятий и доведенное до современных математических моделей. 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.



\* Английский термин — «смерзшился» шары. — Прим. перев.

## Холера; памятники эпохи инков; киты и дельфины; статистический портрет американцев;

**ФИЛИП MORRISON**

У. И. ван Хейнинген и Джон Р. Сил.  
ХОЛЕРА: АМЕРИКАНСКИЙ НАУЧНЫЙ  
ОПЫТ, 1947—1980

CHOLERA: THE AMERICAN SCIENTIFIC EXPERIENCE, 1947—1980, by W. E. van Heyningen and John R. Seal. Westview Press, Boulder, Colo. (\$27.50)

**О**БИЛЬНЫЕ муссонные дожди обрушиваются на тысячемильные пространства подветренных южных склонов Гималаев и стекают оттуда в океан по многочисленным рукавам широкого устья Ганга. Эта сложная дельта — сердце Бенгалии, густонаселенной и плодородной области, раскинувшейся на 200 миль к востоку и к западу между двумя столицами: Даккой и Калькуттой. С незапамятных времен жители этой на редкость влажной местности страдают от эндемичной бактериальной инфекции — холеры, которая ежегодно уносит множество человеческих жизней. Заболевание развивается внезапно и симптомы его ужасны: больного мучит озноб, страшная жажда, его постоянно тошнит, каждый час или два повторяется стул, причем выделения имеют вид водянистой, прозрачной жидкости. Несчастный испытывает тяжелое предчувствие близкой смерти, которая и ожидает его буквально через несколько дней. Среди больных холерой умирает каждый третий.

Два столетия назад, возможно вследствие каких-то генетических изменений, бактерия — возбудитель холеры — приобрела способность путешествовать. Последовали шесть пандемий; заболевание стало бедствием, слово холера превратилось в ругательство. Американцы подсчитали, что за несколько лет после Гражданской войны в США холера унесла 100 тысяч жизней. Во время самой сильной в Великобритании эпидемии холеры в 50-е годы XIX в. личный врач королевы Джон Сноу убедительно продемонстрировал, что инфекция передавалась через питьевую воду, загрязненную сточными водами. Чтобы прийти к этому выводу, ему не нужно было знать, что холеру вызывает бактерия, имеющая форму запятой, которая, как примерно в то же время обнаружил Филиппо Пачини, в огромном количестве присутствует в содержимом ки-

шечника умерших от холеры. В развитых капиталистических странах в XIX в. удавалось избежать распространения холерного вибриона (*Vibrio cholerae*) благодаря тому, что водопроводные трубы с питьевой водой тщательно отделялись от системы канализации; правда, чтобы это вошло в правило, потребовалось целое поколение. Однако в большинстве тропических стран все еще нет возможности для подобных профилактических мер и миллионы деревень подвергаются риску заражения.

Книга весьма увлекательна, так как освещает очень разнообразный материал: в ней сообщаются и новейшие результаты лабораторных исследований, и любопытные подробности об организации противохолерных мероприятий. Вот уже тридцать лет во всем мире идет война против холерного вибриона; свои силы объединили, с одной стороны, ученые — физиологи и биохимики, а с другой — опытные врачи из тех стран, которые особенно подвержены холере. Авторы книги — ветераны борьбы с холерой. Один из них биохимик, другой занимается организацией медицинских исследований.

Профилактика холеры стоит дорого; в развитых странах это не препятствие. За последние десять лет лечение холеры подешевело благодаря тому, что частично расшифрован механизм заболевания. Смертоносное воздействие холерного вибриона связано с тем, что он вызывает неглубокие поражения эпителия кишечника. Кишечник выстлан слоем клеток с так называемой щеточной каемкой. Общая площадь поверхности эпителия 200 м<sup>2</sup> — таким «ковром» можно было бы застелить весь Версальский дворец, но он искусно свернут в трехметровую трубку тонкой кишки, компактно уложенной в брюшной полости. При холере на клетки со щеточной каемкой действует токсин, выделяемый вибрионами. Холерный токсин — это пептид; он быстро проникает внутрь клеток кишечника и в результате резко увеличивается уровень циклического аденозинмонофосфата — то же происходит при реакции на гормон. Это явление хорошо известно, однако остается непонятным, каким конкретно образом внешний эффектор вызывает изменения в

клетке. Под воздействием токсина нарушается равновесие между поглощением и выделением воды с растворенными в ней ионами. Неповрежденная стенка кишечника пропускает 4—5 л воды в час: в норме, сколько воды всасывается, столько и выделяется в просвет кишечника. Больной холерой всего лишь за несколько минут теряет столько же жидкости, сколько здоровый человек за день. В книге приводится фотография, на которой рядом с худощавым улыбающимся мужчиной, только что выздоровевшим от холеры, стоят 96 литровых бутылок. Такой объем жидкости ввели ему внутривенно, благодаря чему он остался жив. Потеря до 30 л воды в день обычна при холере.

Заболевание поражает только эпителиальные клетки кишечника, в кровь токсин никогда не попадет. Эти клетки в норме постоянно обновляются: срок жизни одной клетки — примерно неделя, после чего она отмирает и слущивается. Отравленная холерным токсином, мертвая клетка «зря занимает место» до тех пор, пока не заменится новой, непораженной клеткой. Больного убивает, собственно, не токсин: смерть наступает из-за сильного обезвоживания, неутоляемой жажды и «загустения» крови, которые развиваются вследствие нарушения нормального функционирования эпителиальных клеток. Прежде врачи давали больному как можно больше питья, но это приносило лишь кратковременное облегчение: через 1—2 часа снова нависала угроза смерти. Выпить столько воды, сколько нужно, просто невозможно.

Осенью 1947 г., во время очередной волны холеры в Египте, удалось выяснить физиологические причины смерти от этой инфекции. Группа эпидемиологов, проанализировав ряд острых случаев заболевания, пришла к заключению, что сущностью патологии является диарея. Группу возглавлял физиолог из Рокфеллеровского института Роберт Аллан Филлипс, офицер военно-морского флота США. Филлипс приезжал в Каир и раньше, во время войны, в качестве санитарного инспектора флота и работал в составе Американской противотифозной комиссии, созданной там в 1942 г. Филлипсу нравилась эта роль. Поэтому, когда война закончилась и его лабораторию в Каире должны были закрыть, он отправился в Вашингтон и стал искать поддержки в различных ведомствах. Отозвалась только служба ВМС, которая всегда следила за тропическими заболеваниями и постоянно вела соответствующие исследования. При первом же наступлении холеры был организован успешный отпор. Это положило начало нынешней американской кампании против холеры, которую уже много лет ведут исследователи из ВМС, армии, госдепартамента, мини-



стерства здравоохранения, образования и социального обеспечения, а также из академических кругов.

Хроника борьбы с холерой не менее волнующа, чем любой рассказ о современной войне. Представьте себе: однажды поздно вечером в одном из отелей Атлантик-сити собирается комитет и разрабатывает стратегию, которая охватывает половину земного шара. Продолжение или прекращение исследований зависит от поворотов внешней политики. Научные руководители продвигаются по службе или, наоборот, терпят фиаско в зависимости от того, как их друзья и критики ссорятся или ладят. Закономерная смена взглядов и экспериментальных подходов в той или иной области исследований, конечно, определяет события, но и случайность нередко оказывается немаловажной. Роль администратора несомненна, но не обойтись и без талантливого механика. Как раз благодаря простому механику во время эпидемии холеры в районе Дакки бесперебойно ходил речной транспорт скорой помощи, который сыграл большую роль при испытании противохолерной вакцины в 1964 г. В этой связи вспомним добровольцев из Балтимора, на которых испытывали вакцину.

Здесь просто невозможно перечислить все серьезные битвы с холерой и все медицинские группы, принимавшие в них участие. Десять с лишним лет ушло на проверку такого способа лечения, как обильные внутривенные вливания стерильного изотонического апиринового раствора. Оказалось, что это довольно эффективное средство: среди тех больных, которым делали такие вливания, погибало менее 1%. Но обеспечить можно было сравнительно мало заразившихся холерой, поскольку требовался огромный штат квалифицированных медсестер, не говоря уже о врачах и больницах. Вакцины, приготовленные из убитых вибрионов или из закристилизованного токсина, оказались слабыми; впрочем, этого и следовало ожидать. Довольно дешевый антибиотик — тетрациклин — убивает вибрионы, но лишь после того, как уже поражен эпителиальный слой кишечника.

Простой и эффективный метод лечения, хотя его и нельзя считать окончательной победой, был найден в 1968 г. в результате исследований, проведенных в группе Филлипа в Маниле в 1962 г., и других, более ранних лабораторных исследований. Было обнаружено, что, если к питьевой воде добавлять глюкозу, больной может выпить необходимый объем жидкости. Видимо, проникновение трехкомпонентного раствора (ионы натрия, молекулы глюкозы и молекулы воды) через полупроницаемую мембрану клеток тонкого кишечника холерным токсином не

подавляется. Эти результаты были подтверждены данными из Лаборатории Джонса Гопкинса в Калькутте. Во время сезона муссонов в 1971 г., когда 6 млн. беженцев устремились из Восточного Пакистана на запад прочь от ужасов Гражданской войны, была страшная эпидемия холеры. Вливания глюкозного раствора тогда спасли многих. Почти 4000 больных находились на излечении, но уровень смертности не достиг и 4%. Больным давали пить раствор глюкозы и соли, приготовленный непосредственно перед употреблением. В дело пошли местные препараты, причем в сумме на всех больных было истрачено всего лишь 750 долл. И все-таки это еще не победа. Не исключено, что некоторым больным потребуется постоянное внутривенное вливание жидкости. Тем не менее похоже, что механизм действия холерного токсина понят правильно. Холеру побеждают не благодаря медицинской профилактике (если только не включать в понятие медицинской профилактики нормальное водоснабжение и адекватное питание), а путем очень простого лечения, заключающегося всего лишь в питье воды.

В 1979 г. в Дакке открылся новый центр по борьбе с холерой. Его финансирует целый ряд стран. Управление центром также интернационально. У этого учреждения большие планы: глобальное наступление на холеру и другие заболевания, сопровождающиеся диареей. Ежегодно регистрируется около 500 млн. случаев подобных заболеваний, причем они являются одной из основных причин детской смертности. В 1978 г. журнал "Lancet" писал: «Открытие того, что транспорт глюкозы и натрия в эпителии тонкого кишечника сопряжены таким образом, что глюкоза усиливает всасывание воды — жизненно важное достижение медицины XX в.»

Кстати, американским налогоплательщикам борьба с холерой обошлась в такую же сумму, что и производство какого-нибудь военного самолета.

*Джон Хемминг, Эдвард Рэнни. Памятники эпохи инков*

MONUMENTS OF THE INCAS, text by John Hemming, photographs by Edward Ranney. A New York Graphic Society Book. Little, Brown and Company (\$45)

**К**НИГА написана англичанином Дж. Хеммингом. Фотографии, занимающие в ней столь важное место, сделаны американцем Э. Рэнни. Их совместные усилия увенчались выпуском в свет великолепного издания, отличающегося не только превосходным оформлением, но и всесторонним охватом памятников культуры Тауантин-

суйу\* — империи, созданной инками менее чем за столетие.

Творения древних мастеров, прекрасные и загадочные, предстают перед нами на фоне заснеженных пиков Анд. Для того чтобы познакомиться с ними читателя, авторам пришлось проделать огромный путь от озера Титикака до расположенного у экватора города Кито. Несомненно, Рэнни удалось как никому другому показать на своих фотографиях памятники инков среди окружающих их величественных гор, самые очертания которых, возможно, породили своеобразный стиль, отличающий искусство древних перуанцев. Словом, настоящее издание займет особое место среди других книг об этой замечательной цивилизации, уничтоженной завоевателями едва ли не в период ее расцвета.

Первая из пятнадцати глав книги — это краткий рассказ об истории инков и их архитектуре (основой для него послужила недавно изданная прекрасная монография Грациано Гаспарини и Луизы Марголис, на которую уже давалась рецензия в этом журнале в марте 1981 г.) В последующих главах рассказывается о наиболее известных памятниках, с которыми можно познакомиться, если совершить путешествие от Острова Солнца до Ингапирки — единственного дошедшего до нас памятника цивилизации инков на территории современного Эквадора. Большая часть книги посвящена центральному району древней империи: окрестностям ее горной столицы Куско (в плане этот город напоминает лежащую пуму, что хорошо видно на снимке, сделанном с гор Вилькабамбы). Снимки наиболее выдающихся архитектурных памятников на фоне окружающего ландшафта выполнены мастерски, их прекрасно дополняют тексты, снабженные выдержками из древних хроник, докладов археологических экспедиций и рассказов путешественников. Хемминг неоднократно обращается к интереснейшим работам современных перуанских ученых. В книге много примечаний, а библиография послужит ценным материалом для тех, кто всерьез заинтересуется историей культуры инков.

Автор настоящей рецензии, исполненный зависти к тем счастливым, которые смогут посетить Анды, предварительно ознакомившись с этой великолепной книгой, находил едва ли не на каждой странице подмеченные Хеммингом и Рэнни интереснейшие детали, упущенные авторами многих других книг об инках. Возьмем для примера подробнейшее описание удивительного памятника скульптуры инков —

\* Тауантинсуйу — «Страна четырех частей», официальное название Империи инков. — *Прим. перев.*

«каменных святилищ Саихуите» — неподалеку от перевала Сокклакаса в полутораста километрах от Куско. Там, посреди небольшого плато, на зеленых лугах, окруженных снежными пиками, лежат два огромных камня. Большой из них «похож издала на осколок кремня». Заранее разочаруем читателя, ожидающего очередного рассказа о потрясающих строительных способностях древних: никто и никуда не передвигал эту глыбу весом в несколько сот тонн. Зато человеческие руки превратили поверхность скола шириной около пяти метров в изобилующий мельчайшими деталями барельеф. Охотники, пумы, ящерицы, лягушки, змеи, вигони и множество других фигурок размещены в запутанном лабиринте, образованном крошечными лесенками, алтарями и платформами, среди которых по бесчисленным желобкам во время совершения неведомых нам религиозных обрядов стекали сверху струйки жидкости. К сожалению, все изображения, кроме одной фигурки пумы, были изуродованы «иконоборцами». Внимание читателя, несомненно, привлекают две великолепные фотографии этого шедевра скульптуры инков. Древние мастера воплотили в камне свой микрокосм, — недаром путешественники XIX столетия видели в этих рельефах своеобразную карту Анд.

На одной из прекрасно сделанных фотографий мы видим древний город Мачу-Пикчу\* со склона горы, укрывающей его с юга: невольно бросается в глаза его поразительное сходство с каменным барельефом. Кстати, борозды в камне монумента Саихуите, о котором речь шла выше, указывают на то, что он некогда был инкрустирован медью, возможно позолоченной. Вероятно, в металле передавались мельчайшие детали, которые невозможно вырезать в камне. Не исключено, что именно такие барельефы послужили основой для возникновения многочисленных легенд о «золотых городах». Из других архитектурных памятников внимание Хемминга и Рэнни привлекли инти-хуатаны — платформы странной формы, напоминающие гномоны. Кажется невероятным, что эти округлые каменные платформы, находящиеся неподалеку от Куско, могли сами по себе служить астрономическими приборами. Однако вполне возможно, что имеющиеся в них выемки были предназначены для установки приборов, изготовленных для наблюдения за Солнцем.

Мастерство фотографа и великолепное полиграфическое воспроизведение черно-белых снимков заслуживают са-

мой высокой оценки, так же как и сама книга, увлекательно повествующая о памятниках древней цивилизации.

*Г. Мелвилл. Моби Дик, или Белый Кит*

MOBY-DICK; OR, THE WHITE WHALE, by Hermann Melville. Illustrated with 100 woodcuts by Barry Moser. University of California Press (\$25)

*Д. Е. Гаскин. ЭКОЛОГИЯ КИТОВ И ДЕЛЬФИНОВ*

THE ECOLOGY OF WHALES AND DOLPHINS, by D. E. Gaskin. Heinemann Educational Books, Inc. Exeter, N. H. (\$45)

**УМЕНЬШАЮТСЯ** ли размеры кита?

Должен ли он исчезнуть с лица земли? В 105-й главе своей книги Мелвилл задает эти вопросы и сам же отвечает на них: «И как швейцарцы удалились в свои студеные горы, когда враги вторглись к ним в долины, так и настоящие киты, вытесненные из саванн и лугов центральных морей, могут уйти в свои полярные цитадели и, нырнув под последние прозрачные барьеры и стены, всплыть среди ледяных полей и разводьев; и пусть попробует человек проникнуть вслед за ними в заколдованный круг вечного декабря. . . Вот почему мы объявляем кита как вид бессмертным, сколь уязвим бы он ни был как отдельная особь». Мелвилл писал в эпоху трехмачтовых кораблей, еще до того как Свен Фойн изобрел пушку, стрелявшую гарпуном с гранатой, до того как появились быстроходные промысловые суда и гигантские плавучие фабрики. Здесь не место давать оценку книге Мелвилла — этому левиафану прозы, — отметим лишь прекрасное полиграфическое исполнение издания, подлинным украшением которого являются выразительные гравюры Барри Мозера. На них изображены не персонажи или эпизоды, а орудия и снаряжение китобоев, их добыча, корабли и гавани. В 1979 г. А. Хойем вручную набрал и отпечатал в Гуди Модерн несколько сотен экземпляров книги Мелвилла ин-фолио, которая является уменьшенной копией этого коллекционного издания: формат книги стал меньше вдвое, а цена — в 40 раз.

Д. Е. Гаскин ставит те же вопросы, что и Мелвилл. Океанолог из Университета Гуэлфа (пров. Онтарио, Канада), он уже 20 лет занимается изучением китообразных и участвовал в экспедициях, работавших повсюду — от приполярных Южных морей до Ньюфаундлендской банки. Его труд — это критический разбор того, что мы знаем и чего не знаем об основных видах китообразных, причем главное внимание уделено движению популяций во

времени и пространстве, а об отдельных животных и их особенностях сообщается лишь самый необходимый материал. И если у Мелвилла кит был символическим, то у Гаскина он становится «полумифическим существом».

Первая треть книги посвящена миграциям китов (несколько видов рассмотрено подробно), благодаря которым животные находят условия, необходимые для размножения и получения достаточного количества корма. Распространение китов представляет собой компромисс между этими двумя потребностями, сложившийся в долгом процессе эволюции китообразных. Направленность миграций китов вполне понятна: зиму они проводят в теплых морях, а летом уплывают в прохладные воды. Ведущим фактором при этом является корм. В открытом море кашалоты питаются главным образом кальмарами, а вблизи берегов — рыбой. И миграции кашалотов — вспомним Белого Кита — не имеют сколько-нибудь четких маршрутов. (Хотя крупных самцов кашалотов в некоторых районах уже сильно истребили, общая численность этого широко распространенного вида составляет около 600 тыс. животных, и такое положение автор называет удовлетворительным.) Голубые киты, питающиеся планктоном, напротив, собираются группами и совершают регулярные миграции из тропиков в приполярные воды, поскольку криль — главный компонент их пищи у полюсов — имеет сезонно меняющуюся неравномерную локализацию.

Мы до сих пор не знаем, как киты проходят свой путь в море и как они охотятся. Возможно, у разных видов ту или иную роль могут играть экология, ориентирование по звездам и даже по береговым приметам. Недавно эксперимент с горбатым китом, сохранившим некоторое время в неволе, показал, что с «завязанными глазами» это животное не могло проплыть даже сквозь самый простой лабиринт. Именно такие сомнения в простых и привлекательных предположениях, рождающиеся при исследованиях и сопутствующие нашим скромным успехам в изучении китообразных, и задают тон бесстрастной книге профессора Гаскина.

Ключом к любому фундаментальному исследованию экологии китообразных, несомненно, является их обмен веществ. В очень интересной главе показано, что при пересчете на вес тела киты и дельфины по своим энергетическим потребностям, вероятно, незначительно отличаются от других млекопитающих. Согласно оценке, 50-тонный самец кашалота, подобный Моби Дик, ежедневно поедает кальмаров в количестве до 3% от собственного веса. Самки кашалота, которые

\* Мачу-Пикчу — крепость и святилище инков XV — XVI вв. в древнем Перу. — Прием. перев.

приблизительно в 4 раза мельче самцов, гораздо больше зависят от наличия корма, особенно если учесть, что их организм вырабатывает молоко. У кашалотов самки обычно живут отдельно от самцов, возможно — но это принадлежит к области догадок — из-за разницы в энергетических потребностях.

Голубые киты достигают наибольших размеров в Антарктике, где тот вид китов, которым они питаются, бывает обилием лишь 4 месяца в году. В северном полушарии голубых китов меньше и они мельче; питаются они в течение полугода более разнообразным по видовому составу зоопланктоном. Возможно, крупные размеры голубых китов — это адаптация к короткому кормовому периоду. Перед китами неизбежно встает выбор: оставаться ли там, где корма мало, или мигрировать в более теплые воды. Проблема эта даже еще более сложна, так как, по видимому (хотя на этот счет есть и некоторые сомнения), крупные киты-полосатики тяжелее воды и должны расходовать энергию на то, чтобы просто держаться у поверхности и дышать. Тщательная оценка затрат энергии на передвижение, потери тепла и т.п. позволяет подсчитать количество китов, съеденного голубыми китами, когда их было еще много. Предполагается, что продуктивность китов в 10—20 раз превосходит общую среднегодовую добычу рыбы. И если продолжительность жизни мелких видов китов несколько лет, как показывают исследования, коммерческая добыча китов в будущем могла бы неопределенно долгое время поддерживаться на уровне валовой добычи всех видов рыбы. Может быть, и так.

Киты — до некоторой степени животные стадные. Автор несколько скептически относится к предположению, будто этот факт уже подразумевает сложную социальную организацию их жизни, поскольку, как он установил, все, вероятно, исчерпывается просто скоплением и совместными поисками корма. Можно, видимо, считать доказанным, что кашалоты, кормясь на глубине, держатся друг от друга на расстоянии, обеспечивающем акустический контакт. Нырять, животные расплываются в разные стороны, но при этом часто подают сигналы, так что каждое из них знает, где находятся остальные. Они могут возвращаться на поверхность плотной группой, что, возможно, защищает от акул молодняк, не способный нырять на большую глубину.

Треть книга носит узко специальный характер и представляет собой попытку разобраться в эволюции и видообразовании отряда китообразных. Недавно полученные данные о структуре хромосом подтверждают предположение,

что и мелкие, и крупные китообразные произошли от единого корня в палеоцене, хотя до последнего времени эта точка зрения популярностью не пользовалась.

В заключение автор переходит к анализу численности популяций китов и ее регулирования — предмету, более всего тревожившему Мелвилла и продолжающему тревожить нас. Учитывать число китов непросто: они неравномерно распределены в океане, метить китов и получать метки обратно крайне сложно, определение возраста или узвание отдельных особей по их индивидуальным внешним признакам весьма ненадежно. В 1980 г. впервые удалось укрепить радиопередатчик на теле полосатика и проследить за его перемещениями на протяжении 1000 миль. В настоящее время экология животных проходит фазу бурного «романа с электронно-вычислительными машинами», что порождает огромное число моделей при значительно меньшем числе реальных данных. С помощью ЭВМ совсем нетрудно получать модели отдельных видов китов и гораздо труднее учесть реальных китов и китобоев.

Модели отдельных видов, равно как общие квоты и правила, столь часто употребляемые международными соглашениями, — это абстракции, которые могут ввести в опасное заблуждение. Глава, посвященная истории китобойного промысла в послевоенные годы, наводит на мрачные размышления. Гаскин склоняется к мнению, что для оправдания почти полного истребления ряда видов используются соображения синопичной экономической выгоды. Плодотворно было бы добиться соответствия между временем службы снаряжения и периодичностью добычи морских животных. В рыболовстве наблюдается сильный спад, спустя годы продуктивность океана снова возрастет, и это можно назвать пульсирующим рыболовством. В настоящее время неплохим планом международного сотрудничества представляется цикл фундаментальных исследований, рассчитанный на 20 лет. Хотя наш анализ несколько примитивен, все же ясно, что главные ошибки в прошлом носили этический характер. Режим 200-мильной зоны, отлов китов, влияние климата на воспроизведение китов — все свидетельствует, что ставшие редкими киты не находятся в безопасности даже в своей удаленной цитадели.

США: СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОРТРЕТ АМЕРИКАНЦЕВ. Под редакцией Эндрю Хэкера и Лорри Миллена

U/S: A STATISTICAL PORTRAIT OF THE AMERICAN PEOPLE, edited by Andrew Hacker, with the assistance of Lorrrie

Millman. The Viking Press and Penguin Books (\$25)

СТАТИСТИЧЕСКИЙ ОБЗОР США: ЦИФРЫ И ИХ ИСТОЧНИКИ. 103-е ИЗДАНИЕ. 1982—1983

STATISTICAL ABSTRACT OF THE UNITED STATES: NATIONAL DATA BOOK AND GUIDE TO SOURCES, 103RD EDITION, 1982—1983, U.S. Department of Commerce, U.S. Bureau of the Census. Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office (\$15)

**Е**СЛИ ПОПЫТАТЬСЯ проследить перемещение «центра масс» населения Соединенных Штатов с 1970 г., то мы получим любопытную картину: первоначально эта воображаемая точка располагалась на побережье Чесапикского залива; начиная с 1910 г. она двигалась почти по прямой линии на запад с небольшим отклонением на юг, словно притягиваемая жарким солнцем пустынь юго-запада; наконец, в 1980 г. ее траектория впервые пересекла Миссисипи.

По результатам переписи населения на 1 апреля 1980 г. в США проживает 226 545 805 человек. Столь поразительная точность подсчета, разумеется, немалыма. Согласно предварительной оценке Управления демографической статистики, численность населения США составляет примерно 222 млн. человек, когда же результаты переписи превысили эту цифру на 2,2%, Управление решило, что на этот раз нет необходимости вводить (как это пришлось сделать в 1970 г.) 2,5%-ную поправку. Однако в 1982 г., после привлечения к суду за неправильную информацию, Управление было вынуждено пересмотреть свою позицию в данном вопросе. Оно признало, что численность негритянского населения страны снова оказалась заниженной, приблизительно на 5%. Хотя официального пересмотра результатов переписи пока не последовало, наиболее точной оценкой численности населения США можно считать цифру в 228 млн. человек.

Перепись населения, проводимая раз в 10 лет, не является единственным источником демографических данных. Каждый месяц Управление демографической статистики производит опрос около 71 тысячи семей в 1100 округах страны и составляет отчет, позволяющий сделать определенные прогнозы (правда, главной целью этих опросов является оценка уровня безработицы). Подсчет, произведенный на основе этих данных, показывает, что численность населения США, включая американских военнослужащих за границей, на 1 июля 1983 г. достигнет  $234 \pm 0,8$  млн. человек. Начиная с 1980 г. население увеличивалось примерно на 1% в год; при этом рождаемость составляла в среднем 1,6%, смертность — 0,85%

и показатель иммиграции — 0,2% в год. Предполагается, что в 2000 г. численность населения в США будет составлять  $268 \pm 15$  млн. человек.

В небольшой по объему книге социолога Эндрю Хэкера и его коллеги Лорри Миллена собраны как результаты официальной переписи населения, так и многие другие статистические данные. Поскольку значительная часть материала представлена в виде таблиц, книга может служить великолепным справочником; однако комментарии к таблицам и сравнительный их анализ представляют не меньший интерес. Книга посвящена в основном демографическим вопросам (сколько людей живет в Америке, как они расселены на ее территории, сколько их каждый год рождается и умирает, как часто они болеют, сколько американцев ежегодно вступает в брак и сколько разводятся). Большое внимание уделено и таким аспектам жизни американцев, как трудоустройство, доходы, проблемы управления, преступность, образование, жилищное строительство и туризм. Наиболее важные вопросы рассматриваются всесторонне: например, дан анализ распределения доходов в зависимости от социального происхождения, пола, национальности, профессии и целого ряда других факторов.

Любопытна приведенная таблица доходов за 1981 г. высших административных лиц крупных корпораций. Менее 10 промышленных магнатов получили более миллиона долларов, несмотря на то что некоторые из руководимых ими компаний далеки от процветания. (Разумеется, это не относится к компаниям Mobil и Union Oil.)

Рецензируемая книга не только окажется полезной для тех, кого интересует демографическая статистика, но и поможет читателям составить всестороннее представление о жизни в США. Добавим, что она снабжена алфавитным индексом и содержит достаточное количество ссылок на источники.

Вторая из рецензируемых книг — официальный статистический ежегодник. Этот солидный том объемом в тысячу страниц содержит около 1600 таблиц и множество графиков. Кстати, подобный ежегодник, изданный в 1972 г. после очередной переписи населения, уже рецензировался в настоящем журнале. Следует сказать, что ежегодник последнего выпуска также представляет большой интерес и отличается от издания 1972 г. более высоким качеством бумаги и печати. Его основу составляют таблицы; комментарии практически отсутствуют, если не считать, пожалуй, слишком формальных описаний выборок и возможных ошибок. Управление демографической статистики использует данные большого числа как правительственных, так и неправительственных источни-

ков: от Организации Объединенных Наций до Федерального бюро расследований, от Государственной радиовещательной корпорации до Военно-морского справочника Джейна. Предпринимательство и социологические исследования немислимы без анализа статистических данных, поэтому каждое государственное ведомство или промышленная ассоциация стремится вести статистический учет в своей области, будь то число жилых автофургонов или число преступлений с применением насилия.

Поражает разнообразие данных, представленных в ежегоднике. Завороженный цифрами читатель узнает, что лов менхадена по-прежнему удерживает первенство в рыбном промысле США, хотя цена на эту рыбу не высока. Или что подсолнечник — монополия Северной Дакоты — стал второй по значению сельскохозяйственной культурой в этом штате. Оказывается, что с 1961 по 1981 г. наибольшим бюджетом на космические исследования располагало Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА), а до и после этого двадцатилетнего периода — Министерство обороны. А вот данные Библиотеки конгресса, согласно которым в 1981 г. на музыкальные произведения было зарегистрировано больше авторских прав, чем на монографии и печатающиеся в журналах художественные произведения. Мы также узнаем, что в 1980 г. в США насчитывалось 60 млн. охотников и рыболовов или что потребление пищевых продуктов на душу населения оставалось с 1970 по 1980 г. неизменным (с точностью до 1%). Американцы стали потреблять заметно больше кур, сыра, свежих фруктов и меньше яиц, молока, сливок, резко снизилось потребление рафинированного сахара.

За период с 1970 по 1980 г. преступность продолжала расти; достигнув наивысшего уровня в 1980 г., она несколько снизилась в последующие 2 года. Смертность оставалась неизменной на протяжении более 20 лет. Общий тираж газет не изменился с 1970 г., так же как и число телезрителей (следует отметить, что в этот период осуществился переход от черно-белого телевидения к цветному). Примерно в 8 раз увеличилось число международных телефонных разговоров, а объем почтовой корреспонденции на душу населения возрос за 10 лет примерно на 15% (большая часть этого прироста приходится на почтовые отправления третьего класса). Число членов профсоюзов возрастало очень медленно за последние 10 лет, намного медленнее, чем число работающих. В ряде профессий, в первую очередь в таких, как парикмахеры, юристы и специалисты по вычислительной технике, существенно

увеличилась доля женского труда. Для представителей национальных меньшинств стала доступной работа в некоторых новых областях: например, в сфере управления и в техническом обслуживании самолетов. Одним словом, справочник, содержащий самую разнообразную информацию, представляет собой именно то, что сейчас модно называть «базой данных». Весьма солидная база, надо сказать.

К сожалению, в отличие от предыдущих выпусков ежегодника, в которых приводились удобные для сравнительного анализа экономические и демографические данные по нескольким сотням крупных городских агломераций, в его последнем выпуске дан лишь список этих агломераций с указанием численности их населения. Все же остальные данные помещены в отдельном томе «Штаты и метрополии. Статистический справочник». В указанном списке на первом месте стоит Нью-Йорк (16 млн. человек), а на последнем — Кливленд-Акрон-Лорейн (около 3 млн. человек).

В заключение следует отметить, что, подобно предыдущим выпускам, настоящий справочник не ограничивается статистическими данными по США; он приводит многочисленные материалы по другим странам, заимствованные главным образом из экономических источников ООН.

Издательство  
**МИР**  
предлагает:

**МИКРОКОМПЬЮТЕРНЫЕ  
МЕДИЦИНСКИЕ  
СИСТЕМЫ.  
Проектирование  
и применения**

Под редакцией У. Томпкинса  
Перевод с английского

Одна из первых монографий, посвященных проектированию автоматизированных медицинских систем на основе микро-ЭВМ. Рассматриваются принципы создания и эксплуатации таких систем, особое внимание уделяется методам фильтрации биомедицинских сигналов. На многочисленных примерах демонстрируется использование систем в клинических исследованиях.

1983, 37 л. Цена 4 р.



# Издательство МИР предлагает:

Л. Гилман, А. Роуз

## КУРС АПЛ: ДИАЛОГОВЫЙ ПОДХОД

Перевод с английского

Книга посвящена описанию АПЛ — универсального языка программирования высокого уровня. В ней излагаются основные понятия языка, дается их обобщение, обсуждаются различные «особые» случаи. Она знакомит с реализацией АПЛ на машинах IBM серий 360 и 370, организацией файловых систем и особенностями различных версий языка. Все понятия иллюстрируются примерами программ, часто встречающихся на практике. В конце каждой главы приводятся задачи.

Содержание: 1. Начало работы. 2. Некоторые элементарные операции. 3. Полезные возможности. 4. Двуместные функции. 5. Еще пять двуместных функций. 6. Логические функции и отношения. 7. Алгоритмы, редукция и сканирование. 8. Порядок вычислений. 9. Одноместные и круговые функции. 10. Определение функций. 11. Синтаксис функций. 12. Редактирование функций. 13. Типы переменных. 14. Смена рабочих областей. 15. Управление активной рабочей областью. 16. Смешанные функции. 17. Символьные данные. 18. Смешанные функции для упорядочения и выборки. 19. Еще несколько смешанных функций. 20. Системы счисления. 21. Форматы ввода-вывода. 22. Ветвление. 23. Средства отладки. 24. Многомерные массивы. 25. Обобщенное внешнее производство. 26. Обобщенное внутреннее производство. 27. Коммерческие и инженерные задачи. 28. Ввод и вывод. 29. Введение в файлы данных. 30. Общие файлы. 31. Общие переменные. 32. Внутреннее устройство АПЛ-системы. 33. Еще о средствах и методах. Приложение. Символы АПЛ. Ответы и задачи. Основные понятия АПЛ-системы.

1979, 26, 26 л. Цена 2 р. 10 к.



## КАК РАСКАЛЫВАЮТСЯ МАТЕРИКИ

PROPAGATION OF AN ACCRETING PLATE BOUNDARY: A DISCUSSION OF NEW AEROMAGNETIC DATA IN THE GULF OF TADJURAH AND SOUTHERN AFAR. V. Courtillot, A. Galdeano and J. L. Le Mouél in *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 47, No. 1, pages 144—160; March, 1980.

PROPAGATING RIFTS ON MIDOCEAN RIDGES. Richard Hey, Frederick K. Duennebier and W. Jason Morgan in *Journal of Geophysical Research*, Vol. 85, No. 37, pages 3647—3658; July 10, 1980.

PROPAGATING RIFTS IN SEAFLOOR SPREADING PATTERNS. Tanya Atwater in *Nature*, Vol. 290, No. 5803, pages 185—186; March 19, 1981.

PROPAGATING RIFT EXPLANATION FOR THE TECTONIC EVOLUTION OF THE NORTHEAST PACIFIC: THE PSEUDOMOVIE. R. N. Hey and D. S. Wilson in *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 58, No. 2, pages 167—188; April, 1982.

PROPAGATING RIFTS AND CONTINENTAL BREAKUP. V. Courtillot in *Tectonics*, Vol. 1, No. 3, pages 239—250; June, 1982.

Милановский Е. Е. РИФТОВЫЕ ЗОНЫ КОНТИНЕНТОВ. — М.: Недра, 1976.

ОКЕАНОЛОГИЯ. ГЕОФИЗИКА ОКЕАНА. Т. 2. ГЕОДИНАМИКА/Под ред. О. П. Соколовина. — М.: Наука, 1979.

## ЗАМЕДЛЕНИЕ ТЕМПОВ УРБАНИЗАЦИИ В США

NEW DIRECTIONS IN URBAN-RURAL MIGRATION: THE POPULATION TURN-AROUND IN RURAL AMERICA. Edited by David L. Brown and John M. Wardell. Academic Press, 1980.

NONMETROPOLITAN AMERICA IN TRANSITION. Edited by Amos H. Hawley and Sara Mills Mazie. University of North Carolina Press, 1981.

POPULATION DECONCENTRATION IN THE UNITED STATES. John F. Long. U.S. Department of Commerce, U.S. Bureau of the Census, U.S. Government Printing Office, 1981.

## ЛОСОСЕВЫЕ РЫБЫ: СТАДА, СОЗДАННЫЕ САМОЙ ПРИРОДОЙ

THE ORIGIN AND SPECIATION OF ONCORHYNCHUS. F. Neave in *Transactions of the Royal Society of Canada*, Vol. 3, Series 3, Section 5, pages 25—39; June, 1958.

FISH OF RARE BREEDING: SALMON AND TROUT OF THE DONALDSON STRAINS. Neal O. Hines, Smithsonian Institution Press, 1976.

SALMON RANCHING. Edited by J. E. Thorpe. Academic Press, 1980.

PROCEEDINGS OF THE SALMON AND TROUT MIGRATORY BEHAVIOR SYMPOSIUM. Edited by E. L. Brannon and E. O. Salo. School of Fisheries, University of Washington, 1981.

Савваитова Х. А., Медников Б. Н. ЖИЗНЬ ЖИВОТНЫХ. Т. 4. Ч. 1. РЫБЫ. Гл. «Семейство лососевых (Salmonidae)». — М.: Просвещение, 1971, с. 160—187.

## ОБУЧЕНИЕ У МОРСКОЙ УЛИТКИ

CELLULAR ANALYSIS OF A GASTROPOD (*HERMISSENDA CRASSICORNIS*) MODEL OF ASSOCIATIVE LEARNING. Daniel L. Alkon in *The Biological Bulletin*, Vol. 159, No. 3, pages 505—560; December, 1980.

CALCIUM AND CYCLIC-AMP AS SYNARCHIC MESSENGERS. Howard Rasmussen. John Wiley & Sons, Inc., 1981.

CONDITIONING: REPRESENTATION OF INVOLVED NEURAL FUNCTIONS. Edited by Charles D. Woody. Plenum Press, 1982.

PRIMARY CHANGES OF MEMBRANE CURRENTS DURING RETENTION OF ASSOCIATIVE LEARNING. Daniel L. Alkon, Izja Lederhendler and Jonathan J. Schoukimas in *Science*, Vol. 215, No. 4533, pages 693—695; February 5, 1982.

Кэндал Э. КЛЕТочНЫЕ ОСНОВЫ ПОВЕДЕНИЯ. — М.: Мир, 1980.

## СБОРКА И МОНТАЖ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ

PHYSICAL LIMITS IN DIGITAL ELECTRONICS. R. W. Keyes in *Proceedings of the IEEE*, Vol. 63, No. 5, pages 740—767; May, 1975.

MICROELECTRONICS. *Scientific American*, Vol. 237, No. 3, September, 1977.

VLSI SUPPORT TECHNOLOGIES: COMPUTER-AIDED DESIGN, TESTING, AND PACKAGING. Edited by Rex Rice. IEEE Catalog No. EHO 191—7, IEEE Computer Society Press, 1982.

IBM 3081 SYSTEM DEVELOPMENT TECHNOLOGY. *IBM Journal of Research and Development*, Vol. 26, No. 1; January, 1982.

IBM PACKAGING TECHNOLOGY. *IBM Journal of Research and Development*, Vol. 26, No. 3; May, 1982.

PAPERS ON MANUFACTURING TECHNOLOGY — PACKAGING. *IBM Journal of Research and Development*, Vol. 27, No. 1; January, 1983.

Ермолаев Б. И., Вартанян В. И. и др. КОНСТРУИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ ЭВМ НА ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ/Под ред. Б. И. Ермолаева. — М.: Сов. радио, 1978.

СПРАВОЧНИК КОНСТРУКТОРА РЭА, ОБ-

# 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: Волф «Термодинамика экситонов в полупроводниках», Филлипс «Физика стекла», Шлютер и Лю Жушам «Распределение плотности электронов и физика твердого тела», Ньюкирк и Фрээр «Солнечный цикл». В него же включены и более короткие сообщения: «Солитоны с дробным зарядом», «Сколько живет  $\tau$ -лептон?», «Компромисс между ферромагнетизмом и сверхпроводимостью» и другие.

1983 г., 12 л. Цена 70 к.



ШИЕ ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ/Под ред. Р. Г. Варламова. — М.: Сов. радио, 1980.

## РАЗВИТИЕ ЛИСТЬЕВ У ПАЛЬМ

ANATOMY OF THE MONOCOTYLEDONS, VOL. 2: PALMAE. P. B. Tomlinson. Oxford University Press, 1961.

THE NATURAL HISTORY OF PALMS. E. J. H. Corner. University of California Press, 1966.

ANATOMY OF SEED PLANTS. Katherine Esau. John Wiley & Sons, Inc., 1977.

THE MECHANISM OF PPLICATION INCEPTION IN PALM LEAVES: PROBLEM AND DEVELOPMENTAL MORPHOLOGY. Donald R. Kaplan, Nancy G. Dengler and Ronald E. Dengler in *The Canadian Journal of Botany*, Vol. 60, pages 2939—2975; 1982.

ALTERNATIVE MODES OF ORGANOGENESIS IN HIGHER PLANTS. Donald R. Kaplan in *Contemporary Problems in Plant Anatomy*, edited by William C. Dickinson and Richard A. White. Academic Press, in press.

## ЧАСТИЦЫ С ОБНАЖЕННОЙ ПРЕЛЕСТЬЮ

Ледерман Л. Ипси́лон-частица, УФН, 1979, т. 128, вып. 4, с. 693—711.

OBSERVATION OF A FOURTH UPSILON STATE IN  $e^+e^-$  ANNIHILATIONS. D. Andrews et al. in *Physical Review Letters*, Vol. 45, No. 4, pages 219—221; July 28, 1980.

DECAY OF  $b$ -FLAVORED HADRONS TO SINGLE-MUON AND DIMUON FINAL STATES. K. Chadwick et al. in *Physical Review Letters*, Vol. 46, No. 2, pages 88—91; January 12, 1981.

EVIDENCE FOR NEW-FLAVOR PRODUCTION AT THE  $Y(4S)$ . C. Bebek et al. in *Physical Review Letters*, Vol. 46, No. 2, pages 84—87; January 12, 1981.

OBSERVATION OF EXCLUSIVE DECAY MODES OF  $b$ -FLAVORED MESONS. S. Behrends et al. in *Physical Review Letters*, Vol. 50, No. 12, pages 881—884; March 21, 1983.

Окунь Л. Б. ЛЕПТОНЫ И КВАРКИ. — М.: Наука, 1981.

ФИЗИКА МИКРОМИРА. МАЛЕНЬКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ. — М.: Советская энциклопедия, 1980.

Тейлор Дж. КАЛИБРОВОЧНЫЕ ТЕОРИИ СЛАБЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ. Пер. с англ. — М.: Мир, 1978.

## КРЕОЛЬСКИЕ ЯЗЫКИ

BIOLOGICAL FOUNDATIONS OF LANGUAGE. Eric H. Lenneberg. John Wiley & Sons, Inc., 1967.

RULES AND REPRESENTATIONS. Noam Chomsky. Columbia University Press, 1980.

ROOTS OF LANGUAGE. Derek Bickerton. Karoma Publishers, Inc., Ann Arbor, 1981.

ISLE DE FRANCE CREOLE. Philip Baker and Chris Corne. Karoma Publishers, Inc., Ann Arbor, 1982.

НОВОЕ В ЛИНГВИСТИКЕ. Вып. 6. ЯЗЫКОВЫЕ КОНТАКТЫ. — М.: Прогресс, 1972.

## НАУКА ВОКРУГ НАС

MECHANICS. Arnold Sommerfeld. Academic Press, 1964.

BYRNE'S TREASURY OF TRICK SHOTS IN POOL AND BILLIARDS. Robert Byrne. Harcourt Brace Jovanovich, Publishers, 1982.

THE DYNAMICS OF SPORTS: WHY THAT'S THE WAY THE BALL BOUNCES. David F. Griffing. Mohican Publishing Company, 1982.

Зоммерфельд А. МЕХАНИКА/Под ред. Д. В. Сивухина. Пер. с нем. — М.: ИЛ, 1947.

## В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 5.09.83  
По оригинал-макету. Формат 60 × 90/4  
Гарнитуры таймс, гелиос  
Офсетная печать  
Объем 6,25 бум. л  
Усл.-печ. л. 12,50  
Уч.-изд. л. 16,51  
Усл. кр.-отт. 43,86  
Изд. № 36/2669. Заказ 437-83  
Тираж 20000 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»  
Набрано в редакции по подготовке оригинал-макетов издательства «Мир» на фотонаборном комплексе «Компьюграфик»  
Типография В/О «Внешторгиздат» Государственного комитета СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 127576, Москва, Илимская, 7



Издательство МИР предлагает:

---

## АКУСТИКА ОКЕАНА

Под редакцией Дж. Де Санто  
Перевод с английского

---



---

Коллективная монография американских ученых посвящена ряду актуальных проблем акустики океана, активно разрабатываемых в США: новым аналитическим и численным методам расчета акустических полей, лабораторному моделированию акустических явлений в океане, но-

вым областям применения гидроакустики в океанологии, а также обратным методам гидроакустики.

Для научных и инженерно-технических работников в области гидроакустики и океанологии.

1982, 20,94 л.  
Цена 3 р. 50 к.

---



# *В следующем номере:*

---



ХИМИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ  
У ТЕРМИТОВ

---

МЕЖЗВЕЗДНОЕ ВЕЩЕСТВО В МЕТЕОРИТАХ

---

РАЦИОНАЛЬНЫЙ КОЛЛЕКТИВНЫЙ ВЫБОР

---

ОЧИСТКА И ПРОИЗВОДСТВО ИНТЕРФЕРОНОВ  
ЧЕЛОВЕКА

---

КОСМИЧЕСКИЕ МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ

---

ЦИФРОВОЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ЗНАКОВ  
И НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ  
В ПРОЕКТИРОВАНИИ ШРИФТОВ

---

ПРОБЛЕМЫ ТРАВМАТИЗМА В США:  
ИССЛЕДОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

---

ДЕРЕВЯННЫЕ ЦЕРКВИ НОРВЕГИИ

---

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ МОРСКИХ УЗЛОВ

---

О МАТЕМАТИЧЕСКИХ ИГРАХ,  
КАЖУЩИХСЯ БЕСКОНЕЧНЫМИ,  
НО ВСЕ ЖЕ ЗАВЕРШАЮЩИХСЯ