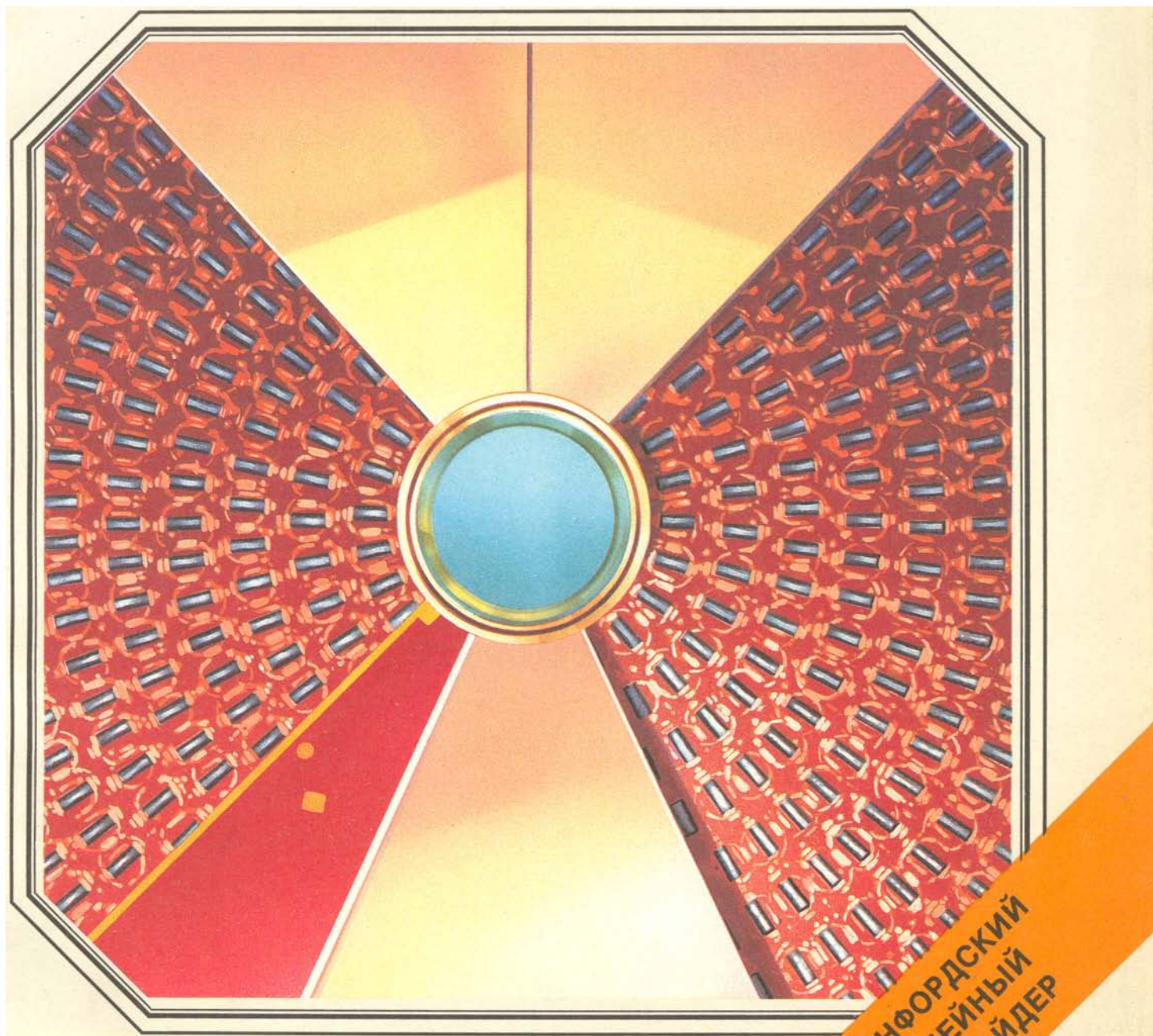


В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке

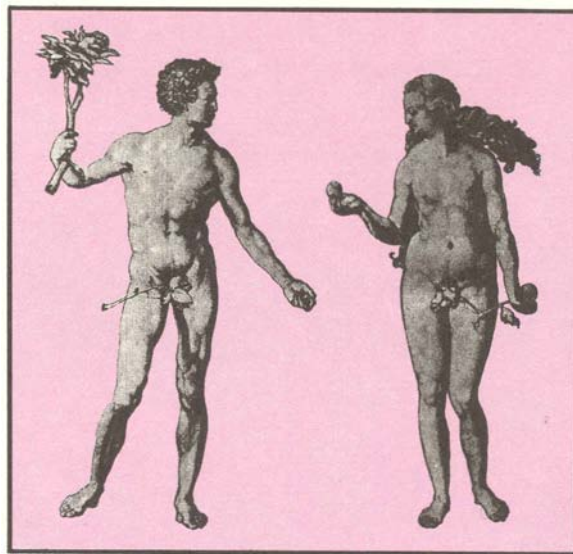


Декабрь 12 1989

СТАНФОРДСКИЙ
ЛИНЕЙНЫЙ
КОЛЛАЙДЕР

Ф. Фогель, А. Мотульский
ГЕНЕТИКА ЧЕЛОВЕКА

В 3-х томах
Перевод с английского



Книга двух известных генетиков из ФРГ и США является фундаментальным учебником по генетике человека, охватывающим практически все основные направления этой области науки. Это издание может служить учебным пособием для студентов, начинающих изучать генетику человека, а также справочником для специалистов.

Содержание. Том 1: история генетики человека; цитогенетика; законы наследственности. Том 2: молекулярная генетика; механизмы наследственных болезней обмена; популяционная генетика человека; механизмы мутагенеза. Том 3: эволюция человека; генетика поведения; практическое использование результатов генетических исследований в настоящем, перспективы на будущее.

Из рецензий: «Уникальная сводка самых современных, тщательно разработанных и критически осмысленных данных о генетике человека. Без преувеличения можно утверждать, что аналогичных изданий до сих пор не было» (проф. Ю.П. Алтухов); «Хотя в последние годы в стране было издано несколько книг по медицинской генетике, перевод книги Фогеля и Мотульского, учитывая ее полноту, современность и высокий профессионализм, внесет очевидный вклад в развитие генетики человека и медицинской генетики в СССР» (акад. АМН СССР Н.П. Бочков, проф. Е.К. Гинтер).

Для генетиков, молекулярных биологов, антропологов, врачей, а также для студентов - медиков и биологов.

Том I поступил в продажу в магазины научно-технической и медицинской литературы

Цена I тома 2 р. 60 к.

Тома II и III выйдут в свет в 1990 г.



В МИРЕ НАУКИ

Scientific American. Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

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

МОСКВА «МИР»

№ 12 . ДЕКАБРЬ 1989

В номере:

СТАТЬИ

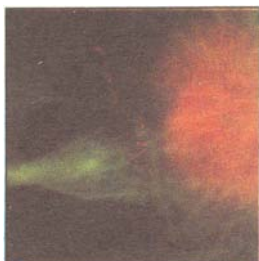
(Scientific American, October 1989, Vol. 261, No. 4)



6 На пути к техническому лидерству

Роберт Б. Рейх

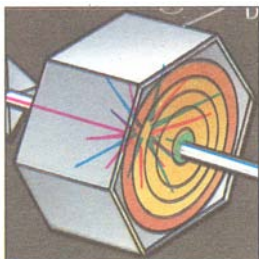
Пытаясь повысить конкурентоспособность американской промышленности, правительство США всячески поощряет осуществление крупных научно-технических проектов, вместо того чтобы содействовать ускоренному внедрению новых технологий, независимо от того, где и кем они разработаны



16 Митотическое веретено

Дж. Ричард Макинтош, Кент Л. Макдональд

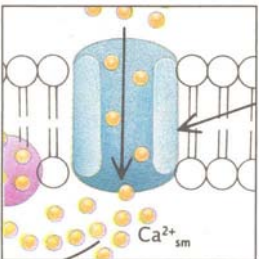
В последнее время удалось выяснить, каким образом в делящейся клетке веретеновидная биологическая машина поровну распределяет ДНК между двумя образующимися ядрами. Работе веретена присущи поразительная точность и динамизм



26 Станфордский линейный коллайдер

Джон Р. Рис

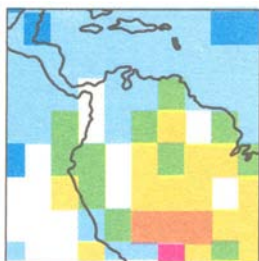
Завершен и начал работать первый в мире линейный коллайдер. Станфордская «фабрика» Z⁰-частиц позволяет измерять массу и время жизни этих переносчиков электрослабых взаимодействий с беспрецедентной точностью



36 Циркуляция кальция и внутриклеточная передача внешних сигналов

Говард Расмуссен

Изменению внутриклеточной концентрации кальция обычно приписывают роль своего рода переключателя, инициирующего или прекращающего различные клеточные процессы. Однако функция ионов кальция в длительных реакциях клетки выходит за рамки представления



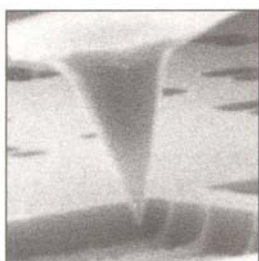
44 Моноксид углерода в атмосфере: неожиданные источники
Реджинальд Э. Ньюэлл, Генри Дж. Рейхль, Вольфганг Зайлер

Измерения из космоса выявили значительные количества монооксида углерода в самых неожиданных местах. Оказалось, что сжигание растительности в тропиках не менее мощный источник монооксида углерода, чем транспорт и промышленность



52 Нашествие водных сорняков
Спенсер К. Х. Барретт

Водные сорняки стали бичом водоемов во всем мире. Изучение наиболее злостных из них - водного гиацинта и сальвинии назойливой - ведет к разработке новых программ борьбы с такими растениями



62 Растровые микроскопы с зондами-остриями
Х. Кумар Уикрамасингх

С помощью зонда, в поперечнике острия которого может уложиться порой всего один атом, такие микроскопы позволяют исследовать поверхности с очень близкого расстояния и получить разрешение, недостижимое при использовании других микроскопов



72 Происхождение индоевропейских языков
Коллин Ренфрю

Почти все европейские языки принадлежат к одной семье. По мнению автора, распространение этих языков было связано не с завоеваниями, как принято считать, а с мирным процессом распространения земледелия

- РУБРИКИ 4 Об авторах
 5 50 и 100 лет назад
- 14, 25, 34, 43,**
51,60,71,81,
 86, 92, 98 Наука и общество
 82 Наука вокруг нас
 88 Занимательный компьютер
 94 Книги
 102 Эссе
 103 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan Piel
EDITOR

John J. Moeling, Jr.
PUBLISHER

BOARD OF EDITORS

Armand Schwab, Jr.
Timothy Appenzeller
Timothy M. Beardsley
John M. Benditt, Laurie Burnham
Elizabeth Corcoran
John Horgan, June Kinoshita
Philip Morrison (BOOK EDITOR)
John Rennie,
Ricki L. Rusting, Russel Ruthen,
Paul Wallich, Karen Wright

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR
Richard Sasso
DIRECTOR OF PRODUCTION

SCIENTIFIC AMERICAN, INC.

Claus-Gerhard Firschow
PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER

Georg-Dieter von Holtzbrinck
CHAIRMAN OF THE BOARD

Gerard Piel
CHAIRMAN EMERITUS

© 1989 by Scientific American, Inc.

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

В МИРЕ НАУКИ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
С.П.Капица

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
Л. В. Шепелева

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

ЛИТЕРАТУРНЫЙ РЕДАКТОР
О. В. Мошкова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С.К.Аносов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
Л.И.Желуховцева

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОНАБОРА
В.С.Галкин

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР

А.В.Лыткина

КОРРЕКТОР

Р.Л.Вибе

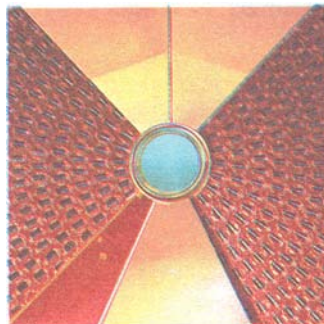
ОФОРМЛЕНИЕ ОБЛОЖКИ РУССКОГО ИЗДАНИЯ
М.Г.Жуков

ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ
В.В.Ефимов

АДРЕС РЕДАКЦИИ
129820, Москва, ГСП, 1-й Рижский пер., 2
ТЕЛЕФОН РЕДАКЦИИ
286-2588

© перевод на русский язык и оформление, «Мир», 1989

На обложке



СТАНФОРДСКИЙ ЛИНЕЙНЫЙ КОЛЛАЙДЕР

На обложке изображено поперечное сечение детектора Mark II, который регистрирует события, происходящие при столкновении высокоэнергичных электронов и позитронов на Станфордском линейном коллайдере (см. статью Джона Р. Риса «Станфордский линейный коллайдер» на с. 26). В центре видна ускорительная труба, в которой частицы сталкиваются. По радиально расположенным каналам передаются данные от дрейфовых камер к компьютерам. Детектор уже обнаружил несколько сотен Z⁰-частиц, что позволяет точнее определить массу этой частицы.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: РИСУНОК Ian Worpole,
сделанный по фотографии Peter Menzel

| СТР. | АВТОР/ИСТОЧНИК | СТР. | АВТОР/ИСТОЧНИК | СТР. | АВТОР/ИСТОЧНИК |
|-------|---|-------|--|--------|--|
| 6-8 | Andrew Christie | | Seeman, SLAC (внизу) | | Hansma, University of California, Santa Barbara (внизу) |
| 10 | AT&T Bell Laboratories | 32 | Peter Menzel | 67 | Hank Iken |
| 17 | Mark S. Ladinsky, University of Colorado at Boulder | 33 | Ian Worpole | 68 | Pierre Levy (вверху), Yves Martin, IBM Watson Center (внизу) |
| 18,20 | George V. Kelvin | 37-41 | Dana Burns | 69 | Hank Iken |
| 21 | George V. Kelvin (вверху), Matthew J. Schibler (в середине), Kent L. McDonald (внизу) | 44-50 | Thomas C. Moore | 72, 73 | James Mellaart, Pictures of Record, Inc. |
| 22 | George V. Kelvin (вверху), Hirohisa Masuda (в середине), George V. Kelvin (внизу) | 53 | Steve Висбапан | 74 | Andrew Christie |
| 23 | Kent L. McDonald (вверху), George V. Kelvin (внизу) | 54 | Spencer C. H. Barrett | 75,76 | Johnny Johnson |
| 24 | Mark S. Ladinsky | 55 | Patricia J. Wynne | 77 | Andrew Christie |
| 26-29 | Ian Worpole | 56 | Johnny Johnson | 78 | Johnny Johnson |
| 30 | Stanford Linear Accelerator Center (слева), Ian Worpole (справа) | 57 | Noel D. Vietmeyer, National Research Council | 79 | Laurie Orace |
| 31 | Ian Worpole (вверху), John | 58 | Jeff Foott | 80 | Johnny Johnson |
| | | 59 | Spencer C. H. Barrett | 82 | Michael Goodman |
| | | 63 | Olaf Wolter, IBM Oerlikon Manufacturing Technology Center, Sindelfingen | 83 | Jearl Walker |
| | | 64 | Hank Iken | 84 | Jearl Walker (слева), Michael Goodman (справа) |
| | | 65 | Randall M. Feenstra, IBM Thomas J. Watson Research Center | 85 | Jearl Walker |
| | | 66 | Hank Iken (вверху), Paul K. | 88-90 | Hank Iken |
| | | | | 91 | Mid-America Museum, Hot Springs, Ark. |

Об авторах

Robert B. Reich "The Quiet Path to Technological Preeminence" (РОБЕРТ Б. РЕЙХ «На пути к техническому лидерству») с 1981 г. преподает политическую экономию в Школе управления им. Джона Кеннеди при Гарвардском университете. Там же занимает должность управляющего. Руководил планированием политических мер в Федеральной комиссии по торговле при президенте Картере и служил помощником генерального юридического советника в администрации Форда. Степень бакалавра Рейх получил в Дартмутском колледже, степень магистра - в Оксфордском университете и юридический диплом - в Йельском университете. Он автор нескольких книг по вопросам политики и экономической конкуренции. В настоящее время возглавляет комитет по биотехнологии в Бюро технологических оценок при конгрессе США.

J. Richard McIntosh and Kent L. McDonald "The Mitotic Spindle" (Дж. РИЧАРД Д. МАКИНТОШ, КЕНТ Л. МАКДОНАЛЬД «Митотическое веретено») оба давно интересуются митотическим веретеном. Мак-интош - профессор молекулярной и клеточной биологии и биологии развития в Колорадском университете в Боулдере. МакДональд - научный сотрудник лаборатории высоковольтной электронной микроскопии этого университета.

Howard Rasmussen "The Cycling of Calcium as an Intracellular Messenger" (ГОВАРД Д. РАСМУССЕН «Циркуляция кальция и внутриклеточная передача внешних сигналов») - профессор медицины, а также клеточной и молекулярной физиологии в Медицинской школе Йельского университета. Вся его научная деятельность посвящена проблемам метаболизма кальция у человека; он опубликовал сотни статей и монографию о системе кальциевого сигнала. Расмуссен получил степень доктора медицины в Гарвардском университете в 1952 г. и степень доктора философии в Рокфеллеровском университете в 1959 г. Работал в Висконсинском университете и в Медицинской школе Пенсильванского университета. С 1976 г. он сотрудник Йельского университета.

Reginald E. Newell, Henry G. Reichle, Wolfgang Seiler "Carbon Monoxide

and the Burning Earth" (РЕДЖИНАЛЬД Э. НЬЮЭЛЛ, ГЕНРИ Дж. РЕЙХЛЬ, ВОЛЬФГАНГ ЗАЙЛЕР «Моноксид УГЛ-ерода в атмосфере: неожиданные источники») стали работать вместе по изучению монооксида углерода в атмосфере в ходе выполнения программы MAPS. Ньюэлл - профессор метеорологии в Массачусетском технологическом институте. Его научные интересы - крупномасштабная циркуляция атмосферы и физика флуктуаций климата. Рейхль - старший научный сотрудник в Исследовательском центре Лэнгли НАСА, с 1965 г. активно изучает возможности измерений свойств атмосферы дистанционным методом. Зайлер - директор фраунгоферовского института воздушной среды в Гармиш-Партенкирхене, ФРГ.

John R. Rees "The Stanford Linear Collider" (ДЖОН Р. РИС «Станфордский линейный коллайдер»). Автор - лицо заинтересованное, поскольку он возглавлял строительство Станфордского линейного коллайдера (SLC). Рис давно занимается ускорителями на сталкивающихся пучках. В 1956 г. в Университете шт. Индиана он получил степень доктора философии за первые практические предложения по сооружению накопительных колец со сталкивающимися пучками. До включения в группу SLC, Рис совместно с Бартоном Рихтером, директором Станфордского ускорительного центра (SLAC), руководил в этом центре конструированием, постройкой и работой двух накопительных колец со сталкивающимися пучками: SPEAR, на котором Рихтер открыл пси-мезон (и был награжден за это Нобелевской премией), и PER с энергией 15 ГэВ.

Spenser C.H. Barrett "Waterweed Invasion" (СПЕНСЕР БАРРЕТТ «Нашествие водных сорняков») - профессор ботаники в Торонтском университете. Специализируется в области эволюционной генетики и систем размножения растений. В 1977 г. получил степень доктора философии в Калифорнийском университете в Беркли. Недавно удостоен премии Мемориального фонда Стиси, которая позволит ему все внимание уделить интересующим его проблемам генетики и эволюции сорняков. Первую его статью для «Scientific American» можно прочесть в 11-м номере журнала «В мире науки» за 1987 г.

H. Kitag Wickramasinghe "Scanned-Probe Microscopes" (Х. КУМАР УИКРАМАСИНГХ «Растровые микроскопы с зондами-остриями») - руководитель отдела физических измерений в Исследовательском центре фирмы IBM им. Томаса Дж. Уотсона в Йорктаун-Хейтсе (шт. Нью-Йорк), где он специализируется в области разработки растровых микроскопов с острыми зондами и их применении в производстве микроэлектронных приборов. В 1974 г. после присуждения ему степени доктора философии в области электротехники Лондонским университетским колледжем он перешел на работу в Станфордский университет, где занимался фундаментальными исследованиями в области акустической и фотоакустической микроскопии. В 1978 г. начал преподавать в Лондонском университетском колледже, а в 1984 г. поступил на работу в фирму IBM. В свободное время любит путешествовать пешком вместе со своей семьей.

Colin Renfrew "The Origins of the Indo-European Languages" (КОЛИН РЕНФРЮ «Происхождение индоевропейских языков») - профессор археологии в Кембриджском университете и преподаватель колледжа этого же университета. Проводил археологические раскопки в Греции и на Британских островах. Его предыдущие статьи, опубликованные в журнале "Scientific American", были посвящены методам радиоуглеродной датировки, торговле обсидианом и мегалитическим памятникам Европы. Аргументы, приведенные автором в настоящей статье, изложены им более подробно в его книге Archeology and Language: The Puzzle of Indo-European Origins, опубликованной Кембриджским университетом в 1988 г.

P. Roy Vagelos "Essay" (П. РОЙ ВЕЙДЖЛОС «Эссе») - председатель правления, президент и главный администратор компании Merck & Co., Inc. Занимался научной работой в Национальном институте сердца и Медицинской школе Вашингтонского университета, затем возглавил отделение биологии и биомедицинских наук этого университета. В 1975 г. Вейджлос поступил в Исследовательский центр Merck Sharp & Dohme, фирмы Merck, занимающейся производством медицинской продукции, заняв пост вице-президента по науке.

SCIENTIFIC AMERICAN

ОКТАБРЬ 1939 г. «Если бы удалось сделать процесс расщепления атомов более эффективным, получение ядерной энергии стало бы реальностью. Пока же его можно сравнить, например с вывозом песка с пляжа по одной песчинке. Однако у этой проблемы имеется еще один интересный и весьма важный аспект: как быть со вторичными нейтронами, выделяющимися в момент расщепления ядра и в ходе последующих реакций. Эти нейтроны служат новыми «снарядами», разбивающими атомы. Таким образом, один взрыв влечет за собой следующий, так что высвобождается все больше энергии. Вероятно, достаточно большая масса урана будет взрывоопасной, если все атомы начнут делиться одновременно. Ученые очень обеспокоены опасными силами, которые они вызвали к жизни, и спешно изобретают средства контроля над ними. Интересно, что, начиная с весны, мы не имеем никаких сведений об исследованиях по расщеплению атомного ядра, проводимых в Германии, молчит даже первооткрыватель этого явления Отто Хан. Не исключено, что германское правительство, осознав возможности потенциального мощного оружия, засекретило все последние немецкие разработки».

«От аэропорта Кэмден в шт. Нью-Джерси до филладельфийского почтамта, находящегося на пересечении 30-й улицы и Маркет-стрит, 25 минут езды. Вертолет «Келлет KD-113» затрачивает на этот путь по воздуху 5-6 минут. Он курсирует между аэропортом и крышей почтамта пять раз в неделю, перевозя всю входящую авиакорреспонденцию».

«Новая пластмасса, разработанная в Физической исследовательской лаборатории Г. С. Полина, единственная в своем роде, так как изготавливается из зеленых кофейных зерен без применения каких-либо других добавок. Производство «кофейной» пластмассы может стать абсолютно независимой отраслью промышленности, поскольку кофе содержит и пластификаторы, и катализаторы, и даже наполнитель».



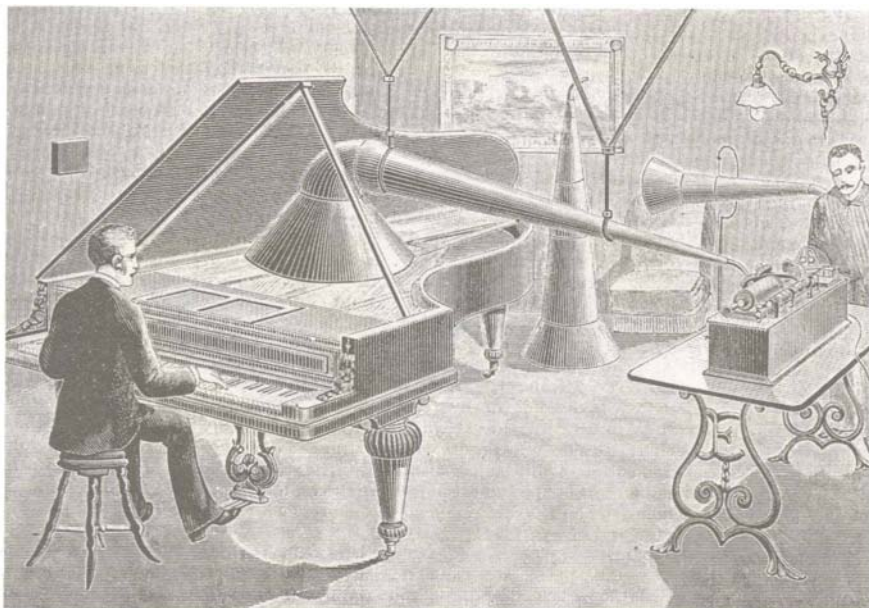
ОКТАБРЬ 1889 г. «В газете «The Iron Trade Review» говорится, что иностранные концерны продолжают скупать крупные американские предприятия. Так, недавно были куплены пивоваренные заводы и земельные владения, а теперь один английский синдикат собирается приобрести крупные заводы, принадлежащие компании Thomas Iron в Хокендакве,

шт. Пенсильвания. В связи с этими событиями вновь возникает вопрос: опасно ли поглощение американских концернов иностранным капиталом. В целом можно сказать, что мы способны выдержать любое нашествие иностранного капитала. Вместе с тем необходимо ясно осознавать, что, вложенный в американские предприятия, он становится американским капиталом, а поэтому должен вносить вклад в развитие США и соответствовать американской шкале заработной платы».

«Плавание через Атлантику превратилось в настоящее искусство, использующее достижения науки. Корпуса таких кораблей, как «Этрурия», «Нью-Йорк» или «Колумбия» созданы не только в расчете на то, чтобы скользить по воде с наименьшим сопротивлением, но и чтобы выдерживать самые сильные атаки ветра и моря. Внутри - это дворцы, снаружи - крепости. Установленные на них паровые машины - самые совершенные и мощные среди существующих. Судоводители ориентируются в Атлантике так же легко, как полицейский на Флит-стрит. Судовые механики в совершенстве владеют таинственным искусством извлекать из машин наибольшую мощность. В целом же острое соперничество заставляет капитанов водить огромные корабли на предельных скоростях».

«Как по заказу, к столетию открытия урана были обнаружены его залежи в Грампаунд-Роуде в Корнуолле - пока единственные в мире. В связи с этим усматриваются две новые возможности применения урана. Первая из них - замена золота в гальваническом производстве: уран образует два великолепных сплава - с платиной и медью, - причем оба выглядят как золото, а последний еще и стоек к воздействию кислот. Вторая возможность использования урана - в производстве электрооборудования, поскольку он обладает высоким электрическим сопротивлением».

«В журнале «La Nature», в статье о Парижской выставке читаем: «Тот, кто слышал звук нового, усовершенствованного фонографа, не мог не удивиться четкости воспроизведения фортепьянной и духовой музыки. Нам показалось интересным изобразить, каким способом регистрируются колебания воздуха, создаваемые этими музыкальными инструментами. На рисунке видна огромная слуховая труба, посредством которой звуки рояля переносятся на восковой цилиндр фонографа»».



Аппарат для записи фортепьянной музыки с помощью фонографа

На пути к техническому лидерству

Пытаясь повысить конкурентоспособность американской промышленности, правительство США всячески поощряет осуществление крупных научно-технических проектов, вместо того чтобы содействовать ускоренному внедрению новых технологий, независимо от того, где и кем они разработаны

РОБЕРТ Б. РЕЙХ

В СТРЕВОЖЕННОЕ непрерывной утратой позиций страны на мировом рынке, американское правительство взяло курс на поддержку грандиозных научно-технических проектов, которые, как оно считает, сыграют важную роль в промышленной практике. Хотя ни администрация Рейгана, ни администрация Буша не заявляли об этом в открытой форме, предпринятые ими за последние три года инициативы свидетельствуют о принципиальном изменении ориентации правительства: политики, традиционно приверженные свободному рынку, по существу занялись планированием промышленной стратегии в области прогрессивных технологий. Некоторые проекты, по-видимому, мотивировались скорее политическими соображениями или чисто научными интересами, а не потребностями промышленного производства. Тем не менее необходимость каждого проекта аргументировалась перед общественностью интересами конкурентоспособности национальной промышленности на мировом рынке.

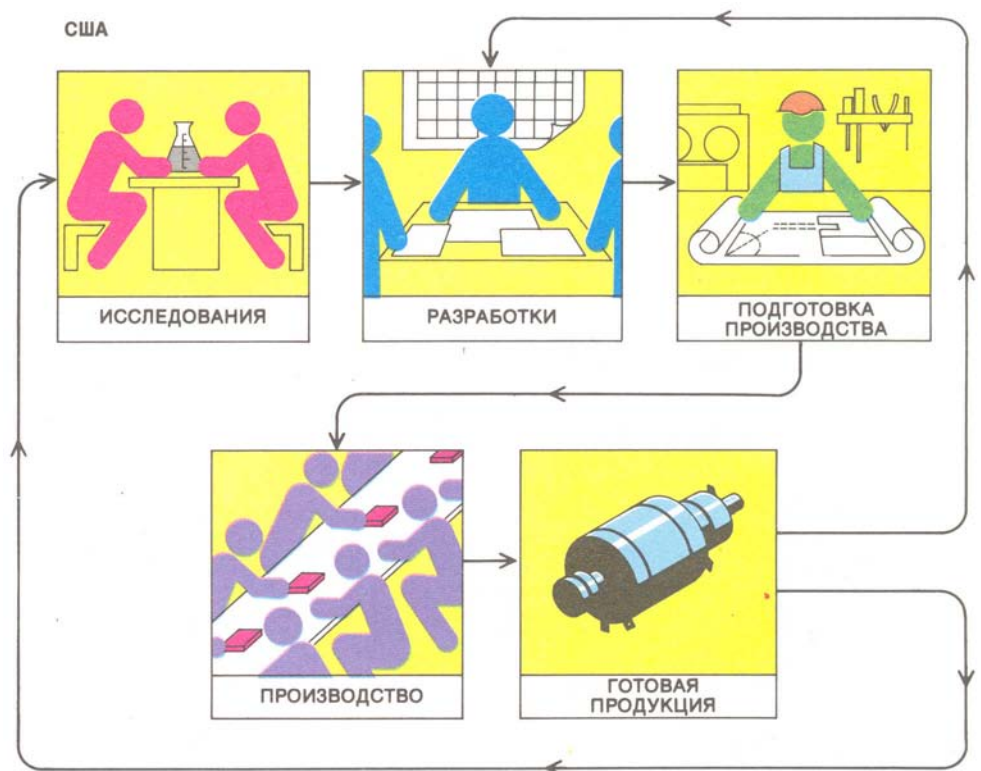
Так, в январе 1987г. администрация Рейгана одобрила план создания сверхпроводящего ускорителя частиц стоимостью 4,4 млрд. долл.; представитель Белого дома охарактеризовал этот проект как "ключевой" для будущей конкурентоспособности США, предсказывая, что благодаря этой установке американские компании окажутся в выигрышном положении. В конце того же года президент объявил об "инициативе в области сверхпроводимости", имея в виду разработку практических приложений для сверхпроводящих материалов, и назвал эту технологию "абсолютно необходимой для обеспечения нашей конкурентоспособности в будущем".

В начале 1988г., объявив о том, что на рынке уже появились японские су-

перкомпьютеры и что "их технические характеристики оказались лучше, чем ожидалось", Белый дом одобрил пятилетний "план освоения в производстве высокопроизводительных компьютеров", реализация которого оценивалась в 1 млрд. долл. Администрация объявила также о том, что Агентство по научно-исследовательским разработкам в области обороны (Defence Advanced Research Projects Agency - DARPA) должно ежегодно выделять по 100 млн. долл. консорциуму SEMATECH, совместно-

му научно-исследовательскому предприятию, созданному ведущими американскими компаниями по производству полупроводниковой техники.

Вскоре после этого были одобрены первые контракты на строительство космической станции; при этом утверждалось, что эта орбитальная лаборатория будет иметь "жизненно важное значение для повышения конкурентоспособности национальной промышленности в предстоящие десятилетия". Нынешний год ознаменовался внезапным переключением вни-



ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВО в большинстве американских компаний связаны последовательно (слева); в Японии же (справа) исследования, разработка изделия и производственного процесса выполняются параллельно, так чтобы данные, полученные в одной области, могли влиять на решения, при ни-

мания на телевидение высокой четкости (ТВЧ): оборонное агентство DARPA предложило двухгодичную исследовательскую программу в этой области стоимостью 30 млн. долл., и администрация Буша рассматривает планы предоставления льгот по антикрупному закону и освобождения от налогов американских компаний, занимающихся производством техники ТВЧ.

Разрекламированная таким образом стратегия восстановления технического превосходства США, очевидно, требует не только все возрастающих правительственных затрат на исследования и разработку новых технологий, но и специального стимулирования частных капиталовложений в исследования и разработки в тех областях, которых не коснулись правительственные проекты. Некоторые политические деятели добиваются новых налоговых льгот для научно-исследовательских программ, чтобы стимулировать участие в них частного капитала. Они отмечают, что доля валового национального продукта, расходуемая на научные исследования и разработки, в настоящее время ниже, чем 20 лет назад, и что на прикладные разработки в США приходится меньшая доля ВВП, чем в странах Западной Европы или в Японии.

ТРЕВОГА, выражаемая американскими политическими деятелями по поводу утраты конкурентоспособности на мировом рынке современной высокотехнологичной продукции, вполне оправдана. Например, доля США на мировом рынке полупроводников упала с 50% в 1984 г. до 37% в 1988 г., в то время как доля Японии возросла до 45%. Американские компании фактически прекратили продажу микросхем динамической оперативной памяти на открытом рынке, а компании по производству оборудования для полупроводниковой промышленности свертывают свою деятельность. В этой сфере теперь лидирует Япония. Доля США на мировом рынке бытовых электронных устройств, в которых широко используются полупроводники (видеомагнитофоны, автоматические 35-миллиметровые кинокамеры и проигрыватели компакт-дисков), с 1975 г. снизилась до 5%, доля же Японии за это время выросла с 10 до более чем 25%. Ни одна американская компания не производит телефаксов, объем мирового рынка которых в 1988 г. составил 3 млрд. долл.; и здесь японские компании в первых рядах. В настоящее время Япония доминирует в области производства станков с числовым программным управлением.

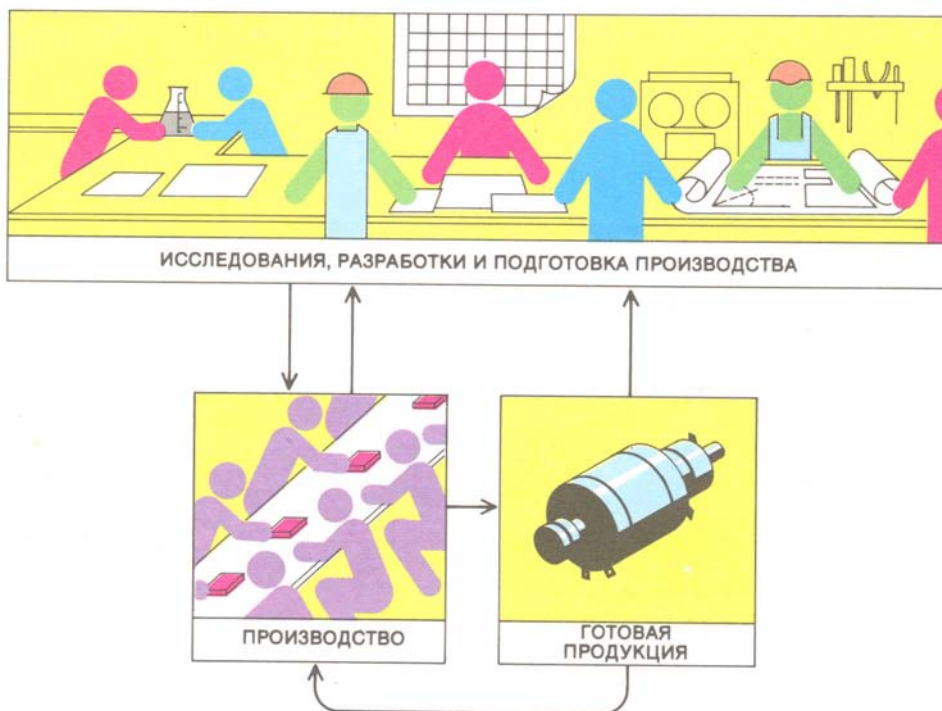
Японские компании ушли также далеко вперед от американских в освоении промышленного производства телевизионной аппаратуры высокой четкости. Данные последних правительственных исследований свидетельствуют о том, что Япония обогнала США и в такой области, как практическое применение сверхпроводящих материалов.

В 1986 г. торговый баланс США по продукции передовой технологии, такой как полупроводниковые устройства и аппаратура средств связи, стал отрицательным - впервые с тех пор как стали собирать данные о торговле в области прогрессивных технологий. В 1987 и 1988 гг., несмотря на резкое падение курса доллара по отношению к иностранной валюте, в США был зафиксирован хотя и скромный, но все же положительный баланс в торговле высокотехнологичными изделиями. Эти невысокие показатели отчасти объясняются желанием американцев приобретать импортные товары, но основная причина заключается в падении конкурентоспособности США на мировом рынке.

Вернут ли Соединенные Штаты утраченные передовые позиции в технологии, идя по пути осуществления грандиозных научно-технических проектов? Вряд ли. США и без того занимают первое место в мире по количеству и качеству научных и технических разработок, однако это не привело к созданию коммерчески конкурентоспособной продукции. Университетские научные центры США в целом являются лучшими в мире. Исследовательские лаборатории крупнейших американских корпораций не имеют себе равных. Американским ученым принадлежит более трети всех научных и технических публикаций в мире, они получают больше американских авторских патентов, чем специалисты всех остальных стран вместе взятых. Суммарные затраты на научные и технические разработки в США значительно выше, чем в любой другой стране, и пока в три раза превышают соответствующие затраты в Японии.

Однако нет оснований полагать, что Большие затраты на научно-технические программы (даже будучи нацеленными на конкретные технологии) обязательно приведут к коммерческому успеху. Проблема заключается в неспособности американских компаний (или, точнее, расположенных в США отделений крупных корпораций, быстро превращающихся в международные фирмы) оперативно переходить от научных открытий к производству высококачественной про-

ЯПОНИЯ



маемые в других областях. Новая технологическая концепция передается туда-сюда между различными группами, пока не будет доведена до совершенства. Японский метод ускоряет переход от новых открытий к производству готовой продукции.

дукции и процессам конструирования, изготовления, маркетинга и распределения этой продукции. Результаты научных и технических разработок - новые данные, концепции, изобретения и опытные образцы - легко уходят за пределы США. В конкурентной борьбе все больше выигрывают те компании и страны, которые быстрее и полнее используют эти достижения.

ЯПОНСКИЕ специалисты хорошо научились видеть заложенные в крупных открытиях (зачастую сделанных в других странах) возможности их доведения до практического применения. Вот лишь несколько примеров: Американские ученые изобрели транзистор. В 1953 г. американская компания Western Electric продала лицензию на эту технологию корпорации Sony, которая быстро усовершенствовала транзистор и стала выпускать одно за другим высококачественные изделия бытовой электронной аппаратуры. В 1968 г. американская фирма Unimation передала японской компании Kawasaki Heavy Industries лицензию на производство промышленных роботов; в начале 70-х годов они уже широко применялись в Японии, а к концу десятилетия японские роботы пришли в США. Производство роботов в США за это время так и не было по-настоящему налажено.

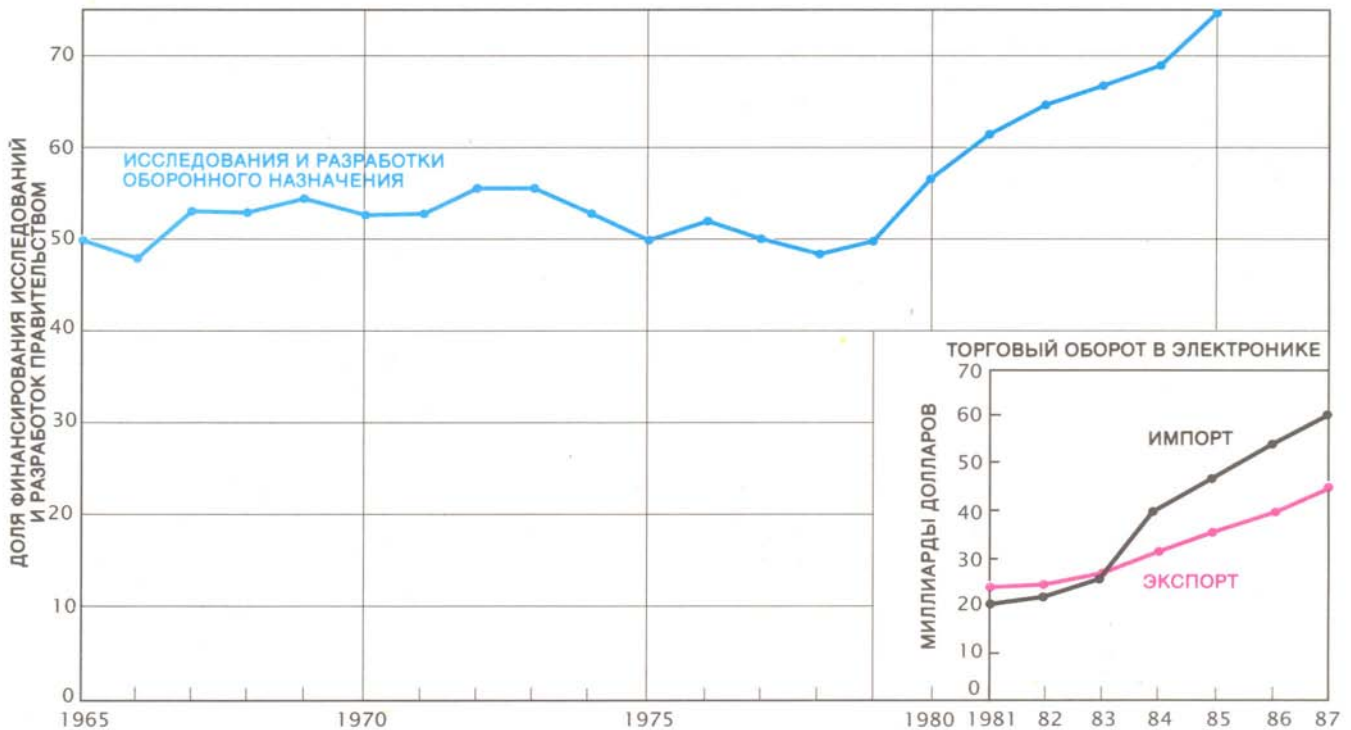
Видеомагнитофон был впервые изобретен калифорнийской корпорацией Атрех и затем усовершенствован в Японии. Японская компания Сапоп Inc. сумела также улучшить основную конструктивную концепцию копировальной машины фирмы Хегох и затем приспособила недорогую копирующую технологию, разработанную самостоятельно, для создания дешевых лазерных принтеров (еще одно изобретение, которым компании Хегох так и не пришлось воспользоваться в полной мере).

То же самое можно сказать и о композитных материалах и керамике, цветных телевизорах, компьютерных дисководах, кислородных и микроволновых печах, оснащенных ЭВМ станках и других изобретениях. За один год до 31 марта 1987 г. (последняя дата, на которую у нас имеются соответствующие данные) Япония закупила в Северной Америке технологическую информацию на сумму 1 млрд. долл.; приобретения же американцев у Японии составили менее половины этой суммы.

Японские фирмы находились в идеальных условиях для приобретения этой информации по низким ценам. Американские компании зачастую даже соперничали друг с другом за то, чтобы продать свою технологию в Японию, опасаясь, что другая фирма

разработает аналогичное "ноу-хау" и сумеет заключить сделку первой! (Возможно, именно по этим соображениям фирма Boeing, например, решила разрабатывать свою новую авиационную технологию совместно с Японией, не дожидаясь, пока компания Airbus Industrie заработает на аналогичной сделке.) Более того, у мелких американских фирм, работающих в области прогрессивных технологий, часто не хватает мощностей для производства и продажи продукции в мировом масштабе или нет возможности защитить свои патенты в других странах и поэтому они боятся, что если откажутся продать свои самые современные разработки, то в конечном итоге станут жертвами дублирования их продукции другими фирмами при меньших производственных затратах.

Японцы координируют свою торговую деятельность и следят за тем, чтобы их компании не соперничали друг с другом за право купить лицензию на реализацию того или иного изобретения. Несколько раз японское министерство международной торговли и промышленности (MITI) брало на себя функции единого представителя японских фирм, вынуждая иностранные компании продавать лицензии на свои патенты и ведя переговоры по сделкам для всей японской



ДОМИНИРОВАНИЕ ФИНАНСИРОВАНИЯ ОБОРОННЫХ РАЗРАБОТОК создает определенную градацию американских научно-исследовательских программ и снижает экономическую отдачу от исследований. Более половины правительственных ассигнований на научно-технические раз-

работки поступает через военные ведомства; в Японии их доля менее 5%. В результате (справа внизу) США превратились в систематического импортера электронной аппаратуры и другой продукции передовой технологии

промышленности. В период между 1956 и 1978 гг. в основном благодаря запрету со стороны МПТ на проведение аукционов по продаже лицензий, японские фирмы заплатили лишь 9 млрд. долл. за доступ к американским технологиям, разработка которых обошлась американцам от 500 до 1000 млрд. долл.

МОЖЕТ возникнуть соблазн воздвигнуть барьеры для международного обмена технологиями: усилить защиту патентов и авторских прав для американских фирм, воспрепятствовать покупке иностранными фирмами американских технологий или компаний по производству современной продукции, основанной на передовой технологии. Можно также не допускать иностранные фирмы к научно-исследовательским программам, которые финансируются правительством США и оказать давление на МПТ, с тем чтобы оно прекратило централизованную закупку патентов. Однако ключевая проблема состоит не в том, что японские фирмы имеют свободный доступ к американским технологиям. Реальное преимущество Японии в том, что японские компании способны быстро переходить от новых изобретений к выпуску высококачественной продукции.

Если США намерены вернуть себе техническое лидерство, они должны научиться быстро использовать новые технологии. Этот не быстрый, но верный путь к обеспечению конкурентоспособности в меньшей степени зависит от амбициозных правительственных научно-технических программ, рассчитанных на создание специфических технологий и передовой техники, скажем суперкомпьютеров или высокотемпературных сверхпроводников, и в большей степени - от улучшения американскими специалистами процесса, с помощью которого технические новшества - независимо от того, в какой стране мира они изобретены, - трансформируются ими в производство высококачественной продукции.

Тщательный анализ причин успеха, достигнутого Японией в этом направлении, и относительной слабости США показывает, что на пути к завоеванию конкурентоспособности необходимо совершить шесть шагов: следить за появлением новых технологий во всех странах мира; поставить правительственное финансирование научно-технических проектов в зависимость от промышленного освоения новых видов продукции; связать исследования и разработки, проводимые корпорациями, с производством; способствовать установлению единых технологических стандартов;

не жалеть средств на техническую подготовку специалистов и поднять уровень общего образования в стране. Принятие этих мер является необходимым, но еще не достаточным условием для того, чтобы США снова смогли успешно конкурировать на международном рынке.

ДЛЯ быстрого освоения новых технологий необходимо, во-первых, о них вовремя узнать. Американские фирмы часто с опозданием узнают о технических новшествах, достигнутых в других странах - будь то принципиально новое изобретение, более эффективный метод изготовления и сборки изделий или новый способ организации производства и сбыта готовой продукции. Некоторые американские ученые и инженеры, у которых образование и начало трудовой деятельности приходилось на период, когда США значительно опережали другие страны в разработке и использовании новых технологий, просто скептически относятся к способностям иностранцев; все то, что "изобретено не у нас", не воспринимается всерьез.

В большинстве американских фирм не налажено наблюдение за техническим прогрессом в других странах: они не посылают своих ученых, инженеров и техников на международные конференции и торговые выставки или в ознакомительные поездки на конкурирующие фирмы в другие страны; не занимаются систематическим сбором данных о результатах научно-исследовательских программ, финансируемых правительствами других стран (а порой даже и в США); не занимаются они и анализом научно-технической периодики, издаваемой за рубежом. Со своей стороны правительство США не оказывает им достаточной поддержки в этом отношении.

Японские же фирмы сбор информации о технических новшествах во всем мире рассматривают как неотъемлемую часть своей деловой стратегии. Они пользуются чужими достижениями и тем самым обогащают свой собственный технический опыт. Японские компании организуют группы специалистов для посещения американских и европейских компаний и университетских научных лабораторий, принимают участие во всех конференциях и торговых выставках, тщательно изучают зарубежные публикации, включая правительственные отчеты. Они помогают финансировать научные и технические разработки в американских университетах и лабораториях, принадлежащих корпорациям, - а затем следят, чтобы японские ученые, инженеры и техники познакомились с результатами. (В

прошлом году около 5 тысяч японских ученых работали в американских лабораториях; в то же время, согласно большинству оценок, в японских лабораториях работало менее 150 американских ученых, и то лишь всего по несколько месяцев.) Кроме того, японские правительственные агентства собирают технологическую информацию по всему миру и предоставляют ее промышленным компаниям (например, Агентство по науке и технологии в промышленности при МПТ финансирует развитую систему сбора данных.)

Японские фирмы организуют также совместные предприятия с американскими фирмами специально для того, чтобы перенять опыт конструирования и изготовления новых видов продукции. Например, в рамках долгосрочной японской программы по созданию реактивных самолетов в настоящее время совместно с компанией Boeing ведется разработка нового поколения реактивных лайнеров среднего размера, а недавно заключенное соглашение с корпорацией General Dynamics предусматривает совместное создание новой модели реактивного истребителя взамен F-16.

ВТОРОЙ, тесно связанный с первым, шаг в направлении быстрого промышленного освоения новых технологий заключается в том, чтобы увязать правительственное финансирование научно-технических разработок с массовым производством готовой продукции. Научные открытия и изобретения должны быть постоянно доступными для использования в производстве, а новшества в производственной сфере должны все время питать дальнейший прогресс в исследованиях и разработках.

Одна из причин того, что правительственное финансирование научно-технических проектов в Японии теснее увязано с промышленным производством, чем в США - это доминирующая в Соединенных Штатах роль исследований, ориентированных на оборону. Правительственные расходы на оборонные научно-технические проекты составляют в Японии лишь 30% от всех правительственных затрат на науку и технику, в то время как в США этот показатель равен 70% (что составляет более трети всех средств, выделяемых в США, в том числе и за счет частного капитала, на научно-технические разработки).

Многие военные технологии находят применение в гражданских отраслях экономики, и существует множество исторических примеров использования в гражданской промышленности изобретений, сделанных в ходе работы над военными проектами; к

числу подобных изобретений относятся, например, компьютеры, интегральные электронные схемы и сверхпрочные материалы. Тем не менее есть несколько факторов, препятствующих переводу технологий из военной сферы в коммерческую. Значительная часть оборонных разработок остается недоступной, поскольку они секретны. Во многих случаях к изделиям оборонной промышленности предъявляются очень жесткие требования (а значит, и производство их обходится дороже), которые излишни для гражданского потребителя. В других случаях коммерческие технологии превосходят уровень военных разработок, и поэтому последние мало что дают для повышения технического уровня продукции, производимой в гражданском секторе экономики. Военные организации, например, далеко отстают от гражданских в применении всех видов цифровых электронных устройств. Наконец, те люди, которые разрабатывают военную технику, будь они подрядчиками военных ведомств или сотрудниками правительственных научных центров, часто ориентируются в своей работе на конкретные цели, поставленные финансирующими организациями, а

не на коммерческие приложения своих идей.

Хотя военные научно-исследовательские программы уже не являются эффективным средством генерирования полезных для сферы коммерческого производства технологий, почти половина федеральных фондов, выделяемых, например, на исследования в области сверхпроводников, направляется на разработку военной техники, такой как детекторы инфракрасного излучения, системы обнаружения подводных лодок и электромагнитные пушки. Японское же правительство, наоборот, организует и финансирует ряд разнообразных проектов, ориентированных на потенциальные коммерческие приложения сверхпроводников.

Даже необоронные агентства США, финансирующие исследования, такие как Национальные институты здоровья, министерство энергетики и Национальный научный фонд, предпочитают выделять средства на проекты, далекие от коммерческих приложений. Главным образом они поддерживают фундаментальные научные исследования.

И здесь мы видим резкий контраст с Японией. Хотя японское правитель-

ство сейчас тратит значительно больше средств на фундаментальные исследования, чем в предыдущие годы, Большая часть ассигнований на исследования и разработки нацелена все же на быструю коммерческую отдачу. В частности, явно преследуется цель помочь мелким и средним компаниям в освоении новых технологий. Правительство организовало сеть из 195 региональных лабораторий, перед которыми поставлена задача оказать техническую помощь мелким и средним фирмам. Правительство берет на себя половину расходов; остальное оплачивают местные власти и фирмы.

Кроме того, в Японии организуются группы компаний для проведения совместных исследований по возникающим технологическим проблемам. Агентство по науке и технологии в промышленности при МПТ вырабатывает условия, на которых создаются подобные консорциумы, и предоставляет им определенные фонды. В последнее время МПТ организовало 28 региональных технологических центров, с помощью которых крупные фирмы могут объединить свои усилия и проводить совместные исследования.



КРАСИВАЯ ПРИРОДА в местах, где расположены многие американские научно-исследовательские центры (такие как этот, где размещается AT&TBell Laboratories, в Холмделе, шт. Нью-Джерси), помогает творчеству, однако удаленность исследовательских лабораторий от заводских цехов

способствует тому, что американские компании уступают свои позиции в конкурентной борьбе с японскими фирмами, поскольку наблюдаемый в США отрыв науки от практики препятствует практическому освоению новых открытий.

Стратегия Японии в области развития телевидения высокой четкости хорошо иллюстрирует этот процесс: NHK, японская национальная телекомпания, к исследованиям в области ТВЧ приступила в 1970 г. и полученные результаты она передала 11 компаниям, специализирующимся на производстве телевизионной техники. Два министерства взяли на себя координацию исследований, распределение этапов программы по фирмам, так чтобы они не дублировали работу друг друга и совместно использовали полученные результаты. Японский банк развития, финансирующий научно-технические разработки, дополнил средства, выделенные корпорациями, деньгами из государственных фондов. Даже японская почтовая служба начала оказывать финансовую поддержку проектам ТВЧ, организовав специальную систему вкладов для своих клиентов, с тем чтобы они стали первыми покупателями аппаратуры ТВЧ, когда она станет общедоступной.

ТРЕТИЙ шаг заключается в том, что американские компании должны приблизить свои научно-технические разработки к коммерческому производству. По сравнению с японскими большинство американских фирм проводит более резкое различие между исследованиями и разработками, с одной стороны, и производством и маркетингом - с другой. Большинство американских исследователей и конструкторов, работающих в лабораториях, принадлежащих корпорациям, оказываются оторванными территориально и профессионально от заводов, складов и торговых учреждений, в которых их идеи должны в конечном итоге найти практическое воплощение. Обычно исследовательские лаборатории размещаются в современных зданиях, разбросанных на манер студенческих городков в живописных окрестностях. Считается, как правило, что исследователи и конструкторы, творящие в лабораториях, занимаются более важной или более престижной работой, чем их коллеги, которые трудятся в фабричных цехах.

Зачастую научно-исследовательские разработки слабо связаны с остальной деятельностью компании. Предложения, исходящие от лабораторий, изучаются специалистами по рынку и финансистами по каждому проекту в отдельности и только затем в случае их одобрения передаются производственным инженерам, техникам и рабочим, которые конструируют необходимое оборудование и процессы для производства и сбыта готовой продукции.

В такой последовательности заложено неявное предположение, что конструирование нового изделия и разработка технологии его производства должны быть полностью завершены в исследовательской лаборатории и что можно сразу приступить к производству. Однако в американских компаниях нередко все вопросы о производстве нового изделия откладываются до тех пор, пока исследователи не найдут общего приемлемого решения, а инженеры-конструкторы не преобразуют это общее решение в конкретные разработки. Такое разделение труда увеличивает время разработки нового изделия, вследствие чего выход на широкий рынок происходит с запозданием.

В Японии исследования и разработки выполняются параллельно с конструированием и подготовкой производства. Здесь нет ни территориального, ни профессионального разрыва. Разработка ведется методом проб и ошибок, по мере того как новшество передается туда-обратно между разработчиками и специалистами по производству. Теория не обязательно предшествует практике, а конструирование изделия не обязательно предшествует разработке производственного процесса; все эти фазы протекают одновременно.

Редко бывает так, чтобы соблюдался такой порядок, при котором совершенно новое изделие сначала отработывали на пробной партии, потом уточняли его конструкцию и технологию, а затем уже запускали в производство. Гораздо чаще уже существующие продукты и технологические процессы подвергаются многократному пересмотру, по мере того как исследователи, инженеры и техники на основании анализа или опытным путем приходят к мысли о возможных усовершенствованиях. Одним из примеров подобного подхода может служить применение керамических материалов в двигателях внутреннего сгорания. Вместо того чтобы разрабатывать принципиально новый двигатель на основе керамических материалов, например керамический турбинный двигатель, который некоторые американские компании пытаются разработать с привлечением федеральных средств, японские компании работают над двигателем, в котором керамическим пока будет только поршень; постепенно они смогут ввести керамические детали в двигатели традиционной конструкции.

КАК ЧЕТВЕРТЫЙ шаг США должны по возможности быстрее внедрить единые промышленные стандарты, благодаря которым новые технологии будут взаимно совме-

ШЕСТЬ ШАГОВ НА ПУТИ К ТЕХНИЧЕСКОМУ ПРЕВОСХОДСТВУ

Следить за новшествами в других странах

Интегрировать финансируемые правительством исследования и разработки с промышленным производством

Интегрировать исследования и разработки, выполняемые корпорациями, с промышленным производством

Разработать и внедрить стандарты на новые технологии

Вкладывать капитал в программы обучения техническим достижениям

Обеспечить высокий уровень общего образования для всех граждан

ВОЗВРАТ лидирующего положения в области технологии возможен при условии, если США не будут скупиться вкладывать средства в повышение квалификации работников всех уровней, а также во внедрение технологических новшеств. Пока США отстают и в том, и в другом.

стими, что позволит ускорить их практическое внедрение. При наличии таких стандартов потребители смогут свободнее экспериментировать с устройствами на базе новой технологии, а также избежать риска, связанного с переходом на новую технологию, которая может быстро устареть. Однако стандарты, принимаемые слишком поспешно, могут заморозить дальнейшее развитие еще незрелых новых технологий. Своевременное и широкое принятие стандартов является важным условием успеха технологии.

В США технические стандарты устанавливаются без должного учета этих аспектов. Крупные компании или правительственные агентства устанавливают стандарты по факту; другие же правительственные или некоммерческие организации устанавливают официальные стандарты. К сожалению, ни один из этих "источников" стандартов явно не заинтересован в том, чтобы процесс стандартизации способствовал освоению новых технологий. Нет у этих организаций и необходимых кадров для эффективного выполнения такой работы.

Недавно федеральная комиссия по вопросам связи (FCC) отвергла предложенный Японией стандарт на телевизионную аппаратуру высокой четкости на том основании, что он несовместим со стандартами на существующие телевизионные приемники. Благодаря этому решению компании Zenith Electronics, единственному принадлежащему США производителю

лю телевизоров (а также любым другим американским фирмам, предвидящим выгодные возможности в ТВЧ), было предоставлено дополнительное время на разработку технологии, рассчитанной на американский рынок. Однако эта возможность не была преднамеренным следствием принятого решения: федеральная комиссия по связи не призвана повышать конкурентоспособность американских технологий и не имеет никаких конкретных планов в этом направлении. Теперь, после того как она отвергла первоначальное предложение японцев по поводу ТВЧ, японское правительство координирует разработку нового стандарта, который будет уже совместимым с телевизионными приемниками, производимыми в настоящее время в США.

В Японии следуют более дальновидной стратегии в установлении стандартов. Хотя там могут позволить конкурирующим фирмам соперничество по поводу установления стандарта на новые потребительские товары, как это имело место для стандартов VHS и Beta на видеокассеты, в МТИ существует специальный отдел, который отвечает за координацию промышленных стандартов, призванную обеспечить благоприятные условия для освоения новых технологий.

ПЯТОЕ условие для эффективного внедрения новых технологий заключается в наличии квалифицированных кадров, умеющих находить пути воплощения технических новшеств в конечную продукцию и производственные процессы. Японские компании обычно затрачивают много лет на разработку и доведение до совершенства технических идей, найденных или купленных ими в другой стране. Приобретение компанией Sony технологии видеозаписи у американской компании было лишь началом 19-летнего процесса последующих разработок; модель Betamax, выпущенная в 1975 г., была представителем уже четвертого поколения видеомангнитофонов, созданных компанией на основе этой технологии. (Благодаря автоматизированному процессу производства, разработанному компанией Sony, стоимость системы Betamax составляла лишь сотую часть себестоимости первого поколения видеомангнитофонов.) Примерно ту же картину можно наблюдать и в отношении аппаратуры телевидения высокой четкости: исследования начались в 1970 г., а массовое производство начнется не раньше 1991 г.

Однако, в противоположность распространенному в США мнению, такая настойчивость объясняется не

только долгосрочной стратегией, которой придерживаются в Японии относительно потенциальных выгод от уже существующих технологических потоков. Японские фирмы охотно вкладывают средства в некоторые технологии, не обещающие практических результатов в обозримом будущем - на самом деле известны случаи, когда они финансировали технологию уже после того, как соответствующая проблема была решена при помощи конкурирующей системы. В подобных случаях средства вкладываются не столько в саму технологию, сколько в техническое образование, приобретаемое теми, кто работает над ней. Получив необходимый опыт, эти квалифицированные работники в следующий раз смогут разглядеть ценные стороны в разнообразных новых технологиях и сумеют систематически приспособлять их к новым изделиям и производственным процессам.

За долгое время, в течение которого специалисты фирмы Sony пытались решать технические проблемы, связанные с видеозаписью на магнитной ленте и производством видеомангнитофонов, у них накопилось множество плодотворных идей по поводу многих других проблем в производстве бытовых электронных устройств - и это было весьма ценным приобретением, несмотря на то что изделие Betamax потерпело неудачу на рынке. Компания добилась успеха в установлении единого стандарта для нового поколения 8-миллиметровых видеомангнитофонов, а многие особенности технологии Beta нашли отражение в видеомангнитофонах стандарта VHS, которые компания производит в настоящее время.

Сейчас многие японские фирмы ищут пути для применения высокотемпературных сверхпроводников. Успех их деятельности будет оцениваться не только тем, удастся ли когда-нибудь разработать те или иные конкретные изделия или процессы (например, японская сталелитейная корпорация Nippon Steel пытается разработать непрерывный (конвейерный) способ литья с использованием магнитов на сверхпроводниках для перемещения и удержания расплавленной стали); успех будет измеряться и тем, насколько широко и глубоко специалисты фирмы поймут коммерческие возможности этой новой технологии, а также тем, как они сумеют воспользоваться полученными знаниями в будущей работе. Аналогичным образом 11 японских фирм, занимающихся производством телевизионного оборудования и вкладывающих сейчас средства в исследования в области ТВЧ, прекрасно отдадут себе отчет в том, что лишь немногие из

них сумеют добиться лидирующего положения в этой отрасли, но они также понимают, что их кадры должны получить необходимый опыт в этой новой технологии, если им предстоит в будущем работать над разнообразными ее приложениями.

Американские фирмы менее охотно, чем их японские партнеры, вкладывают деньги в долгосрочное техническое обучение своих специалистов отчасти вследствие того, что финансовая система США требует краткосрочных прибылей. Например, в апреле нынешнего года президент корпорации Control Data объявил, что его компания решила прекратить работу в области суперкомпьютеров; он отметил, что компания не может себе больше позволить ежегодно терять по 100 млн. долл. в попытках разработать новую технологию. Компания подвергалась интенсивному давлению со стороны тех, кто вложил в нее свой капитал и требовал повысить цену на акции Control Data. В противоположность этому представитель японской фирмы Hitachi в интервью газете New York Times сказал, что его компания будет продолжать вкладывать по 100 млн. долл. в год на разработки и исследования в области суперкомпьютеров. "С финансовой точки зрения это не такой уж выгодный бизнес, - заявил он. - Но суперкомпьютеры - это флагман всей вычислительной техники".

У американских фирм есть еще одна, возможно более важная, причина предпочитать краткосрочные капиталовложения в обучение своего персонала: американские инженеры часто меняют место работы и, таким образом, выгоду от их обучения с большой вероятностью извлекут уже другие компании. (В отличие от этого японские инженеры и рабочие, как правило, не меняют места работы на протяжении всей своей жизни и, следовательно, затраты на их обучение с большей вероятностью принесут результаты той компании, которая их обучала.) Текучесть кадров в США способствует созданию таких технологических центров, как Шоссе-128 в окрестностях Бостона или Кремниевая долина в Калифорнии, но из-за этой текучести американские фирмы боятся по отдельности вкладывать средства в людской капитал.

Как результат многие американские фирмы предпочитают покупать компоненты или производственные процессы, которые где-то уже доказали свою прибыльность. В глазах американского менеджера высокие расходы и большой риск, связанные с собственными разработками, не компенсируются возможностью, предоставляемой инженерам, конструкторам

и рабочим изучить новую технологию и усовершенствовать ее в будущем.

И НАКОНЕЦ, шестой шаг. Его смысл сводится к тому, что США должны повысить уровень общего образования всех своих граждан, даже если бы компании охотно вкладывали деньги в техническое обучение своих работников, успех этих капиталовложений принципиально зависел бы от способности работников к обучению, которая в свою очередь определяется уровнем их общего образования. И здесь США также в роли отстающего. В то время как в США, так же как и в Японии, 20% наиболее талантливых и наиболее удачливых представителей молодого поколения получают высшее образование и успешно подготавливаются к профессиям инженеров, менеджеров и т. д., США добиваются значительно меньших успехов в образовании остальных 80% населения. Американские тринадцатилетние школьники заняли последнее место по математике и оказались в последних рядах по естественным наукам в серии тестов, проведенных в последнее время министерством образования и Национальным научным фондом среди школьников из 11 стран мира. Сотрудники, не имеющие никаких познаний в физике и математике, будут не в состоянии усвоить новые технические идеи и воплотить их в готовых изделиях и производственных процессах.

Короче говоря, США сейчас отстают от таких стран, как Япония, во многих областях, имеющих важнейшее значение для коммерческого успеха, потому что американцы не умеют эффективно применять новые технологии. Правда, мы начали принимать меры к тому, чтобы улучшить положение, однако прогресс был неравным и недостаточно быстрым, чтобы вновь обрести утраченные позиции на мировом рынке.

Несколько крупнейших фирм, такие как IBM, Hewlett-Packard и ЗМ, стали прилагать больше усилий к изучению технических новшеств в других странах и поиску новых путей для интеграции научно-технических исследований с коммерческим производством. Тем временем некоторые правительственные агентства стали акцентировать внимание на утилизации новых технологий: Мичиганская служба модернизации, например, предлагает более чем 6 тысячам мелких заводов и фабрик в своем штате техническую помощь в применении автоматизированных процессов конструирования и производства. Согласно принятому недавно законодательному акту, Национальному институту стандартов и технологии (бывшее Национальное

бюро стандартов) вменяется в обязанность оказывать помощь мелким фирмам в повышении производительности труда за счет применения новых средств и методов производства. Национальный научный фонд учредил ряд научно-технических центров по всей стране, каждый из которых сосредоточивает исследования на каком-то отдельном комплексе проблем, связанных с процессами производства. Несколько федеральных лабораторий организуют свои представительства по исследованиям и техническим приложениям с целью широкого распространения новых открытий; они были наделены полномочиями представлять исключительные лицензионные права частным организациям-разработчикам для того, чтобы более активно стимулировать разработку новой продукции.

В то же время уже пересматриваются программы обучения в начальной и средней школе в шт. Арканзас, Миннесота и нескольких других штатах. Во многих штатах ужесточились требования, предъявляемые к выпускникам средней школы по естественнонаучным дисциплинам и математике; кроме того, кое-где была повышена зарплата учителям. (Хотя стандартные тесты не слишком точно отражают уровень подготовки учащихся, средние показатели в Южной Каролине, например, возросли на 36 пунктов с тех пор, как в 1984 г. там была проведена реформа школьного образования. В Калифорнии относительное число выпускников школы, изучавших математiku и другие естественнонаучные дисциплины не менее трех лет, за тот же период возросло приблизительно на одну шестую.) Многие фирмы и местные власти проявляют новый интерес к повышению квалификации кадров непосредственно на рабочих местах с тем, чтобы помочь им в освоении целого ряда прогрессивных технологий.

Однако необходимо сделать значительно больше. Продвижение на пути к завоеванию прежнего технологического лидерства не потребует значительного увеличения расходов на научные исследования и технические разработки; нужно будет лишь перераспределить затраты. Вместо крупных финансируемых Пентагоном исследовательских проектов следует создать научно-технические программы, рассчитанные на совместное участие в них американских частных компаний. Финансировать эти программы частично должно гражданское агентство, которому специально вменялось бы в обязанность способствовать коммерческому внедрению новых технологий. Акцент в таких программах следует делать на приобре-

тении инженерами, конструкторами, специалистами производств и техниками опыта в применении этих новых технологий. Неплохим началом является создание совместного исследовательского предприятия в области полупроводниковой техники SEMATECH, однако финансирующая его организация, министерство обороны, недостаточно хорошо разбирается в вопросах разработки коммерческих технологий, и проект, как представляется, в основном концентрируется на разработке оборудования для производства полупроводниковых устройств, а не на распространении передового опыта среди фирм, участвующих в этом совместном проекте.

США должны также вкладывать значительно больше средств, чем они вкладывали до сих пор, в общее образование и профессиональную подготовку кадров. На эту тему уже много писали, и совершенно ясно, что просто предоставить больше денег из общественных фондов - это еще не решение проблемы. Помимо обучения основным дисциплинам и навыкам в учебной программе начальной и средней школы особое внимание следует уделить воспитанию критического мышления, развитию способности ясно осознавать существо задач, ставить вопросы и находить закономерности в том, что кажется хаосом, а не просто констатировать факты. Учителям нужно предоставить больше самостоятельности, но одновременно на них следует возложить большую ответственность за то, что и как они преподают в классах. Родители и представители общественности должны более эффективно способствовать улучшению школьного образования.

Со стороны частного сектора предлагаемый путь к технологическому лидерству требует более интенсивного взаимодействия между исследователями, инженерами-конструкторами, инженерами-технологами и специалистами по маркетингу в каждой фирме, и принятия значительно более серьезных мер к тому, чтобы удержать квалифицированных специалистов.

Возможно, потребуются внести изменения в законы и правила, регулирующие финансовый рынок с тем, чтобы предоставить компаниям более широкие возможности в плане капиталовложений, рассчитанных на длительную разработку продукции. Например, федеральное правительство по существу субсидирует операции, связанные со слияниями компаний и передачей собственности; фирмы, которые берут в долг огромные суммы для этой цели, могли бы вычитать платежи по процентам из дохода, облагаемого налогом. Налоговые субсидии могут более эффективно

способствовать программам, рассчитанным на длительную перспективу. Полезным шагом оказались бы ликвидация налоговых льгот, предоставленных при слиянии и передаче собственности, повышение налога, взимаемого при продаже собственности, если она принадлежала продающему менее полугодя, и уменьшение налога в случае продажи собственности, принадлежавшей продающему более 6 лет.

Возможно, самое трудное препятствие, которое предстоит преодолеть на предлагаемом "тихом" пути, заключается в том, что ситуация не представляется драматичной и она ~как бы невидима. Крупные научно-исследовательские проекты привлека-

ют внимание прессы, о них пишут и создается впечатление, что принимаются меры, направленные на повышение конкурентоспособности американских товаров. Предлагаемое более тесное и более эффективное взаимодействие между правительством, фирмами и системой образования на всех уровнях труднее поддается измерению и оценке. В результате политикам деятелям, представителям системы образования и бизнесменам, которым предстоит идти этим "незаметным" путем, трудно будет доказать свою причастность к достигнутому прогрессу. Среди прочих трудностей, этот фактор может превратиться в главное препятствие.

Наука и общество

Скрещивание царств

БАКТЕРИИ не отличаются сексуальной разборчивостью. Эти примитивные прокариоты не только не имеют ядра, но и лишены механизмов, которые у всех эукариот - от дрожжей до человека - препятствуют межвидовому скрещиванию. Для бактерий смешение генов различных видов - явление обычное. Оно осуществляется путем полового процесса, называемого конъюгацией, который происходит, когда одна бактериальная клетка - донор сталкивается с другой - реципиентом. В их контактирующих клеточных стенках открываются поры, между содержимым клеток устанавливается связь и донор передает плазмиду (кольцевую ДНК) через пору реципиенту, от которого та наследуется всеми его потомками, появляющимися путем клеточного деления.

Не распространяются ли склонности бактерий и на эукариот? Давно известно, что по крайней мере один вид бактерий способен переносить гены в эукариотические клетки. Речь идет о хорошо изученном патогене *Agrobacterium tumefaciens*. Под влиянием этой бактерии растительные клетки образуют опухоли, производящие питательные вещества, которые поглощает бактерия. Ранее считалось, что в данном случае природной генной инженерии действует уникальный, высокоспециализированный механизм. Но три года назад П. Замбриски из Калифорнийского университета в Беркли и другие исследователи обнаружили, что *Agrobacterium tumefaciens* изменяет геном растительной клетки точно так же, как это делают бактерии между собой - путем

конъюгации. Из этого открытия следовало, что бактерии еще более «не разборчивы», чем можно было предполагать.

Под впечатлением от работы Замбриски и ее коллег Дж. Хейнеманн и Дж. Спрейг из Орегонского университета заинтересовались, может ли бактерия *Escherichia coli* (обитатель пищеварительного тракта человека и излюбленный объект биологических исследований) конъюгировать с дрожжами - эукариотическими организмами, принадлежащими к царству растений. Вначале геном дрожжевых клеток изменили так, что они потеряли способность синтезировать аминокислоту лейцин, необходимую для роста и размножения. Затем ген синтеза лейцина ввели в *E. coli* вместе с другими последовательностями ДНК, способствующими конъюгации между бактериями. Помещенные в чашку Петри с этими *E. coli*, дрожжевые клетки быстро восстановили свою способность расти и размножаться. Как сообщают в журнале «Nature» Хейнеманн и Спрейг, произошла конъюгация.

Обнаружение еще одного примера передачи генов между представителями разных царств живой природы имеет важные следствия для биотехнологии. Вероятно, не один вид бактерий мог бы служить для введения генов в различные эукариотические организмы, хотя бы и после небольшого нарушения интактности клеточных оболочек. *A. tumefaciens* уже выступает в такой роли - например, в исследованиях с целью повысить устойчивость сельскохозяйственных культур к болезням и засухе. Однако возможности *A. tumefaciens* ограни-

чены; самый существенный НедОсТок - то, что эта бактерия не может вмешиваться в геном однодольных растений, к которым принадлежат пшеница, кукуруза и другие важные злаки. По мнению Спрейга, конъюгация с участием других бактерий открывает возможность вводить гены в однодольные растения, а также в животные клетки.

Чтобы изменить геном животного, бактерии должны конъюгировать с какими-либо половыми клетками - яйцеклетками или сперматозоидами. Какова вероятность встретить такой «союз» в природе и каковы могут быть его последствия? Не исключено, что ответы на эти вопросы окажутся важными для эволюционной теории, одним из основных положений которой в настоящее время является тезис об эволюции эукариотических видов в результате случайных генетических мутаций. Замбриски и С. Стейчл из фирмы Genentech, Inc. в своем комментарии к статье Хейнеманна и Спрейга, опубликованной в «Nature», подчеркивают, что «в отличие от мифического межвидового скрещивания конъюгация между представителями разных царств не приведет к появлению минотавров или сатиров. Тем не менее вполне возможно, что она обеспечивает некоторый, скорее всего невысокий, уровень горизонтального переноса генов у эукариот. Выявить истинную природную роль этого полового процесса, не похожего ни на что ранее известное, ... смогут лишь дальнейшие эксперименты.»

Синтез с тяжелыми ионами

СОЗДАЕТСЯ ВПЕЧАТЛЕНИЕ, что после неудачи с холодным термоядерным синтезом более серьезные претенденты на осуществление управляемой термоядерной реакции не торопятся открывать свои карты. В методе, известном под названием «синтез с тяжелыми ионами», предполагается генерировать миниатюрные термоядерные взрывы с помощью пучка ускоренных заряженных частиц свинца или другого тяжелого элемента, направляемого на капсулы с изотопами водорода. Многие эксперты утверждают, что этот метод представляет единственный реальный способ проведения управляемого термоядерного синтеза; его одобряют даже представители соперничающих технологий, что происходит очень редко в этой сверхконкурентной области. С. Боднер, возглавляющий исследования по лазерному синтезу в

Навальской лаборатории, назвал ускоритель тяжелых ионов «единственно возможным подходом» - кроме, разумеется, своего - к созданию промышленного генератора ядерного синтеза.

Синтез с тяжелыми ионами представляет собой разновидность синтеза с инерциальным удержанием плазмы, при котором водород взрывается под ударным воздействием излучения различных типов. С конца 60-х годов министр РСТГЮ энергетики США вложил в эту область около 2 млрд. долл.; в настоящее время в год выделяется около 155 млн. долл. Большая часть этих средств была израсходована на сооружение мощных драйверов (машин, генерирующих излучение) в национальных лабораториях по разработке ядерного оружия. Лаборатория им. Лоуренса в Ливерморе и Лос-Аламосская национальная лаборатория занимались в основном созданием лазеров, Национальные лаборатории в Сандии - машин, ускоряющих легкие ионы, такие как литий.

На исследования в области синтеза с тяжелыми ионами расходовалось только около 4 млн. долл. в год, начиная с того времени, когда в конце 70-х годов министерство энергетики стало финансировать эти работы. В Лаборатории им. Лоуренса в Беркли (Калифорния) - лучшем американском центре по исследованию с использованием тяжелых ионов - был построен небольшой экспериментальный ускоритель тяжелых ионов. Он генерирует пучки с полной энергией всего лишь около 1 джоуля; на ливерморской и сандиевской установках генерируется в тысячи раз более мощные пучки.

Тем не менее за несколько последних лет «репутация» синтеза с тяжелыми ионами значительно возросла. В 1986 г. в обзоре Национальной академии наук США по синтезу с инерциальным удержанием плазмы было сделано заключение, что «пучки тяжелых ионов вполне могут оказаться наилучшими из возможных драйверов с точки зрения энергетических приложений». Изучение этого вопроса в нескольких исследовательских лабораториях министерства энергетики в течение года привело к такому же оптимистическому заключению. «Возможно, это тот случай, когда мы чем меньше что-либо знаем, тем больше нам это нравится», - сказал Д. Диджак из Лос-Аламоса. «Однако пока что никто не столкнулся ни с одной серьезной проблемой».

Сторонники термоядерного синтеза с тяжелыми ионами утверждают, что их подход дает определенные преимущества. Ускорители, используемые в этом методе, представляют собой модификацию ускорителей, при-



МНОГОПУЧКОВЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ (МВЕ-4) с использованием ускорителя тяжелых ионов в Лаборатории им. Лоуренса в Беркли. Во время как большинство ускорителей разгоняют частицы с помощью мощных радиоволн, в МВЕ-4 используется индукция. Ионы генерируются в системе с окном слева, а ускоряются в красных блоках справа.

меняемых для исследований в области физики высоких энергий; они могут с высокой эффективностью преобразовывать электрическую энергию в энергию ускоренных частиц. Скорость их работы весьма высока - они могут бесперебойно «выстреливать» пучки частиц до сотен раз в секунду. Для промышленного генератора десяти выстрелов в секунду было бы более чем достаточно.

С другой стороны, лазеры высокой мощности малоэффективны и часто выходят из строя; например, лазер «Новая» в Ливерморе «выстреливает», как правило, только несколько раз в день. Главное преимущество технологии с использованием тяжелых ионов по сравнению с технологией использования легких ионов, разрабатываемой в Национальных лабораториях в Сандии, состоит в том, что для менее тяжелых ионов необходимо обеспечить такую же ударную силу, поэтому пучки тяжелых ионов значительно легче фокусировать. Возможно, основным недостатком генератора на тяжелых ионах будет его размер. По оценке Д. Кифа, возглавляющего программу исследований в Лаборатории им. Лоуренса в Беркли, длина промышленного генератора составит около 5 км. «Некоторых это пугает, - говорит он, - но любой другой драйвер тоже будет не мал».

Технология синтеза с тяжелыми ионами развивается в Японии, СССР и - особенно интенсивно - в Западной Европе. Институт исследований с

тяжелыми ионами в Дармштадте (ФРГ) является передовым центром в этой области. При поддержке Нобелевского лауреата К. Руббиа, директора ЦЕРНа, в Италии в Школе физики плазмы в Варенне начала осуществляться грандиозная программа по использованию тяжелых ионов; предположительный годовой бюджет этой программы составит 100 млн. долл.

Вероятно, последние события в США предвещают поддержку этой технологии. Недавно Р. Гюнтер-младший, руководитель энергетических исследований министерства энергетики, предложил взять 50 млн. долл. из программы работ в области синтеза с магнитным удержанием плазмы (при котором водородная плазма разогревается с удержанием в мощном магнитном поле) и передать их программе синтеза с инерциальным удержанием. Гюнтер потребовал также сместить акценты в сторону энергетического приложения инерциального синтеза; официально программа сейчас нацелена на исследования в области ядерного оружия. Наконец, конгресс предложил Национальной академии наук США подготовить обзор возможностей всех технологий инерциального синтеза, включая синтез с тяжелыми ионами, с точки зрения производства энергии. Киф возлагает большие надежды на этот метод: «Синтез с тяжелыми ионами слишком хорошая идея, чтобы не быть энергично поддержанной».

Митотическое веретено

В последнее время удалось отчасти выяснить, каким образом в делящейся клетке веретенovidная биологическая машина поровну распределяет ДНК между двумя образующимися ядрами. Работе веретена присущи поразительные точность и динамизм

ДЖ. РИЧАРД МАКИНТОШ, КЕНТ Л. МАКДОНАЛ ЪД

ЧТОБЫ организм мог расти, восстанавливать поврежденные ткани и размножаться, его клетки должны делиться. Этот процесс осуществляется в два этапа. Сначала родительская клетка растет; в ней синтезируется материал для двух клеток, и в ядре при этом удваивается каждая хромосома, представляющая собой двухцепочечную ДНК. Затем родительская клетка делится.

Деление начинается с процесса митоза, в ходе которого удвоившиеся ранее хромосомы (а значит, и гены, которые заключены в хромосомах) расходятся и распределяются между двумя отдельными равноценными образованиями. Митоз приводит к тому, что, когда делится уже вся клетка - этот процесс называется цитокинезом, - каждая дочерняя клетка получает всю генетическую информацию, которая необходима ей, чтобы расти и делиться.

Поскольку точное расхождение хромосом крайне важно для жизнеспособности и дальнейшего размножения клетки, многие поколения исследователей пытались выяснить, как оно осуществляется. На этом пути были и успехи, и разочарования.

Более 100 лет назад было установлено, что хромосомы, движущиеся к противоположным полюсам родительской клетки, следуют по определенным траекториям. Эти движения в значительной степени определяются удивительной системой фибрилл, которую за ее форму назвали митотическим веретеном. Пожалуй, важность веретена наиболее наглядна в его отсутствие: если искусственно заблокировать образование веретена, хромосомы почти не движутся и не способны разделяться на два равноценных набора. Тем не менее детали строения и функционирования веретена долго не удавалось исследовать отчасти потому, что компоненты фибрилл весьма нестабильны. Кроме того, они слишком малы и слишком плотно упакованы, чтобы их можно было изучать с помощью светового микроскопа, и слишком длинны и спутанны, чтобы проследить за ними путем электронной микроскопии.

Однако новые методы окрашивания и другие усовершенствования техники микроскопии за последние 15 лет позволили нам в Колорадском университете в Боулдере и другим исследователям увидеть веретено буквально в новом свете. Теперь уже многое известно об изменениях веретена на каждой стадии митоза. Мы приблизились также к ответу на один из основных вопросов в изучении митоза: что управляет в ходе митоза сложными действиями веретена, обеспечивающими в свою очередь движения хромосомом?

ОПИСЫВАЯ митоз, его часто разделяют на пять последовательных стадий, которые полностью осуществляются в общей сложности примерно за час. Первая стадия - профаза - начинается, когда нити ДНК, которые реплицировались во время интерфазы (период между делениями клетки), конденсируются с образованием хорошо различимых хромосом, каждая из которых состоит из пары соединенных генетически идентичных частей, называемых хроматидами. Компактизация ДНК необходима, поскольку в неконденсированном виде нити ДНК столь тонки и длинны, что при малейшей попытке расхождения хроматид они бы безнадежно перепутались.

Веретено начинает оформляться к концу профазы. Главным его компонентом являются Фибриллы, КОторые отходят от двух специализированных внеядерных образований, называемых центросомами. Во время следующей стадии - прометафазы - фибриллы взаимодействуют с хромосомами обычно впоследствии того, что оболочка, окружающая ядро, разрушается.

Исходно хромосомы располагаются беспорядочно по всей ядерной области. Однако, как только хромосомы присоединяются к фибриллам, отходящим от центросом, они перемещаются к экватору веретена в плоскость посередине между центросомами. За несколько минут хромосомы размещаются в плоскости экватора, подобно тому как игроки в американ-

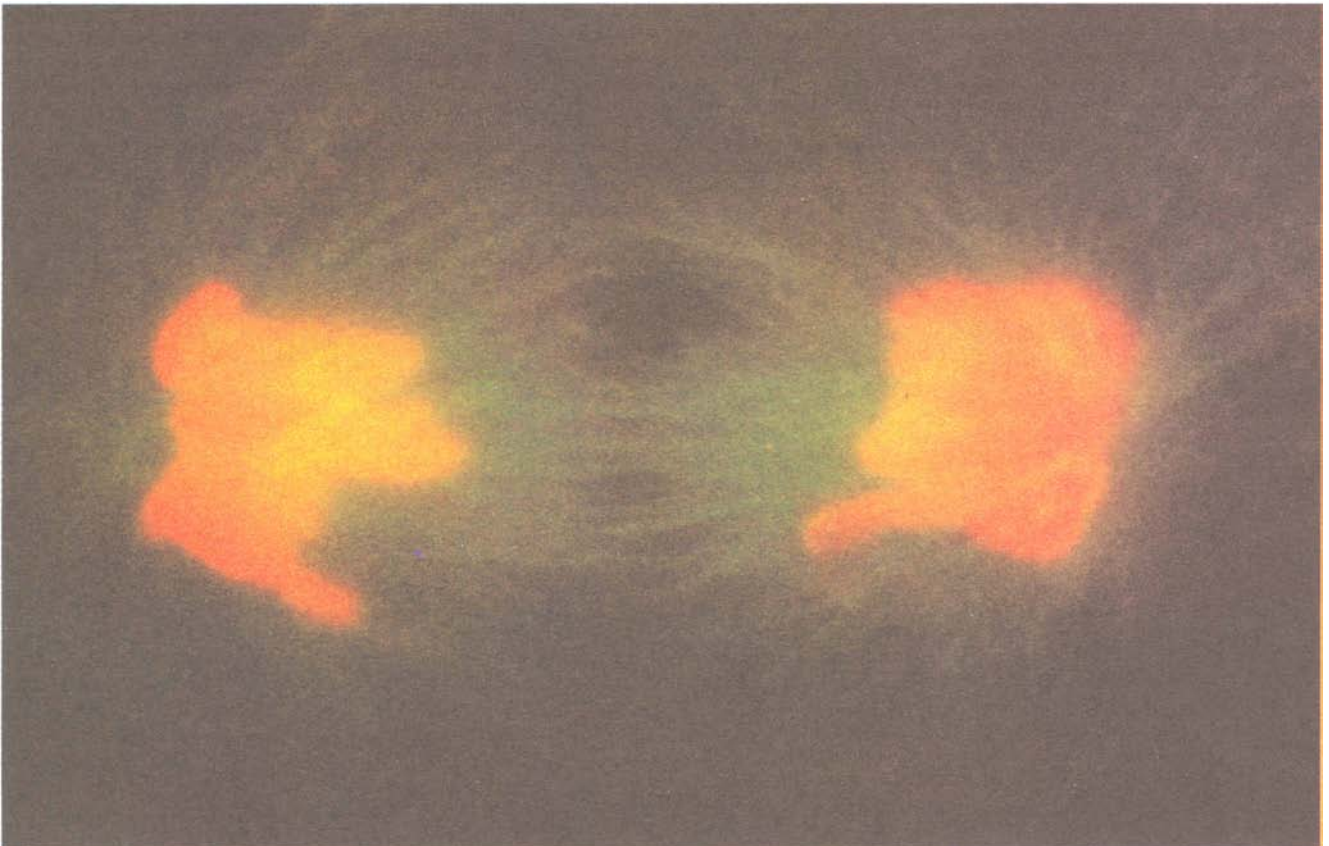
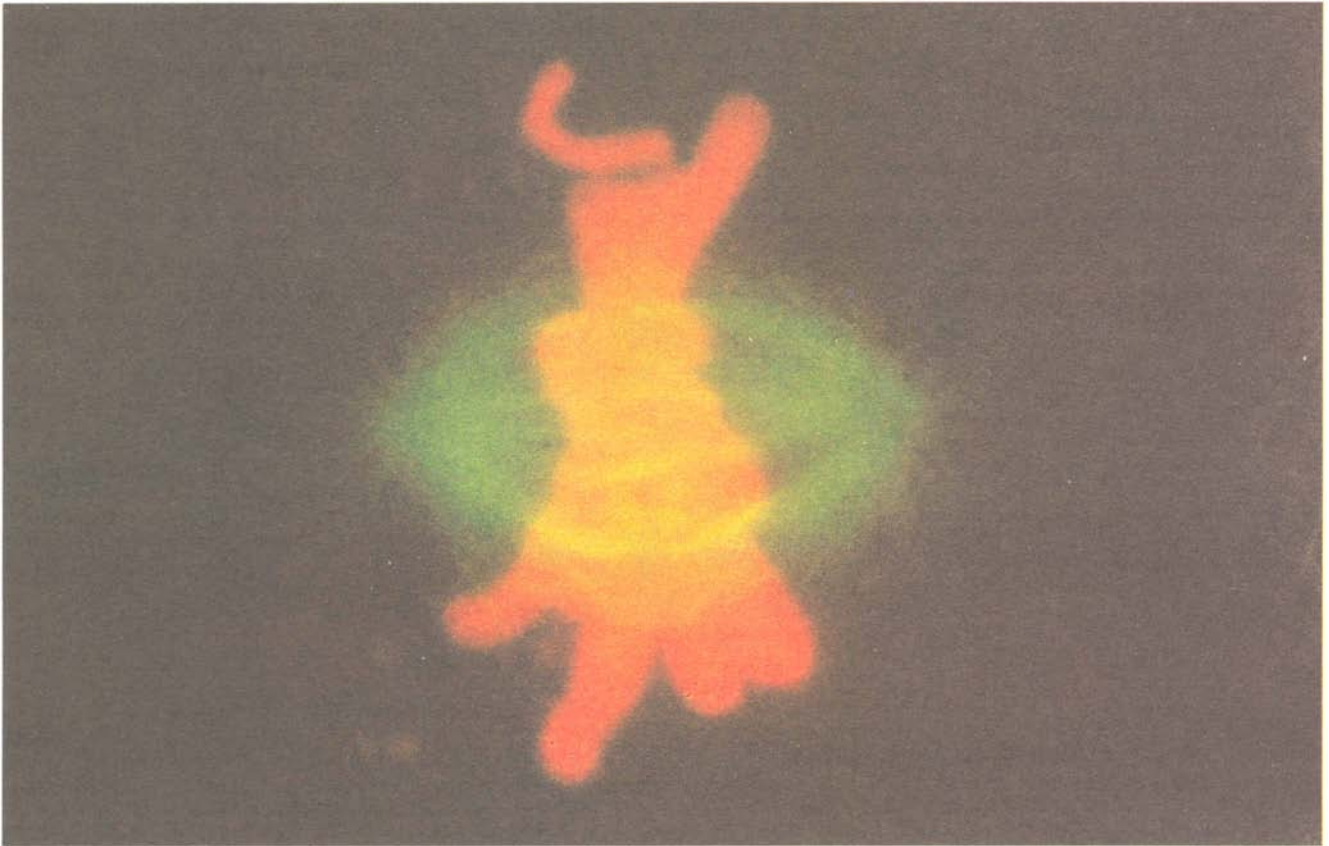
ский футбол выстраиваются для схватки за мяч. Эта стадия носит название метафазы.

Вскоре после того, как хромосомы располагаются в средней плоскости, сестринские хроматиды разделяются, становясь независимыми хромосомами. С этого момента начинается четвертая стадия митоза - анафаза. Теперь разошедшиеся хромосомы перемещаются к центросомам, находящимся на противоположных полюсах веретена. Веретено удлиняется, в результате расстояние между центросомами и парными хромосомами (бывшими сестринскими хроматидами) увеличивается.

На поздней анафазе вокруг каждой из двух групп хромосом начинается образование ядерной оболочки, после чего наступает последняя стадия митоза - телофаза. Во время телофазы оба хромосомных набора деконденсируются и образуются функциональные интерфазные ядра. Вскоре после полного обособления двух групп хромосом начинается цитокинез: делится окружающая цитоплазма, и каждое ядро, а вместе с ним и окружающий его материал оказываются в отдельной клетке.

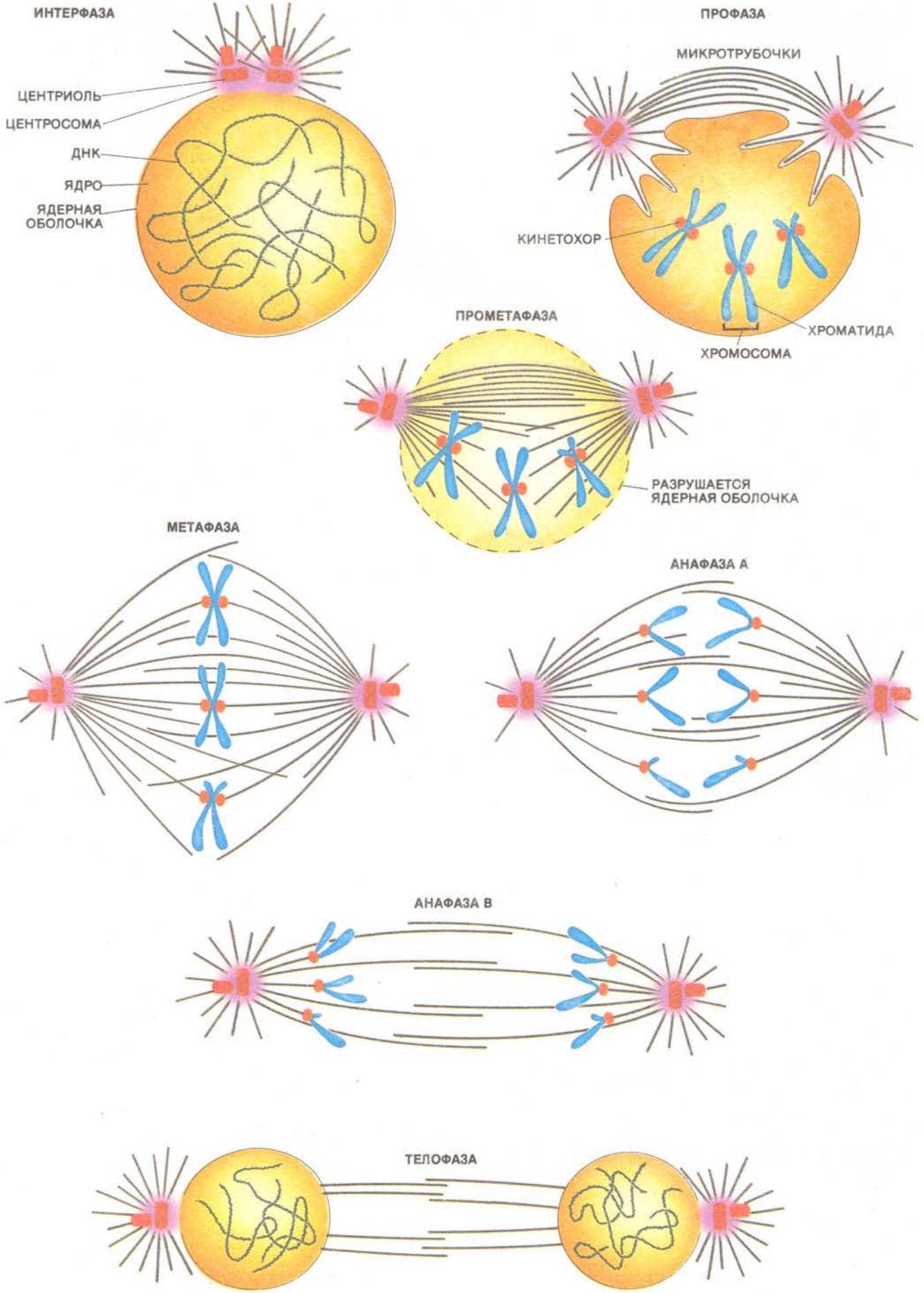
Такое описание митоза, удобное для понимания общего хода деления клетки, отражает уровень знаний тридцатилетней давности. Однако его поверхностность порождает чувство неудовлетворенности - остается непонятным, каким образом осуществляется сегрегация хромосом (расхождение сестринских хроматид). Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо разобраться в механизме работы самого веретена. Для исследования этой обширной научной проблемы использовались многочисленные подходы, в том числе структурный, биохимический и генетический анализ.

Мы сосредоточили свою работу в основном на изучении структуры веретена, поскольку рассматриваем веретено как машину для передвижения хромосом, а если вы хотите разобраться в механизме действия какой-либо машины, прежде всего следует ознакомиться с природой и функцио-



ФИБРИЛЛЫ митотического веретена (зеленые) и связанные с ними хромосомы (оранжево-красные) в делящихся клетках кенгуровой крысы хорошо различимы благодаря окрашиванию. На стадии метафазы (вверху) хромосомы,

которые были разбросаны по всему ядру, выстроились в плоскости «экватора» веретена. На следующей стадии анафазы (внизу) хромосомы разделились на две группы. (Микрофотографии получены М. Ладинским.)



нированием составляющих ее частей. Такой подход позволил в последнее время получить важные данные о строении веретена и о том, каким образом его структура изменяется в ходе митоза. Поэтому здесь мы кратко обсудим некоторые важнейшие черты устройства веретена, а затем вернемся к стадиям митоза, чтобы понять, как осуществляется каждая из них.

ВЕРЕТЕНО построено из различных элементов. Основной среди них - это фибриллы, являющиеся микротрубочками. Микротрубочки представляют собой полимеры, состоящие из белковых субъединиц, каждая из которых в свою очередь образована молекулами двух близкородственных белков α - и бета-тубулина. Микротрубочки выполняют в клетке множество функций. Например, благодаря им клетка поддерживает определенную форму; они же образуют остов ресничек, обеспечивающих подвижность клетки (см. статью: Dustin P. Microtubules, "Scientific American" August, 1980).

Одно из свойств микротрубочек, ключевое в их функционировании, заключается в полярности, или асимметрии их поверхности и концов. Эта полярность является следствием того, что субъединицы, которые сами по себе асимметричны, расположены вдоль оси полимера по принципу «голова к хвосту». Микротрубочку можно уподобить длинной стреле, состоящей из коротких стрел (субъединиц), направленных в одну и ту же сторону.

Из такой асимметрии вытекает по меньшей мере два функциональных следствия, значение которых станет понятным далее: в результате полярности концов на одном из них, так называемом плюс-конце, субъединицы присоединяются и отделяются быстрее, чем на противоположном минус-конце; полярность поверхности влияет на ориентацию молекул белков,

связывающихся с поверхностью микротрубочек.

Связывающиеся с микротрубочками белки являются неотъемлемыми компонентами митотического веретена, но конкретная их роль в митозе еще не установлена. В ресничках и других биологических машинах, основанных на микротрубочках, белки, связывающиеся с микротрубочками, представлены не только структурными молекулами, но и Ферментами - молекулами-двигателями, которые превращают химическую энергию в механическую работу. По-видимому, это верно и для веретена.

Другая важная часть веретена - это centrosомы. У разных видов организмов они значительно различаются по структуре, но обладают рядом общих свойств. Во время ранней интерфазы, когда в клетке имеется одна centrosома, она играет роль центра, организующего микротрубочки. В centrosоме начинается полимеризация микротрубочек; она влияет на организацию возникающих в итоге скоплений микротрубочек и определяет их полярность. Centrosома удваивается до начала митоза обычно в период репликации хромосом. Сначала сестринские centrosомы остаются неразделенными и функционируют как одно целое. Обычно они расходятся в профазе, начиная инициировать образование все большего количества микротрубочек, многие из которых становятся фибриллами митотического веретена.

Хотя сами хромосомы не входят в состав собственно веретена, в каждой митотической хроматиде имеется богатый белком участок - кинетохор, являющийся важным элементом веретена. Кинетохоры играют роль сцепления, которое позволяет взаимодействовать фибриллам веретена с хромосомами; как только к кинетохору присоединяется микротрубочка, хромосома начинает двигаться.

Когда эти компоненты были установлены, появилась возможность определить структуру веретена с помощью электронного микроскопа. Б. Бринкли, работавший в Больнице Андерсона в Хьюстоне, и другие исследователи показали, что существуют два основных класса микротрубочек веретена. У микротрубочек, называемых кинетохорными, один конец закорен на кинетохоре, а противоположный конец обычно, хотя и не всегда, располагается на centrosоме или вблизи нее. Обычно к каждому кинетохору присоединяется 15-35 выростов из centrosомы микротрубочек.

Однако большинство микротрубочек не взаимодействует с хромосомами. Наши эксперименты с фрагментами митотического веретена млекопитающих, а также исследование (выполненное нами в сотрудничестве с другими лабораториями) небольших высокоорганизованных веретен ряда микроорганизмов показали, что у некинетохорных микротрубочек один конец обычно находится в centrosоме, тогда как противоположный конец, обращенный в сторону другой centrosомы, свободен.

В исследованиях, выполненных нами совместно с Дж. Пикетгом-Хипсом и Д. Типпитом в Колорадском университете в Боулдере, а также с У.-П. Русом из Цюрихского университета, получали серийные срезы веретена, фотографировали их с помощью электронного микроскопа, а затем, используя компьютер, регистрировали положение каждой микротрубочки в каждом срезе. Так удалось проследить траектории индивидуальных микротрубочек, локализацию их концов и выяснить важные детали, касающиеся длины и функции некинетохорных микротрубочек.

В частности, мы установили, что некоторые некинетохорные микротрубочки короткие, тогда как другие достаточно длинные и заходят в область, пронизанную некинетохорными микротрубочками, исходящими из противоположного полюса веретена, перекрываясь с ними. В профазе и метафазе многие из таких микротрубочек тянутся далеко к противоположному полюсу, образуя опору, которая удерживает centrosомы полярно у полюсов веретена. У немногих микротрубочек оба конца свободны; их значение для митоза остается неизвестным. (Во многих животных клетках в состав веретена входят еще так называемые астральные микротрубочки, которые простираются от centrosомы к периферии клетки; их роль в сегрегации хромосом тоже неясна.)

ДАЖЕ достигнув этого уровня знаний о структуре веретена, мы

ИЗМЕНЕНИЯ ХРОМОСОМ И ИХ РАЗДЕЛЕНИЕ ВХОДЕ МИТОЗА осуществляются в несколько этапов. Клетка готовится к митозу в интерфазе - периоде между делениями. Это время реплицируется ДНК ядра и удваивается расположенная вне ядра centrosома, которая у животных состоит из двух окруженных матриком цилиндрических структур - центриолей. На centrosомах начинается рост микротрубочек, которые становятся нитями митотического веретена. На первом этапе митоза - профазе - реплицированная ДНК конденсируется, образуя хорошо различимые хромосомы, каждая из которых состоит из двух идентичных соединенных хроматид. Centrosомы разделяются, а образующиеся фибриллы веретена деформируют ядерную оболочку. В прометафазе ядерная оболочка разрушается и хроматиды прикрепляются к фибриллам веретена специализированными участками - кинетохорами. Оказавшись связанными с обеими centrosомами, хромосомы движутся к экватору веретена, где образуют так называемую метафазную пластинку. Вскорепосле этого сестринские хроматиды расходятся, становясь независимыми хромосомами. С этого начинается анафаза, которую подразделяют на две стадии - анафазу А и В. На первой стадии каждая новая хромосома приближается к той centrosоме, с которой связана. Затем происходит удлинение веретена, в результате увеличивается расстояние между разошедшимися хромосомами. Наконец, вокруг каждой группы хромосом образуется ядерная оболочка, и клетка вступает в телофазу, во время которой ДНК деконденсируется.

все еще не представляли, как ориентированы плюс- и минус-концы микротрубочек различных классов. А это было важно, так как помогло бы понять, каким образом формируется веретено, и сократило бы круг возможных объяснений ряда событий, происходящих во время митоза.

Чтобы прояснить последнее сообщение, напомним, что полярность микротрубочек влияет на ориентацию связывающихся с ними белков, к числу которых, как предполагается, принадлежат молекулы-двигатели. Ориентация определяет направление, в котором конкретные молекулы-двигатели перемещаются вдоль микротрубочки; можно ожидать также, что от ориентации молекулы-двигателя зависит сила, с которой она действует на саму микротрубочку или на другие структуры, с которыми может быть связана, например на хромосому или на соседнюю микротрубочку. Поэтому, если знать, где располагается, скажем, плюс-конец кинетохорной микротрубочки, станет понятным, могут ли те молекулы-двигатели, для которых известно, что они перемещаются в направлении от плюс-конца к

минус-концу микротрубочек, участвовать в движении хромосом к центросомам во время профазы или анафазы.

Полярность микротрубочек не видна при помощи обычного светового или электронного микроскопа. Но в начале 80-х годов С. Хейдеманн и У. Ютнер в Колорадском университете в Боулдере, а также Л. Хаймо и Б. Телзер в лаборатории Дж. Розенбаума в Йельском университете разработали методы визуализации полярности. Их исследованиями было установлено, что все микротрубочки веретена, в том числе прикрепленные к кинетохорам, ориентированы так, что плюс-конец (быстрорастущий) направлен от центросомы, к которой присоединена данная микротрубочка.

Недавно М. Киршнер и Т. Митчисон из Калифорнийского университета в Сан-Франциско предложили убедительную модель образования веретена, собрав воедино данные структурных исследований и результаты изучения полимеризации микротрубочек. Согласно их гипотезе, в ходе митоза на центросомах непрерывно инициируется образование новых микротрубочек, которые растут пу-

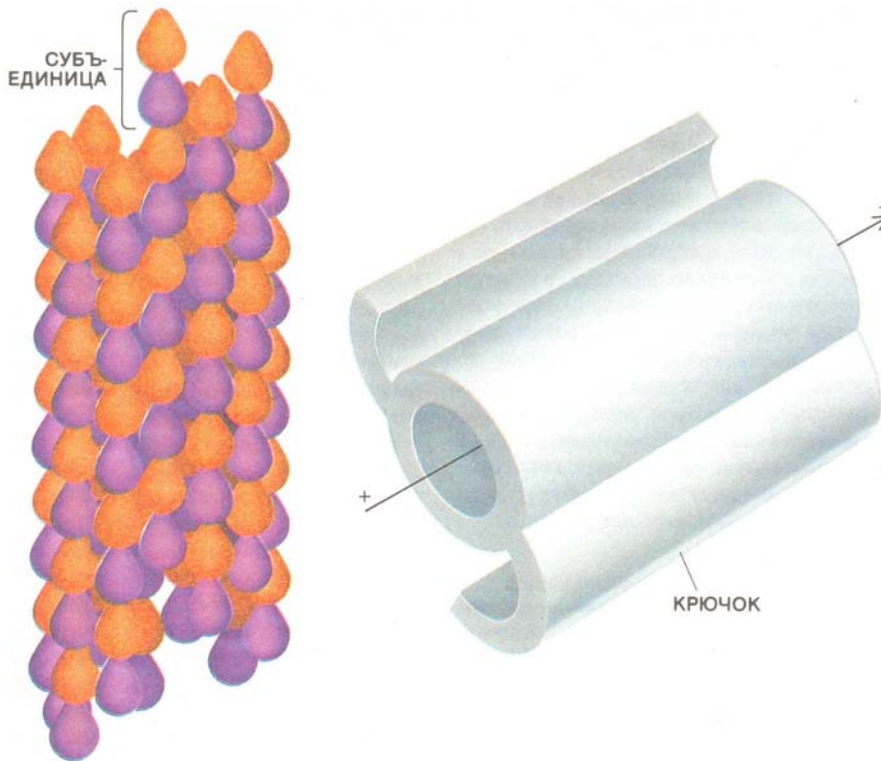
тем присоединения новых субъединиц только на плюс-конце (дистальном по отношению к центросоме). Известно, что микротрубочки некоторое время растут с постоянной скоростью, а затем переходят в состояние, в котором претерпевают быструю разборку. Это их свойство Митчисон и Киршнер назвали динамической нестабильностью. В результате многие микротрубочки по существу исчезают, как только образуются. Однако другие стабилизируются и существуют достаточно долго, чтобы построить веретено и обеспечить его функционирование. Стабилизация этих микротрубочек происходит либо при связывании с кинетохором (в случае кинетохорных фибрилл), либо при взаимодействии с микротрубочками, исходящими из противоположного полюса (в случае перекрывающихся фибрилл).

ТЕПЕРЬ мы можем пересмотреть приведенное выше описание митоза и обсудить, каким образом веретено обеспечивает сегрегацию хромосом. Вернемся к тому моменту, когда микротрубочки начинают взаимодействовать с кинетохорами, другими словами, - к началу прометафазы.

Как только к кинетохору какой-то из двух хроматид хромосомы прикрепляется хотя бы одна микротрубочка, эта хромосома, которая еще ведет себя как одно целое, так как хроматиды соединены вместе, начинает двигаться к центросоме, с которой она теперь связана. Это движение может быть результатом как активного перемещения кинетохора по статичной микротрубочке, так и укорачивания микротрубочки, к которой прикреплена пассивно движущаяся хромосома.

Однако хромосома не задерживается надолго возле центросомы, потому что, когда к кинетохору сестринской хроматиды прикрепляются одна или несколько фибрилл, отходящих от другой центросомы, хромосома оказывается в положении каната для перетягивания: она ведет себя так, как будто центросомы, расположенные у противоположных полюсов веретена, тянут ее в разные стороны. Эти движения то туда, то сюда приводят к тому, что хромосомы в конце концов оказываются на экваторе веретена, где они становятся частью так называемой метафазной пластинки. Во время метафазы хромосомы располагаются таким образом, что их кинетохоры обращены к центросомам, с которыми они связаны.

Механизмы многих событий прометафазы остаются малоизвестными, однако механизм, благодаря которому два кинетохора одной хромосомы

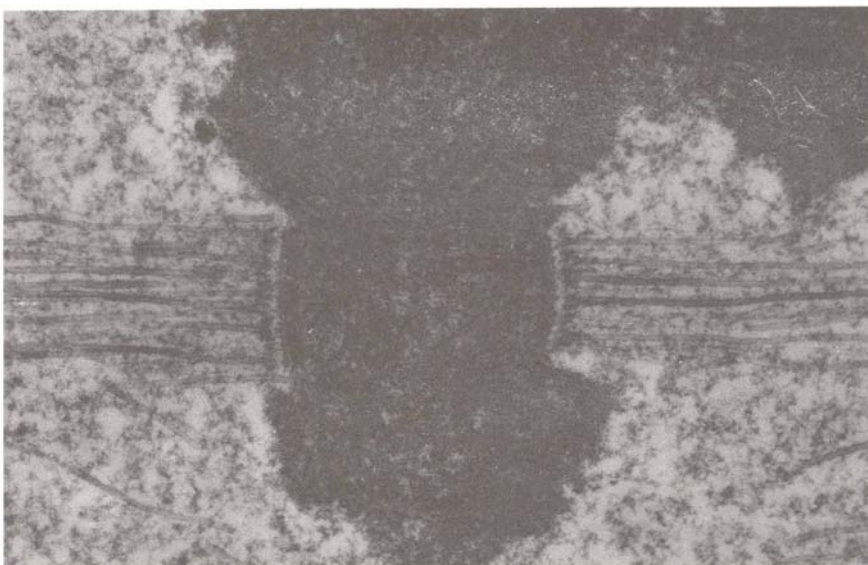
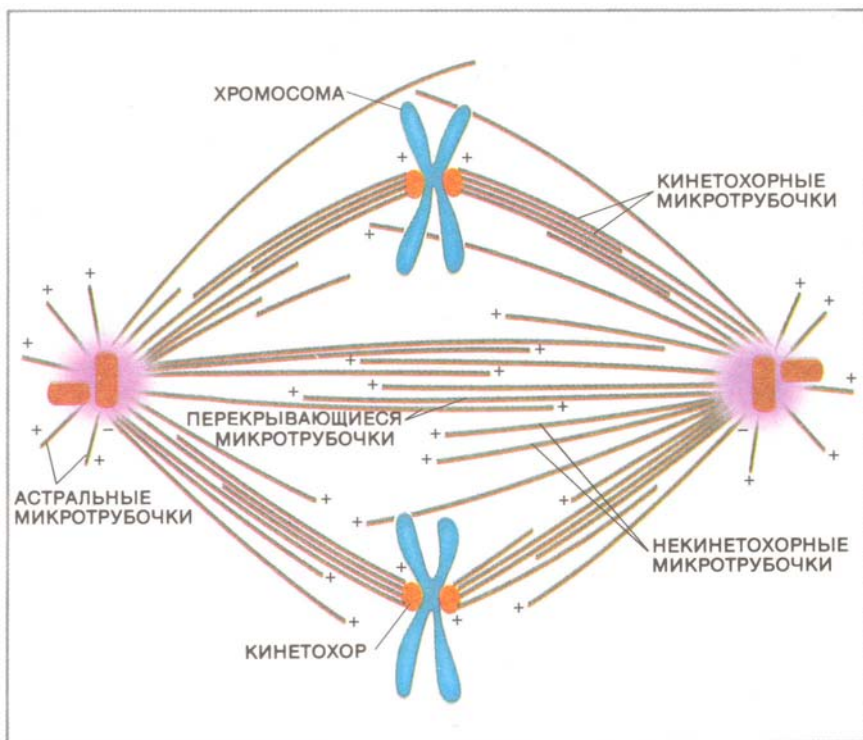


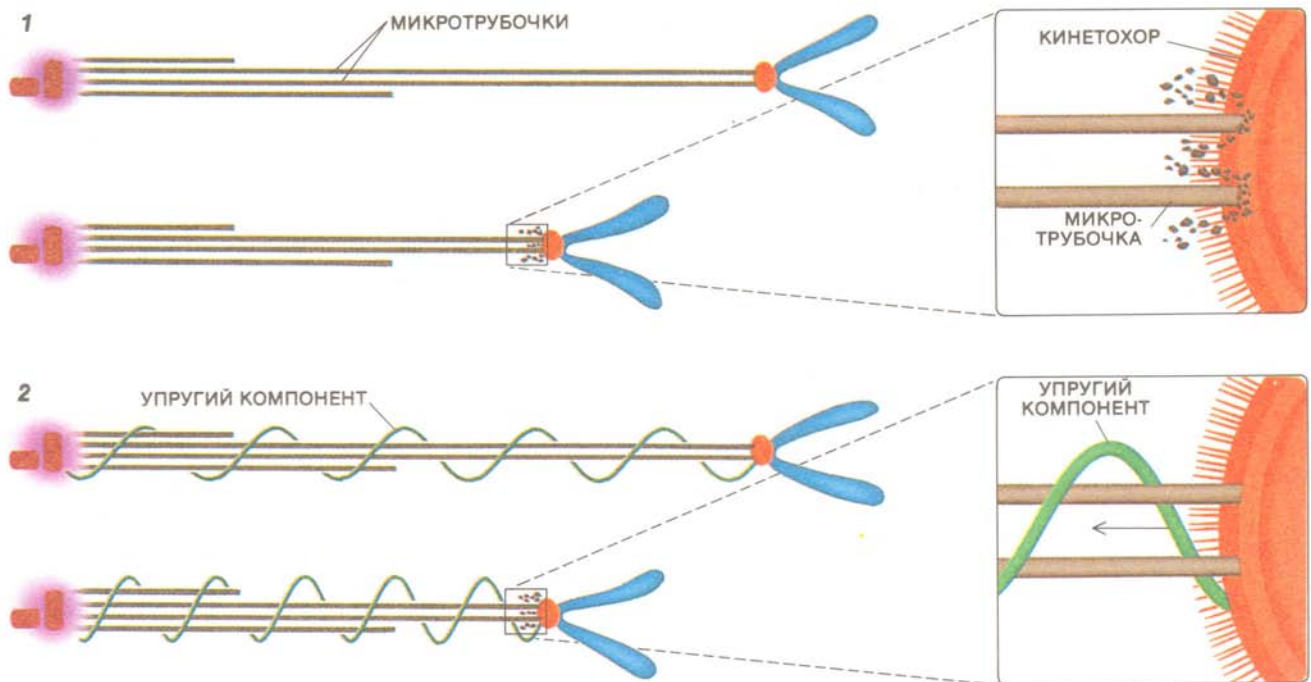
МИКРОТРУБОЧКА представляет собой нерастяжимый трубчатый полимер, построенный из субъединиц, которые в свою очередь состоят из двух различных белковых молекул - α и β -тубулина (слева; показаны разными цветами). Поскольку субъединицы соединены по принципу «голова к хвосту», микротрубочки обладают полярностью. На одном конце, обозначаемом «плюс», присоединение и отделение субъединиц происходят быстрее, чем на другом («минус»). Концы можно различить несколькими способами. Например, можно вызвать образование на внешней поверхности микротрубочки «крючков» - изогнутых пластинчатых структур из тубулина (справа). Если «крючки» направлены по часовой стрелке, то микротрубочка повернута к зрителю своим плюс-концом.

связываются с разными centrosомами, частично выяснен. Р. Никлас и Д. Кубаи из Университета Дьюка показали, что исходно к кинетохорам могут прикрепляться микротрубочки практически любого направления, но поначалу эта связь слабая. И лишь после того, как к кинетохорам сестринских хроматид прикрепляются микротрубочки, отходящие от противоположных полюсов, связь хромосомы с веретеном становится прочной.

Работа Никласа позволяет предположить, что стабильность присоединения хромосомы к веретеному обеспечивается напряжением, которое возникает, когда кинетохоры сестринских хроматид тянутся в противоположных направлениях. Если кинетохоры обеих сестринских хроматид прометафазной хромосомы оказываются соединенными микротрубочками с одной и той же centrosомой, хромосома спонтанно отделяется от веретена. Однако, если такую хромосому при помощи микроиглы потянуть так, чтобы возникло напряжение, которое в норме создается действием микротрубочек, отходящих от разных centrosом, хромосома от веретена не отделяется. Примечательно, что оба кинетохора остаются связанными с одной centrosомой до тех пор, пока либо не исчезнет искусственное воздействие, либо не начнется анафаза. Таким образом, присоединение хромосом к фибриллам веретена стабильно только в условиях нагрузки, чем и обеспечивается расхож-

ПОЛНОЕ МИТОТИЧЕСКОЕ ВЕРЕТЕНО типичной животной клетки в метафазе состоит из микротрубочек различных типов, которые различают по тому, с чем связаны их концы (*вверху*). У микротрубочек первого типа один конец прикрепляется к кинетохору; многие (но не все) кинетохорные микротрубочки противоположным концом соединены с centrosомой. Обычно с одним кинетохором связывается несколько микротрубочек, как это видно на верхней микрофотографии (получена М. Шиблером из Онкологического фонда в Ла-Хойя). Микротрубочки второго типа начинаются на centrosоме, но не связаны с кинетохором. В числе этих некинетохорных фибрилл - микротрубочки, которые перекрываются с противоположно направленными микротрубочками в области экваториальной плоскости веретена (как на нижней микрофотографии, на которой представлено веретено одного из микроорганизмов), а также более короткие фибриллы. У животных в состав веретена часто входят еще и радиально расположенные астральные микротрубочки и немногочисленные свободно плавающие микротрубочки. «Плюс»-концы (быстрорастущие) микротрубочек обращены от centrosомы, на которой инициируется их сборка.





МЕХАНИЗМ ДВИЖЕНИЯ ХРОМОСОМ к centrosомам в анафазе А во многом неясен. Предполагалось, что их тянут кинетохорные микротрубочки, укорачиваясь на своих концах, обращенных к centrosомам. Но в действительности микротрубочки теряют субъединицы на кинетохорном конце. Возможно, кинетохор осуществляет активную разборку связанных с ним микротрубочек и при этом постоянно вновь «хватается» за остающиеся концы одной или не-

скольких укорачивающихся фибрилл, как за страховочный канат (1). Возможно также, что между кинетохором и полюсом располагается некий неизвестный еще упругий компонент, а микротрубочки не дают хромосомам двигаться к полюсам под его действием (2); при этом деполимеризация микротрубочек позволяет упругому компоненту перемещать хромосому к полюсу.

дение сестринских хроматид к противоположным полюсам митотического веретена.

Обычно стабильное биполярное присоединение хромосом к веретену осуществляется задолго до того, как все хромосомы соберутся вместе в метафазную пластинку в экваториальной плоскости веретена. Как же в таком случае кинетохорные фибриллы, отходящие от разных centrosом, перемещают хромосому точно в эту среднюю плоскость?

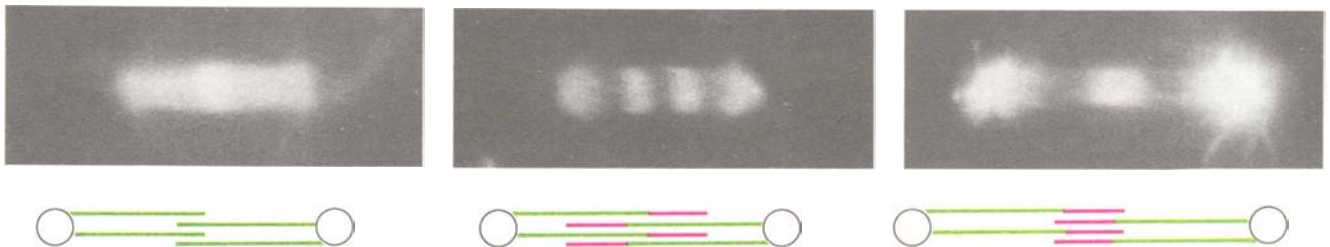
В начале 50-х годов Г. Остергрэн из

Университета в Уппсале (Швеция) предположил, что клетка способна регулировать силы, действующие на кинетохор таким образом, что их результирующая пропорциональна длине фибрилл, прикрепленных к кинетохору. Эта гипотеза привлекательна постольку, поскольку согласуется с тем фактом, что во время прометафазы длинные кинетохорные микротрубочки укорачиваются, а короткие фибриллы, идущие от противоположной centrosомы, удлиняются до тех пор, пока длина тех и других фи-

брилл приблизительно не сравняется.

Некоторые данные, полученные Т. Хэйсом и Д. Уайсом в лаборатории Э. Салмона в Университете Северной Каролины в Чапел-Хилле свидетельствуют, что гипотеза Остергрэна верна. Более того, Хэйс показал, что величина силы, приложенной к кинетохору, также прямо пропорциональна числу связанных с ним микротрубочек.

Чем осуществляется тянущее усилие и каким механизмом величина силы сопоставляется с длиной кинетохор-



УДЛИНЕНИЕ веретена в анафазе В осуществляется, по-видимому, благодаря тому, что в средней части веретена перекрывающиеся микротрубочки растут с плюс-конца и выросшие фибриллы скользят относительно друг друга. Х. Масуда и У. Канде из Калифорнийского университета в Беркли получили данные об этих процессах. Они выделили из клеток веретена и окрасили микротрубочки флуоресцентным красителем (слева сверху и схема внизу); окраска наиболее плотная в области экватора веретена, где противоположно направленные фибриллы перекрываются. К этому препарату добавили тубулин, помеченный другим красителем. На средней микрофотографии виден только

заново встроившийся тубулин (на схемах он красный); заметно, что степень перекрывания микротрубочек возросла - значит, фибриллы удлинились в результате присоединения новых субъединиц к плюс-концам. (Астральные микротрубочки также окрашиваются, однако это не имеет отношения к удлинению веретена.) В присутствии аденозинтрифосфата (АТФ), который служит источником энергии и, как известно, необходим для удлинения веретена, зона перекрывания фибрилл стала короче, а веретено в целом - длиннее (справа). Этот результат можно объяснить только скольжением меченых концов относительно друг друга.

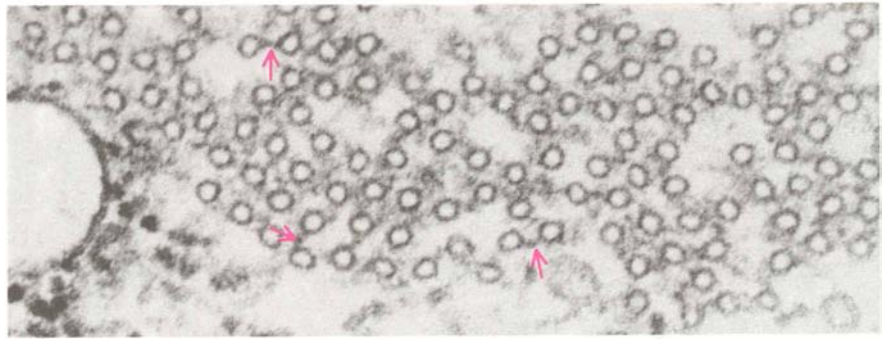
ных фибрилл? Одна из возможностей состоит в том, что тянущее усилие микротрубочек объясняется действием на них связанных белков-двигателей; более длинные и многочисленные фибриллы развивают большее усилие, чем немногие короткие микротрубочки, поскольку чем длиннее фибрилла, тем больше с ней связано белков, генерирующих силу. Но есть и другие разумные предположения. Интересно также выяснить, чем контролируются сборка и разборка кинетохорных микротрубочек при движении хромосом к экватору веретена.

Независимо от того, как хромосомы попадают в экваториальную плоскость, достигнув ее, они располагаются так, что их хроматиды могут беспрепятственно двигаться к соответствующим полюсам. Характерное для метафазы размещение хромосом столь важно для процесса сегрегации, что, если отдельная хромосома замешкается в своем движении к экватору веретена, задерживается обычно и начало анафазы. По-видимому, какой-то клеточный механизм регистрирует прибытие хромосом в экваториальную плоскость и не дает начаться анафазе, пока все хромосомы не займут свои места.

Разделение сестринских хроматид, которым завершается метафаза и начинается анафаза, по всей видимости, не зависит от деятельности веретена: в некоторых клетках хроматиды разделяются даже когда веретено отсутствует. Ряд данных позволяет предположить, что пусковым механизмом этого процесса служит увеличение концентрации ионов кальция, которые освобождаются в ядерной области из мембранных везикул.

КАК ТОЛЬКО хроматиды полностью разделились, наступает анафаза, которая протекает в две стадии. На первой стадии, называемой анафазой А, по мере миграции хромосом (т. е. недавно разделившихся хроматид) к соответствующим полюсам кинетохорные микротрубочки укорачиваются. Затем, во время анафазы В (которая может до некоторой степени перекрываться с анафазой А) удлиняется веретено.

В лаборатории Г. Бориси в Висконсинском университете в Мадисоне, а также в лабораториях Кишнера и Никласа независимо было доказано, что укорачивание кинетохорных микротрубочек в ходе анафазы А происходит в результате потери ими субъединиц с того конца, который прикреплен к кинетохору. Ранее предполагалось, что хромосомы пассивно следуют за фибриллами, которые укорачиваются в centrosомах. Очевидно, это не так. В самом деле, коль-



ПРОТИВОПОЛОЖНО НАПРАВЛЕННЫЕ МИКРОТРУБОЧКИ (мелкие круги; на этой электронной микрофотографии они видны в поперечном сечении) в зоне перекрывания соединены друг с другом поперечными мостиками (указаны стрелками). Эти мостики могут быть частью механизма, который расталкивает половинки веретена на поздних стадиях митоза.

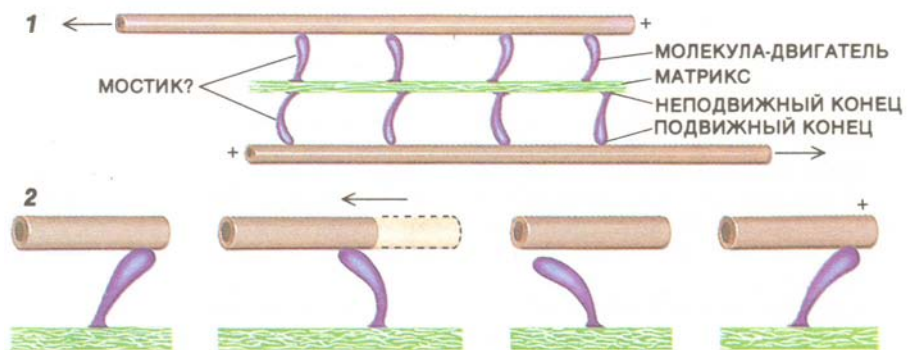
соро хромосомы остаются присоединенными к микротрубочкам, когда те подвергаются разборке, можно думать, что кинетохоры вполне активны и, возможно, вносят вклад в разборку микротрубочек.

Какие взаимодействия кинетохора и кинетохорных микротрубочек обеспечивают движение хромосом к соответствующим centrosомам? Можно предположить, что кинетохор или, скажем, какой-то другой элемент сообщает микротрубочкам сдавливающее усилие (которое вызывает удаление субъединиц); это в свою очередь может быть следствием того, что молекулы-двигатели, связанные с кинетохором и передвигающиеся по микротрубочкам к centrosоме, тянут за собой кинетохор. В таком случае хромосомы будут оставаться связанными с укорачивающимися пучками микротрубочек, «хватаясь» вновь и вновь за остающиеся участки одной или нескольких микротрубочек, как

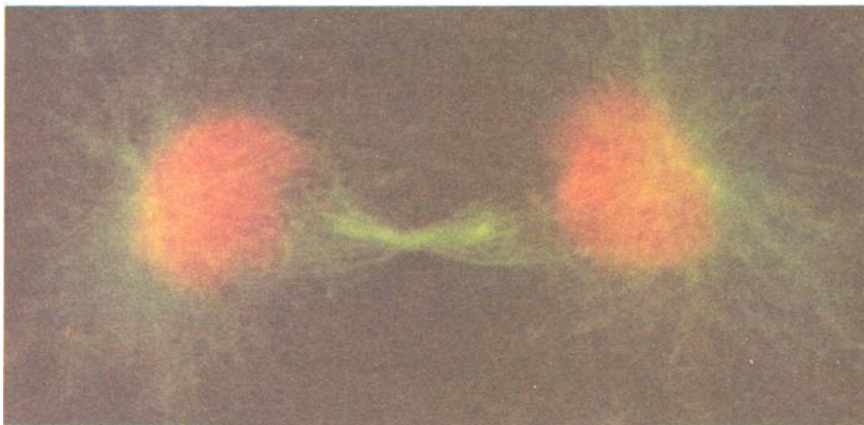
терпящий бедствие человек за страховочный канат. Если кинетохор действительно обладает активностью, приписываемой этой модели, и во время анафазы действует на микротрубочки с некоторой силой, то, не исключено, что и раньше, в прометафазе, он также может вносить вклад в движение хромосом, способствуя их перемещению к экватору веретена.

Альтернативное объяснение движения хромосом в анафазе заключается в том, что между кинетохором и полюсом простирается некий упругий компонент, а роль кинетохорных микротрубочек сводится к сопротивлению тянущему усилию этого компонента. Укорачиваясь, микротрубочки попросту позволяют упругой силе тянуть хромосомы по направлению к полюсам. Однако доказательств существования подобной упругой системы пока нет.

Более понятен механизм, с по-



СКОЛЬЖЕНИЕ противоположно направленных микротрубочек относительно друг друга в анафазе В может осуществляться так называемыми молекулами-двигателями, которые, как предполагается, входят в состав матрикса, обнаруженного в зоне перекрывания фибрилл веретена. Согласно представленной здесь модели, эти молекулы контактируют с микротрубочками и толкают их к периферии клетки (т. е. в направлении от плюс-конца микротрубочки к минус-концу). Молекулы-двигатели присоединяются к поверхности микротрубочки, смещают ее к полюсу веретена, затем отделяются и снова присоединяются, но уже ближе к плюс-концу. Если это так, то мостики, видимые на электронных микрофотографиях, соответствуют парам молекул-двигателей, смещающих микротрубочки в противоположных направлениях.



КЛЕТКА КЕНГУРОВОЙ КРЫСЫ в телофазе содержит два полных ядра, которые находятся в процессе перехода в интерфазу; здесь видны только фибриллы веретена (зеленые) и ДНК (красная). Деление цитоплазмы клетки практически закончено. Флуоресцирующий пучок микротрубочек, который виден в центре снимка, расположен в узком перешейке цитоплазмы, еще соединяющем сестринские клетки. (Микрофотография получена М. Ладинским.)

мощью которого во время анафазы В далеко расходятся полюсы веретена и связанные с ними хромосомы. По меньшей мере в случае некоторых организмов ясно, что перекрывающиеся фибриллы удлиняются на плюс-конце (дистальном по отношению к centrosome), затем в средней области веретена, где микротрубочки перекрываются, молекулы-двигатели расталкивают противоположно направленные фибриллы, так что те скользят к разным полюсам. В результате этого движения centrosомы (а следовательно, и связанные с ними хроматиды) расходятся на значительное расстояние.

ПЕРВЫЕ данные, указывающие на то, что, возможно, существует механизм скольжения, мы получили в 70-х годах, когда вместе с Пикеттом-Хипсом и Типпитом занялись электронно-микроскопическим анализом веретена. Сравнивая пространственные изображения волокон веретена в анафазе, полученные с помощью компьютера, мы заметили, что фибриллы, исходящие из противоположных полюсов, выглядят так, как если бы между концом анафазы А и концом анафазы В они скользили относительно друг друга в разные стороны. Сходная картина расположения волокон веретена наблюдалась в клетках млекопитающих, у диатомовых водорослей (входящих в состав планктона) и слизевика *Dictyostelium discoideum*. Во всех этих случаях было также обнаружено, что противоположно направленные перекрывающиеся микротрубочки во время анафазы В удлиняются.

Доказательством того, что механизм, генерирующий энергию для увеличения длины веретена, находит-

ся в самом веретене, служат главным образом данные, полученные У. Канде и его коллегами из Калифорнийского университета в Беркли. Они выделили веретена из клеток диатомовых водорослей и, добавив к ним раствор аденозинтрифосфата (АТР), играющего в клетках роль горючего, наблюдали, как половинки веретена (каждая половина состояла из centrosомы и связанных с ней фибрилл) расходились. Если бы веретено не обладало способностью обеспечить это скольжение, добавление АТР не дало бы такого эффекта. Л. Уордман из лаборатории Канде показала далее, что для удлинения веретена необходимо, чтобы белки, связанные с веретеном в зоне перекрывания противоположно направленных фибрилл, были активированы путем фосфорилирования (присоединения фосфатной группы) за счет АТР. Канде и его коллега Х. Масуда установили, что происходит на следующем этапе анафазы В: рост микротрубочек в этой зоне осуществляется путем присоединения субъединиц к плюс-концу (дистальному по отношению к centrosome).

Каким образом противоположно направленные микротрубочки в области перекрывания удлиняются и в то же время в остальной части веретена подвергаются разборке? Как осуществляется скольжение? Представляется правдоподобным, что во время анафазы микротрубочки в области перекрывания оказываются окруженными неким матриксом, содержащим белки, которые способствуют сборке микротрубочек. Скажем, молекулы матрикса могут стабилизировать микротрубочки, связываясь с ними, как это, вероятно, происходит при связывании фибрилл веретена с кинетохором.

Скольжение микротрубочек относительно друг друга, которое наш коллега У. Сакстон продемонстрировал недавно у живых клеток млекопитающих, может быть обеспечено несколькими механизмами, однако все гипотезы остаются пока смесью фактов и домыслов. Согласно одной модели, молекулы-двигатели «заякорены» в матриксе в зоне перекрывания. Здесь они связываются с микротрубочками и тянут их в направлении от плюс- к минус-концу. Такая деятельность приведет к расхождению фибрилл в противоположных направлениях к периферии клетки. С помощью электронного микроскопа удается наблюдать мостики между микротрубочками в зоне перекрывания, которые могут соответствовать как раз таким молекулам (см. рисунки на с.23).

ПОДВОДЯ итог, что можно сказать о нормальном функционировании митотического веретена? Оно представляет собой удивительно динамичную структуру. В ходе митоза составляющие веретено микротрубочки постоянно образуются заново, быстро растут и распадаются. Рост и разборка микротрубочки происходят, очевидно, в основном на том ее конце, который удален от полюса веретена. Хотя все фибриллы веретена имеют одинаковую полярность, они ведут себя по-разному, в зависимости от того, с какой структурой связаны. Если микротрубочка прикреплена к кинетохору хромосомы, она участвует в ее движении во время прометафазы и анафазы А. Если фибрилла веретена взаимодействует с микротрубочками, исходящими из противоположного полюса, образуется зона перекрывающихся микротрубочек, обеспечивающая расхождение полюсов. В анафазе В путем полимеризации и скольжения фибрилл также удлиняется веретено, что способствует сегрегации хромосом.

Ответ на вопрос о том, чем управляется движение хромосом в ходе митоза, в конечном счете определяется знаниями о взаимодействии различных молекулярных компонентов веретена. В настоящее время в этой области намечился прогресс, ведутся интенсивные биохимические и генетические исследования, нацеленные на идентификацию компонентов веретена, играющих главные роли в его функционировании. В делящихся клетках обнаружены два типа молекул-двигателей, ассоциированных с микротрубочками. По меньшей мере *in vitro* они перемещаются вдоль микротрубочек и обеспечивают передвижение расположенных поблизости структур. Пока неясно, участвуют ли

эти ферменты в митозе в живых клетках. Не исключено, что двигатели митоза еще не обнаружены. Мы надеем-

ся, что эти важнейшие молекулы будут идентифицированы в ближайшие несколько лет.

правленность времени, Хокинг неявно допускает то, что еще нужно доказать, а именно что один конец стрелы времени отличен от другого. Прайс считает, что в рассуждениях о времени конечные внешние условия так же значимы, как начальные: иными словами, любое объяснение высокой степени порядка в момент Большого взрыва, который предполагается в модели Хокинга, в равной мере, как думает Прайс, применимо и к Большому сжатию. И если в модели Хокинга предполагается какая-либо временная асимметрия, продолжает Прайс, значит, эта модель стрелу времени не объясняет.

Наука и общество

Что есть время?

ВООРУЖЕНЫ и очень опасны" - таково мнение философов о современных физиках-теоретиках, которые используют представления, противоречащие интуиции, облекая их в непробиваемую математическую броню. Участвовать в сражениях физиков - весьма, впрочем, интересных - философы обычно избегают. Не таков Хью Прайс, философ из Сиднейского университета, решивший вступить в противоборство со Стивеном Хокингом из Кембриджского университета, одним из ведущих космологов нашего времени. Предмет спора состоит в том, действительно ли Хокингу удалось, как он сам утверждает, объяснить «стрелу» (направленность) времени.

Понятие времени занимает необычное место в космологии. Большинство физических законов позволяют Вселенной эволюционировать как вперед, так и назад. Основное исключение - это тенденция к увеличению беспорядка, или к росту энтропии. В своей популярной книге «Краткая история времени: от Большого взрыва до черных дыр» Хокинг высказывает предположение, что в основе психологического ощущения, которое мы называем ощущением времени, лежит именно тенденция к возрастанию энтропии. Он говорит далее, что живые существа могут жить и пополнять свою память, ощущая тем самым течение времени, лишь противодействуя возрастанию энтропии в локальной области пространства. А для этого они должны использовать энергию, поступающую от Солнца. Поэтому в более глубоком смысле проблема ощущения времени сводится по Хокингу к следующему вопросу: почему на данном этапе эволюции Вселенная содержит упорядоченные структуры типа Солнца, а не характеризуется полным хаосом, которому соответствовало бы случайное излучение?

Подобно большинству космологов Хокинг придерживается точки зрения, согласно которой объяснить существование галактик, звезд и других упорядоченных систем действием известных сил в природе можно только в том случае, если предположить, что когда-то произошел Большой взрыв, в результате которого первоначально плотная горячая Вселенная, находившаяся в упорядоченном состоянии,

стала быстро расширяться. Хокинг и его сторонники считают также, что беспорядок будет распространяться, пока Вселенная не лишится своих ярких красок и не станет подобной холодному разреженному газу, за чем может произойти Большое сжатие. Отсюда, согласно Хокингу, следует принципиально важный вопрос: почему на одном конце оси времени (т. е. в момент Большого взрыва) Вселенная является упорядоченной, а на другом (в момент Большого сжатия) - хаотичной? Почему эта кинолента не начнет крутиться в обратную сторону?

Ответ на этот вопрос Хокинг находит в одной из квантово-гравитационных моделей Вселенной - теоретических гибридах, сочетающих релятивистику и квантовую физику. Хокинг считает, что космологи должны обратить свое внимание на такую квантово-гравитационную модель, в которой Вселенная конечна в пространстве и времени, но не имеет границ. Отсутствие края или границы в такой вселенной связано с тем обстоятельством, что пространство-время искривлено: ведя прямую из какой-либо точки, вы вернетесь в ту же точку. Расчеты, сделанные Хокингом, показали, что предположение об отсутствии границ вместе с рядом других допущений ведет к следующему важному выводу. Реальная Вселенная - всего лишь наиболее вероятный тип вселенной: будучи упорядоченна на одном конце стрелы времени, она расширяется до максимального размера, а затем через вечность вновь сожмется, становясь все более беспорядочной.

Именно здесь Прайс влезает в коллючие заросли космологических построений. Хокинга. На страницах журнала "Nature" он в самых любезных выражениях выражает сомнение в том, что Хокингу действительно удалось объяснить направленность времени, сделав предположение об отсутствии границ Вселенной. По словам Прайса, автор книги «Краткая история времени» держит читателя в напряжении, излагая загадочную историю, но не доводит дело до развязки. «Это как в детективном романе, когда там говорится, что убийство совершил дворецкий, но ни слова не сказано о том, как это ему удалось, если в момент убийства он находился в тюрьме», - пишет Прайс.

По мнению Прайса, объясняя на-

правленности времени, Хокинг неявно допускает то, что еще нужно доказать, а именно что один конец стрелы времени отличен от другого. Прайс считает, что в рассуждениях о времени конечные внешние условия так же значимы, как начальные: иными словами, любое объяснение высокой степени порядка в момент Большого взрыва, который предполагается в модели Хокинга, в равной мере, как думает Прайс, применимо и к Большому сжатию. И если в модели Хокинга предполагается какая-либо временная асимметрия, продолжает Прайс, значит, эта модель стрелу времени не объясняет.

Хокинг стоит на своем. В статье, направленной в журнал «Scientific American», он пишет, что предположение об отсутствии у вселенной границ на самом деле объясняет направленность времени, поскольку из него явно следует, что для вселенной любого данного размера характерны два высоковероятных состояния, существенно различных по степени беспорядка. В состоянии с низкой степенью беспорядка по мере расширения Вселенной энтропия возрастает; в состоянии с высокой степенью беспорядка беспорядок увеличивается по мере сжатия Вселенной. Хокинг приписывает состояние с низкой степенью беспорядка начальному этапу эволюции Вселенной, а состояние с высокой степенью беспорядка - тому этапу, который следует за началом сжатия Вселенной. «У него нет необходимости делать допущения о времени, - пишет один из сторонников Хокинга. - Если он прав, ответ на поставленный вопрос можно считать найденным.»

Другие космологи не столь категоричны. По мнению Д. Пейджа из Университета шт. Пенсильвания, сотрудничающего с Хокингом, «пока не ясно, в какой части простых моделей Вселенных есть стрела времени». Если вывод о направленности времени следует уже из самого свойства простоты модели, то предположение Хокинга об отсутствии у Вселенной границ мало что объясняет.

Тем не менее Пейдж уверен, что дальнейшие исследования прояснят ситуацию. «Может оказаться, что аргументы Хокинга не верны по другим причинам, однако я не думаю, - пишет Пейдж, что он просто протащил стрелу времени в модель». На самом деле, как он считает, Хокинг, возможно, набрел на принципиальный подход. «Если в более сложных моделях асимметрия времени не появится, нам останется удивляться свойствам Вселенной, которую описывает модель Хокинга ... До сих пор, насколько мне известно, направленность времени объяснить не удавалось».

Станфордский линейный коллайдер

Завершен и начал работать первый в мире линейный коллайдер. Станфордская «фабрика» Z^0 -частиц позволяет измерять массу и время жизни этих переносчиков электрослабых взаимодействий с беспрецедентной точностью

ДЖОН Р.РИС

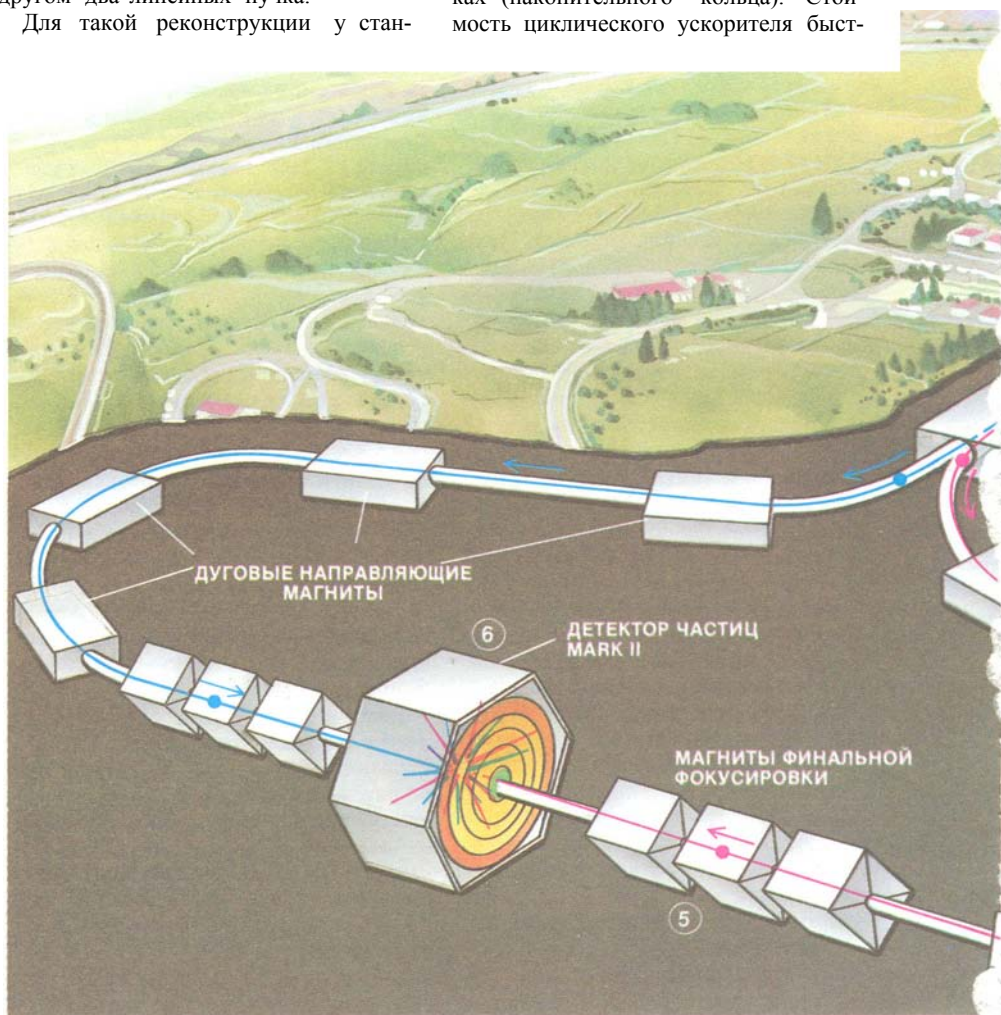
РАНО утром во вторник 11 апреля солнце уже рассеивало туман над покрытыми травой холмами вокруг Станфордского ускорительного центра (SLAC), когда мои коллеги по ночной смене отправились домой. Никто из нас не знал, что несколькими минутами раньше мощная волна энергии ударила изнутри по трехэтажному 1800-тонному железному корпусу, служащему оболочкой детектора Mark II. Событие произошло в одно мгновение. И только на следующее утро Б. Милликен, постдокторант из Калифорнийского технологического института, изучая компьютерные данные, записанные за предыдущий день, заметил нечто неожиданное. Две тонкие длинные струи частиц «брызнули» из точки взаимодействия и ударили в детектор, «высветив» энергию приблизительно в 65 млрд. электронвольт (эВ). Милликен понял, что этот короткий импульс проявляет несомненные свойства Z^0 -частицы - переносчика слабого взаимодействия, одного из фундаментальных взаимодействий. К полудню эта новость облетела весь мир: наконец мы достигли цели, которой добивались почти в течение года.

Примечательным в этом апрельском событии было не столько наблюдение Z^0 -частицы (называемой просто «зо-ноль»), которая была открыта еще шесть лет назад, сколько тот факт, что она родилась на Станфордском линейном коллайдере (Stanford Linear Collider, SLC) - этой не имеющей аналогов установке. В SLC высокоэнергичные пучки (сгустки-и) электронов и позитронов (античастиц электронов) сталкиваются друг с другом; это особенно плодотворный метод изучения фундаментальных взаимодействий. Впервые такие ускорители появились в 1960г., и обычно в электрон-позитронных коллайдерах два пучка частиц движутся в противоположных направлениях по круговой

траектории; они пересекаются (сталкиваются) в различных точках пегли, рождая при этом ливни новых частиц. Нарушая этот традиционный метод, в ускорителе SLC сталкиваются друг с другом два линейных пучка.

Для такой реконструкции у стан-

Фордской группы были веские основания. Во-первых, затраты на строительство и эксплуатацию линейного коллайдера должны быть меньше, чем для ускорителя на встречных пучках (накопительного кольца). Стоимость циклического ускорителя быст-

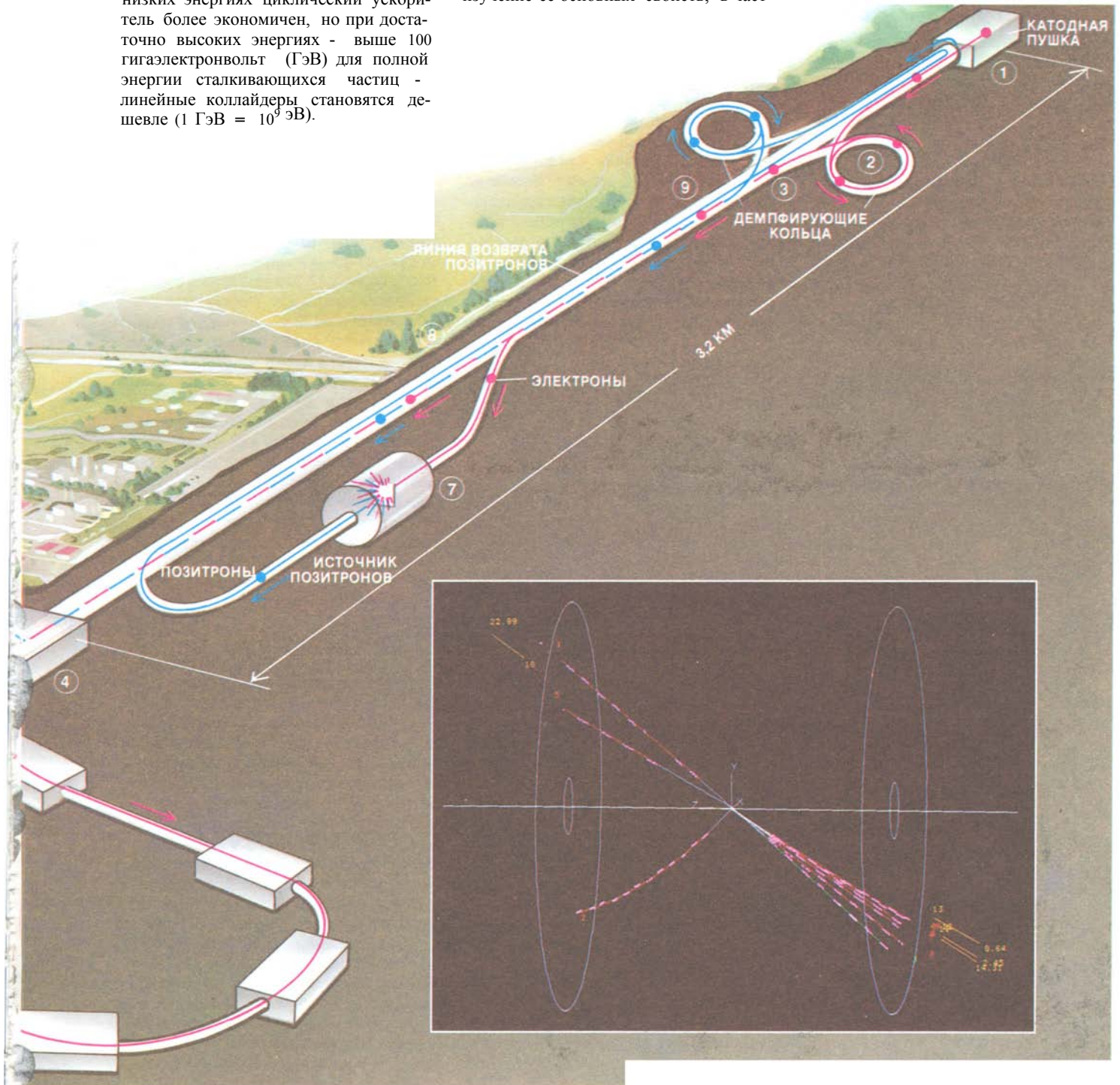


СТАНФОРДСКИЙ ЛИНЕЙНЫЙ КОЛЛАЙДЕР (SLC) ускоряет электроны (красные) и позитроны (синие) в линейном ускорителе (длиной ~ 3,2 км), а затем направляет их к завершающему столкновению при полной энергии около 100 гигаэлектронвольт (ГэВ). Катод последовательно «выстреливает» два сгустка электронов (1), они ускоряются до энергии 1 ГэВ и затем «сгущаются» в демпфирующих кольцах (2). Демпфированные сгустки вводятся в линейный ускоритель, где к ним присоединяется демпфированный сгусток позитронов (3) «Ведущий»

ро растет с увеличением энергии пучков, примерно как квадрат энергии, - в частности, из-за того, что чем выше энергия заряженной частицы, тем большую энергию она излучает в виде синхротронного излучения при движении по криволинейному пути. При низких энергиях циклический ускоритель более экономичен, но при достаточно высоких энергиях - выше 100 гигаэлектронвольт (ГэВ) для полной энергии сталкивающихся частиц - линейные коллайдеры становятся дешевле ($1 \text{ ГэВ} = 10^9 \text{ эВ}$).

Не менее веским основанием было желание построить «Z⁰-фабрику» - установку, на которой Z⁰-частица может быть детально изучена. Эта частица была открыта в 1983 г. в ЦЕРНе (Европейской организации ядерных исследований в Женеве), и изучение ее основных свойств, в част-

ности массы и времени жизни, представляет собой сегодня одну из основных проблем физики элементарных частиц. В 1983 г. инженеры в ЦЕРНе уже подготовили почву для собственной Z⁰-фабрики большого



электронный сгусток и позитроны ускоряются на пути до конца линейного ускорителя, а затем отклоняются в две большие дуги (4) - электроны налево, а позитроны направо. Магниты направляют пучки в область взаимодействия, при этом диаметр пучков сокращается до нескольких микрометров (5). Пучки сталкиваются внутри детектора частиц Mark II (6). Одновременно следующий сзади электрон-

ный сгусток направляется на мишень, чтобы породить позитронные ливни (7), которые возвращаются к началу линейного ускорителя (8), демпфируются в кольцах и ускоряются с новой группой электронов (9). Первая Z⁰-частица зарегистрированная на SLC (вставка справа), сразу же распалась на кварк и антикварк [две адронные струи, ударившие в замыкающие крышки (белые диски)].

электрон-позитронного коллайдера (Large Electron-Positron Collider, LEP) - обычного накопительного кольца с длиной окружности 27 км. Тем временем физики в Стэнфордском ускорительном центре решили модифицировать линейный ускоритель - самый большой в мире (длина - 3,2 км) - в линейный коллайдер, который производил бы частицы Z^0 . Достраивая уже существующий ускоритель, вместо того чтобы соорудить новый, станфордская группа надеялась первой в мире получить Z^0 -фабрику, причем при сравнительно низких финансовых затратах.

До сих пор в мире не существовало линейных коллайдеров, и желание построить такую установку было весьма сильным. Эта заманчивая перспектива была связана с немалым риском. Мы предприняли рискованное путешествие в неведомое, где нас могли ожидать сюрпризы и разочарования,

но в конце концов риск оправдался. Более двухсот Z^0 -частиц уже зарегистрировано на ускорителе SLC, а последующие продолжают выявляться регулярно.

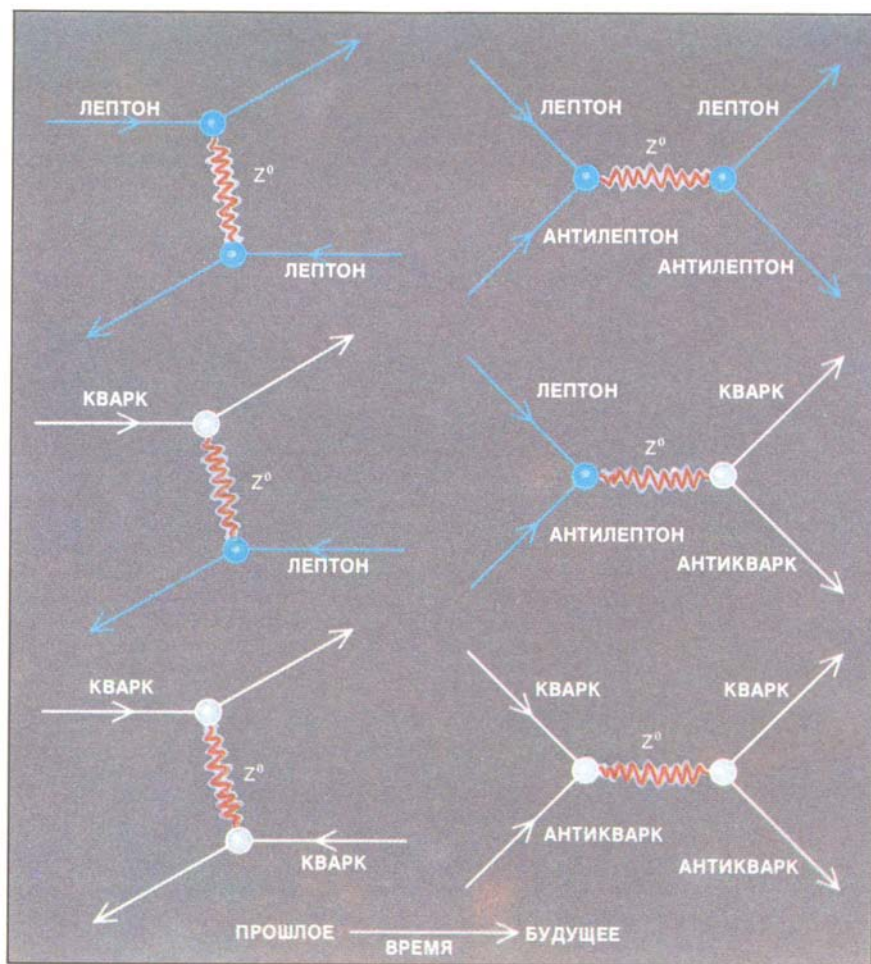
ЧТО ПРЕДСТАВЛЯЕТ собой Z^0 -частица и почему она имеет такое важное значение? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо иметь представление о современной теории строения вещества и фундаментальных взаимодействий. Все вещество Вселенной состоит из небольшого числа «строительных блоков». Так полагают физики или по крайней мере большинство из них. Вещество можно делить до уровня строительных блоков, но дальше процесс деления прекращается. Элементарную частицу нельзя делить дальше. (Именно поэтому она элементарна.) Элементарные частицы бывают только двух типов: кварки и лептоны. Кварки

«склеиваются» по три и образуют нейтроны и протоны. Нейтроны и протоны (известные как адроны) «склеиваются» в группы и образуют атомные ядра. К ядру присоединяется облако электронов (которые являются лептонами) и в результате получается атом. Процесс продолжается: атомы соединяются, образуя молекулы, а молекулы образуют газы, жидкости и твердые тела.

Примечательно, что существует небольшое число элементарных частиц: только шесть кварков и шесть лептонов. (В действительности в современных теории включают и другие частицы, бозоны Хиггса, однако взаимодействия элементарных частиц можно объяснить и без них.) Кварки и лептоны группируются в три поколения, из двух кварков и двух лептонов каждое. Это дает 12 элементарных строительных блоков (не считая бозонов Хиггса) или 24, если учитывать соответствующие античастицы. Но что заставляет эти блоки взаимодействовать? (От кирпичей может быть мало пользы, если нет цементирующего раствора.) Удовлетворительно ответить на этот вопрос так же трудно, как и определить полный набор элементарных частиц. Начиная с XIX в., притяжение и отталкивание частиц описывалось с помощью сил, которыми частицы действуют друг на друга. Полная теория должна включать не только описание элементарных частиц, но и механизм их взаимодействий.

В специальной теории относительности постулируется, что физическое воздействие не может распространяться быстрее скорости света. Поэтому физики создали квантовую теорию поля, в которой силы между двумя частицами возникают при обмене «посредником», который «переносит силу» с конечной скоростью: одна из частиц испускает посредника, другая поглощает его. Посредник распространяется в пространстве и в течение некоторого короткого промежутка времени он существует сам по себе. Такие переносчики имеют все свойства элементарных частиц: массу, электрический заряд, спин, и поэтому физики называют их тоже частицами, несмотря на то что их роль значительно отличается от роли строительных блоков. Переносчики - это «РАСТВОР», который связывает строительные блоки друг с другом.

Таким образом, полная теория должна включать описание всех элементарных частиц и их взаимодействий через посредников. Такая теория должна объяснить, по крайней мере в принципе, происхождение и поведение вещества. Эти законы могут быть



ШЕСТЬ СЛАБЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ и Z^0 -переносчик изображены на фермиановских диаграммах. По одной оси отложено расстояние, по другой - время. Согласно теории, если возможны процессы из левой колонки, возможны и процессы из правой. В столкновениях между лептонами и антилептонами (два верхних процесса в правой колонке) могут образовываться или лептон и антилептон, или кварк и антикварк. Ускоритель SLC специально спроектирован так, чтобы была возможность изучать оба вида взаимодействий.

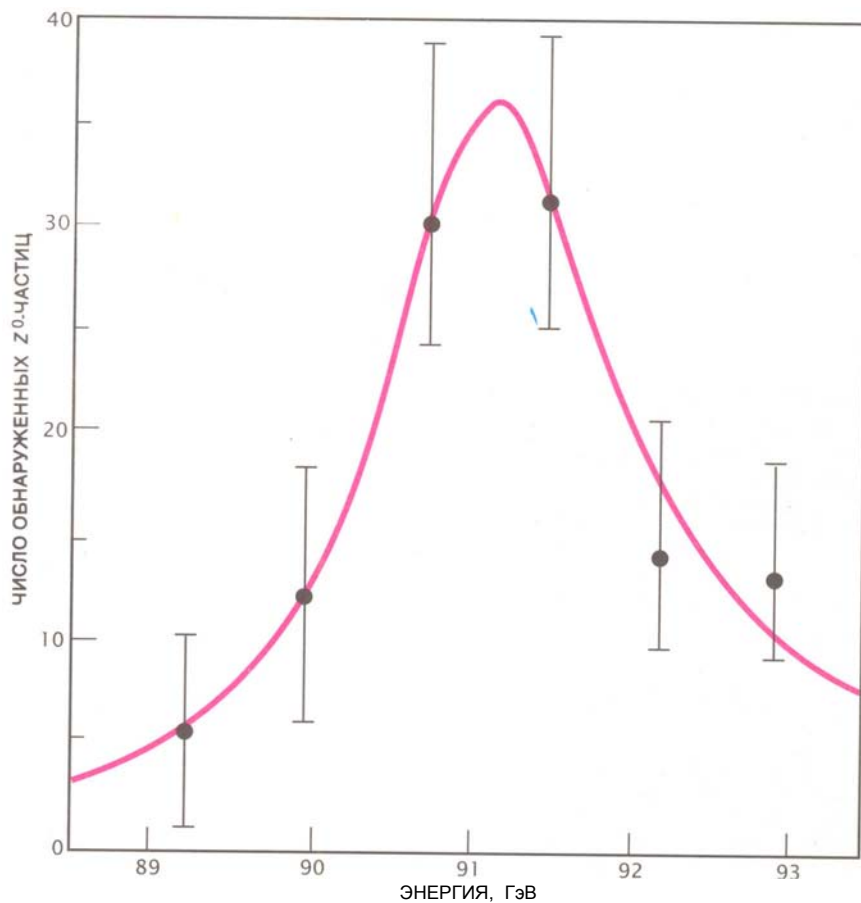
точно известны, однако во многих конкретных ситуациях математически задача может быть неразрешимой или же не могут быть проведены все вычисления, необходимые для понимания поведения данной системы. (Это может показаться странным, но случаи, когда законы известны, а вычислительные возможности не позволяют решить практическую задачу, в физике весьма часты. Например, термодинамические законы, управляющие процессами в атмосфере Земли, известны, однако вычислительные мощности, достаточные для точного предсказания погоды, отсутствуют.)

Физики полагают, что создание полной теории (Теории Всего Сущего) уже не за горами. Современная теория очень хорошо объясняет силы, действующие между ядрами, атомами и молекулами. Эта теория так успешно применяется и настолько широко распространена, что ее называют просто «стандартной моделью». Единственной силой, не включенной в эту модель, оказалась гравитация, и теоретики упорно трудятся над тем, чтобы наверстать это упущение. Между тем задача физиков-экспериментаторов - проверить существующую теорию. Наряду с другими исследованиями они должны измерять свойства всех элементарных частиц и переносчиков их взаимодействий. Вкладом станфордской группы будет измерение свойств Z^0 -частицы.

СЕЙЧАС известно, что существуют три вида переносчиков фундаментальных взаимодействий: фотоны, глюоны и переносчики слабых взаимодействий. Они соответствуют трем из четырех сил природы. Фотоны переносят электромагнитные взаимодействия, глюоны - сильные ядерные взаимодействия; переносчики слабых взаимодействий переносят слабые ядерные силы, которые вызывают радиоактивный распад. Можно предположить существование переносчика четвертого типа - гравитона, ответственного за силы гравитации, но он еще никогда не наблюдался.

В течение нескольких лет фотоны и глюоны были предметом экспериментальных исследований, и сейчас о них многое известно, тогда как переносчики слабых сил пока что попали в область terra incognita. Их существование было доказано только в 1983 г., в ЦЕРНе. Обнаружены три переносчика слабых сил: W^+ , W^- и Z^0 . Ни один из них не был изучен достаточно детально, так как ускорители, предшествовавшие SLC, были для этого малоприспособны.

Чтобы понять, почему так произо-



Z^0 -РЕЗОНАНС обнаруженный на ускорителе SLC, указывает, что масса этих частиц составляет 91,2 ГэВ. Кривая предоставлена Дж. Дорфаном из группы детектора Mark II в Станфордском ускорительном центре (SLAC).

шло, необходимо прежде всего знать, как рождаются эти частицы-переносчики. Если элементарная частица и ее античастица - например, электрон и позитрон - близко подходят друг к другу (по сути, сталкиваются), то одна из них может испустить Z^0 , а другая поглотить Z^0 . В стандартной модели Предсказывается, что при этом может происходить и другой процесс: Если частицы обладают достаточной энергией, одна из них, например электрон, может испустить Z^0 , а затем позитрон может поглотить электрон: частицы аннигилируют, оставляя Z^0 на некоторое время свободным. Впоследствии Z^0 должен снова распасться на пару элементарных частиц, таких как электрон и позитрон или кварк и антикварк.

Коллайдер LEP в ЦЕРНе и установка Tevatron Национальной лаборатории им. Ферми в Батавии (шт. Иллинойс) производят частицы Z^0 при столкновении протонов и антипротонов, каждый из которых состоит из трех кварков. Таким образом, протон-антипротонное столкновение эквивалентно нескольким одновременным столкновениям кварков

и антикварков. Любая Z^0 -частица, рожденная в таком процессе, с большой вероятностью должна распадаться на адроны. Однако другие типы взаимодействий между кварками также дают поток адронов. В результате на таких установках не только получают Z^0 -частицы, но и происходят многие другие реакции, которые имитируют моды распада Z^0 , что маскирует присутствие чистых Z^0 -событий. Следовательно, из всех Z^0 -частиц, полученных в ЦЕРНе и Лаборатории им. Ферми, может быть идентифицирована только крошечная их доля - та, которая распадается на лептоны.

На ускорителе SLC, напротив, сталкиваются две элементарные частицы: электрон и позитрон. Он специально предназначен для производства большого числа Z^0 при незначительном числе посторонних событий, так что практически каждая рожденная Z^0 -частица может быть обнаружена во всех модах ее распада. Исследование большого числа Z^0 -частиц необходимо для точного измерения массы, времени жизни и других свойств. Благодаря установкам, по-

добным SLC и LEP, Z^0 будет первым переносчиком слабых взаимодействий, свойства которого всесторонне изучены.

одна из первостепенных задач станфордской экспериментальной программы состоит в точном измерении массы Z^0 . Эти переносчики слабых взаимодействий являются одним из важнейших компонентов стандартной модели, и их масса относит-

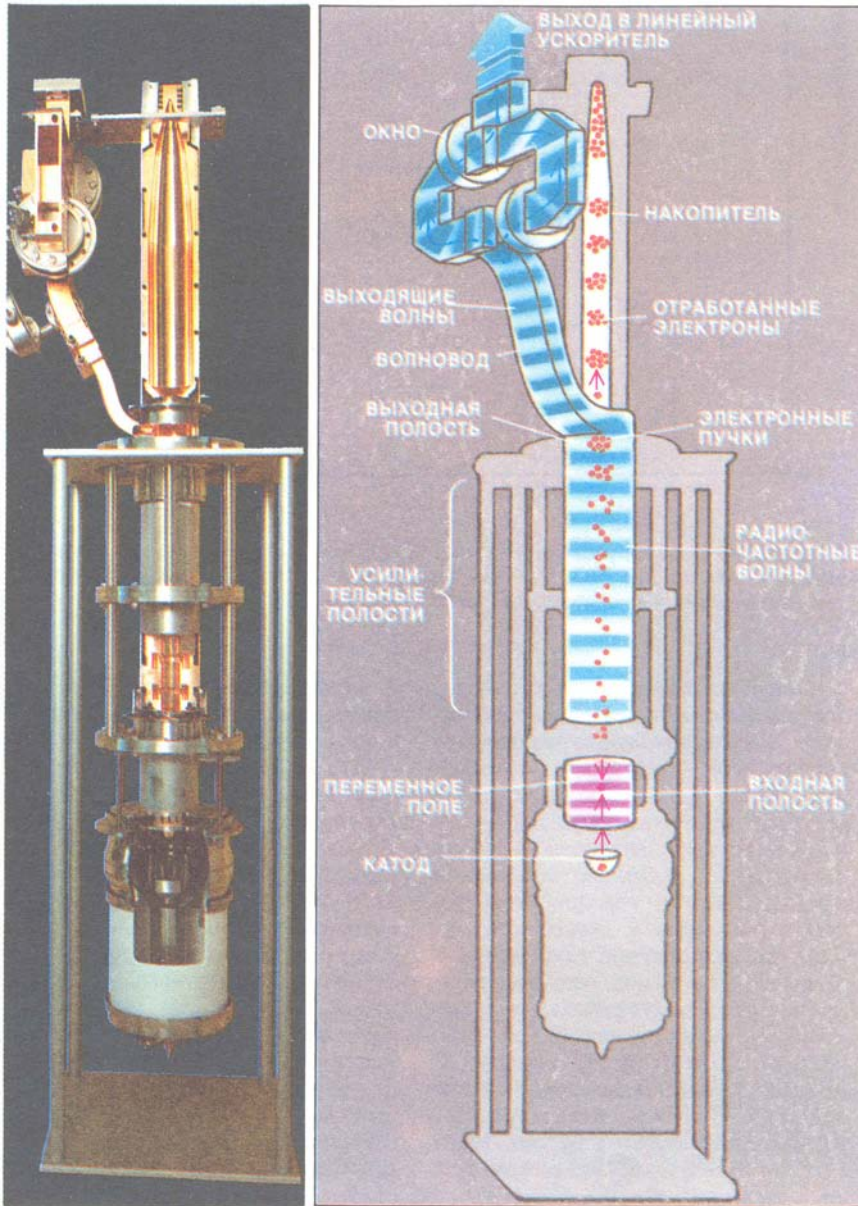
ся к фундаментальной константе; другим словом, она не может быть вычислена теоретически на основе этой модели, ее надо измерять непосредственно. Как определяется масса Z^0 -частицы? Оказывается, процесс рождения переносчика «резонансный»: чем ближе полная энергия двух сталкивающихся частиц к массе покоя Z^0 -частицы, тем больше вероятность ее рождения. Экспериментаторы сталкивают частицы при различ-

ных энергиях вблизи ожидаемой массы покоя Z^0 -частицы наносят на диаграмму число наблюдаемых Z^0 . Результирующая диаграмма выглядит как «горб» с пиком, находящимся при 91,2 ГэВ; это реальная масса покоя Z^0 -частицы, измеренная на ускорителе SLC (см. рисунок на с. 29).

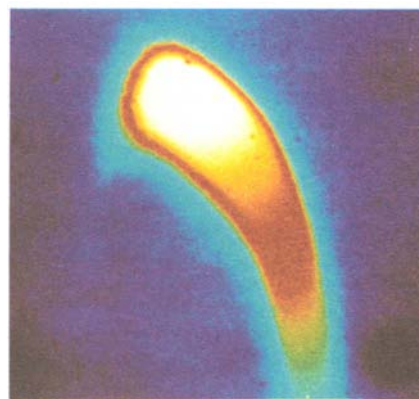
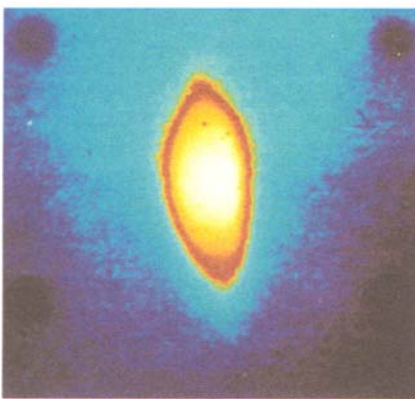
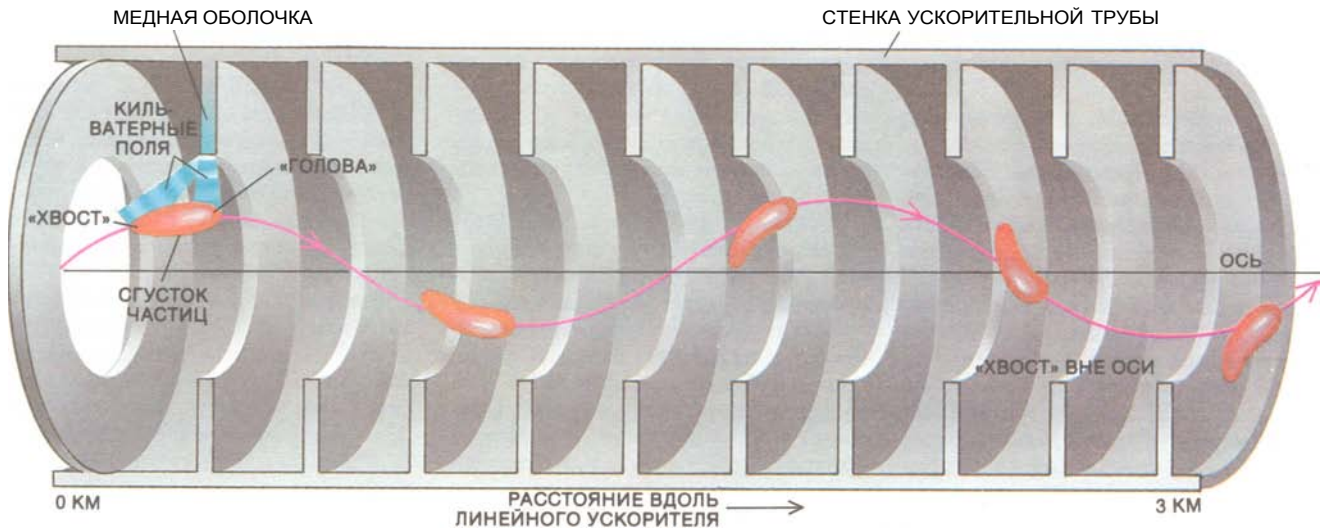
Форма Z^0 -резонанса важна по другой причине: ширина «горба» определяет, сколько существует различных семейств элементарных частиц. Почему это так? Как я уже объяснял, в результате электрон-позитронной аннигиляции остается «голая» Z^0 -частица, которая после очень короткого времени жизни (около 10^{-25} с) распадается. Если представить Z^0 как ведро, наполненное водой, то чем больше дырок пробито в этом ведре, тем быстрее оно станет пустым. Аналогично, чем больше существует возможностей для распада Z^0 -частицы, тем быстрее она распадается. Таким образом, измеряя время жизни Z^0 , можно определить, сколько существует семейств элементарных частиц. Теперь я снова вернусь к ширине резонансной кривой: как она связана с временем жизни Z^0 ? Здесь необходимо обратиться к квантовомеханическому принципу неопределенности, согласно которому ширина резонанса - неопределенность энергии Z^0 - взаимосвязана с временем жизни этой распадающейся частицы.

Что подразумевается под шириной резонансной кривой в стандартной модели? Модель включает шесть кварков и шесть лептонов. Однако Z^0 не может распадаться на две любые пары частицы. Суммарная масса рождающихся частиц не может быть больше массы Z^0 ; в противном случае процесс нарушал бы закон сохранения энергии. Сейчас уже известно, что 11 из 12 элементарных частиц имеют достаточно малые массы, и, следовательно, могут рождаться парами при распаде Z^0 . На основании этого предположения теория предсказывает, что ширина резонансной кривой для Z^0 должна быть 2,5 ГэВ. Если бы она была больше, это означало, что существует четвертое поколение кварков и лептонов в дополнение к тем трем, которые включает стандартная модель. Некоторые физики полагают, что с помощью нейтрино из четвертого поколения можно было бы объяснить существование «скрытой» массы Вселенной (см. статью: Д. Шрамм, Г. Стейгман. Проверка космологических теорий на ускорителях элементарных частиц, «В мире науки», 1988, № 8). Когда данная статья готовилась к печати, этот вопрос все еще оставался открытым.

Таким образом, SLC открывает



67-МЕГАВАТТНЫЙ КЛИСТРОН, наиболее мощный в мире, генерирует мощности для ускорения частиц в SLC. Электроны испускаются из катода, фокусируются и «впрыскиваются» во входную полость. Переменное электрическое поле на стенках полости ускоряет некоторые электроны, а другие - замедляет. Быстрые электроны «подхватывают» медленные и образуют плотные сгустки как раз тогда, когда попадают в выходную полость. Волны плотных электронных сгустков порождают радиочастотные волны, которые направляются в волновод. И использованные электроны выводятся в накопитель. Радиочастотные волны расщепляются на два канала и проходят через алюминиево-керамические окна в волновод, который направляет их в линейный ускоритель.



ЭФФЕКТ КИЛЬВАТЕРНОГО ПОЛЯ обусловлен тем, что электронные сгустки индуцируют электростатическое поле на стенках ускорительной трубы, которое в свою очередь может возбудить электроны в «хвосте» сгустка (вверху). Если сгусток движется точно вдоль центральной оси, эффект кильватерного поля исчезает из-за симметрии, но если движение электронов происходит не по центру, то этот эффект будет «отбрасывать» «хвост» в сторону. На телевизионных экранах показаны поперечные сечения хорошо сфокусированного пучка (внизу слева) и пучка, искаженного эффектом (внизу справа). Центр пучка кажется белым, края - цветными. Диаметр пучка около 250 мкм.

большие экспериментальные возможности, позволяющие изучить все пути распада Z^0 . Это невозможно сделать на протон-антипротонных коллайдерах из-за большого фона. SLC позволит также провести первую полную «инвентаризацию» частиц, имеющих массу меньше половины массы Z^0 . Наконец, SLC будет служить прекрасной лабораторией для изучения многочисленных продуктов Z^0 -распада. Экспериментальная программа по разработке всех этих направлений рассчитана на несколько лет работы SLC.

ИССЛЕДОВАНИЯ, которые будут проводиться на ускорителе SLC, несомненно важны, как важны и исследования европейских физиков на коллайдере LEP. Однако, говоря о SLC, следует еще добавить, что этот первый в мире линейный коллайдер представляет собой своего рода триумф в физике ускорителей, на которых могут создаваться экстраординарные условия для рождения экзотических частиц.

Простейший линейный коллайдер включает два линейных ускорителя,

пучки частиц которых нацелены одна на другую - подобно нацеливанию двух ружей, стреляющих на большом расстоянии так, чтобы пули попали одна в другую. По многим причинам построить линейный коллайдер значительно сложнее, чем коллайдер из обычных накопительных колец той же мощности. В накопительных кольцах частицы многократно проходят окружность и имеют около 10 000 шансов в секунду для столкновения с частицами, движущимися в противоположном направлении. Частицы в линейном коллайдере, напротив, имеют только один шанс за время «выстрела» установки. SLC может сделать до 100 таких выстрелов в секунду. Чтобы возместить низкую частоту столкновения пучков, они должны быть в 100 раз более плотными, чем на циклическом ускорителе. Для этого мы собираем около 50 млрд. частиц в каждый пучок и фокусируем их до диаметра в несколько микрометров. Я расскажу об этом подробнее чуть позже.

На SLC эта трудность усложнялась еще тем, что новый проект должен быть осуществлен на старой установ-

ке 20-летней давности. Первоначальный линейный ускоритель был спроектирован со значительно менее строгими требованиями, чем те, которые необходимы для работы линейного коллайдера. Используя возможности этого линейного ускорителя, мы могли начинать лишь с того, чтобы ускорять как электроны, так и позитроны в одном направлении, а уже затем, используя хитроумные маневры, приводить пучки в столкновение. Пучки расщеплялись дипольным магнитом, помещенным на выходном конце линейного ускорителя: электроны поворачивали налево, а позитроны - направо. Разделенные пучки направлялись по двум большим дугам, снова сходящимся на концах, подобно гигантским клещам.

Получить пучки электронов сравнительно просто: на большой катод подается короткий импульс, при этом поток электронов вылетает из катода и влетает во входной конец линейного ускорителя, где под действием электромагнитных полей электроны быстро собираются в небольшие интенсивные сгустки. Труднее получить пучки позитронов: мишень обстрели-

вается высокоэнергичными электронами, и из ливней рождающихся частиц путем отсеивания выделяются позитроны.

Хотя электронные и позитронные сгустки имеют достаточное число частиц, они еще очень рыхлы. Если бы мы их начали сталкивать, они не дали бы достаточного числа взаимодействий. Это можно сравнить с тем, как если бы вместо пуль мы стали стрелять дробью и при этом дробь рассеивалась по большей площади. Чтобы сгустки стали достаточно плотными, необходимо сократить их поперечные размеры, тогда частицы придвинутся ближе друг к другу. Такой процесс «сгущения» производится внутри двух небольших накопительных колец («демпфирующих» колец). Сгустки частиц ускоряются примерно до 1 ГэВ и затем «впрыскиваются» в эти кольца, где ширина сгустков существенно сокращается. Этот процесс аналогичен охлаждению газа: по мере того как частицы испускают синхротронное излучение, расстояние между ними сокращается.

Сгустки электронов и позитронов находятся в демпфирующих кольцах какие-то доли секунды. Затем - все еще с энергиями в 1 ГэВ - они «впрыскиваются» обратно в линейный ускоритель, где ускоряются до больших энергий и в то же время сокращаются в длине под действием мощных радиочастотных волн: каждый пучок собирается на гребне волны. Достигнув выходного конца ускорителя, сгустки, имеющие к этому моменту энергию около 50 ГэВ, отклоняются в

две большие дуги и приводятся в столкновение. На последнем этапе - перед самым столкновением в так называемой точке взаимодействия - каждый сгусток проходит через систему магнитных линз, сокращаясь до минимально возможного поперечного размера.

Я описал один цикл работы SLC. На самом деле ускоритель повторяет этот цикл много раз в секунду. Чтобы добиться от одного ускорителя выполнения множества задач, мы прибегли к изощренной методике. В каждом цикле катод «включается» два раза подряд, рождая таким образом два сгустка электронов. После того как эти два сгустка попадают в линейный ускоритель, к ним присоединяется сгусток позитронов (читатель вскоре узнает, откуда появляются позитроны), и три пучка частиц, разделенные расстоянием около 20 м, на доли секунды входят в демпфирующие кольца. Затем они выводятся оттуда и один за другим с позитронами в главе подаются в линейный ускоритель. Примерно после двух третей пути короткоимпульсный магнит удаляет замыкающий электронный сгусток из ускорителя. Этим сгустком обстреливается мишень, и рождаются позитроны. Другой электронный сгусток движется вместе с позитронным, и эти сгустки в конце концов сталкиваются. В то же время рожденные позитроны возвращаются к началу и впрыскиваются в ускоритель как раз тогда, когда два новых электронных сгустка начинают свое путешествие. На этом установка завершает

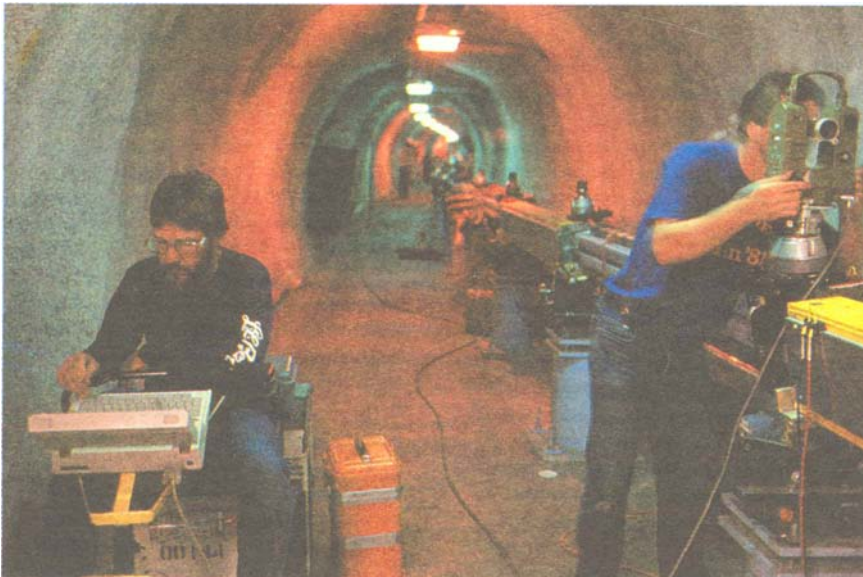
полный цикл. Такой цикл повторяется 60 или 120 раз в секунду.

КОНСТРУКТОРЫ SLC столкнулись с многими новыми для физики ускорителей проблемами. Ускорение до высоких энергий и в то же время стабильное управление плотным пучком частиц предъявляли совершенно новые требования к характеристикам установки.

Во-первых, максимальную энергию ускорителя надо было поднять от 30 до 50 ГэВ; для этого необходимы более сильные ускоряющие электрические поля, чем Достигавшиеся когда-либо ранее на линейном ускорителе. С длиной (~ 3,2 км) вакуумной трубой, в которой ускоряется пучок, особых проблем не было. Трудность была с клистроном, трубами высотой около 2 м, генерирующими радиочастотные мощности для управления полем. Даже до сооружения SLC станфордские клистроны обеспечивали пиковую мощность 35 МВт, что превышало мощность любого изготовленного в серийном производстве клистрона, но и этой мощности было недостаточно. Физикам из SLAC пришлось сконструировать новый клистрон, который мог бы генерировать мощность 67 МВт.

Делать клистроны исключительно сложно, и при их изготовлении было много неудач. Нам нужны были сотни клистронов, а сначала только 30070 из них были действительно работающими. Другая серьезная проблема состояла в том, чтобы алюминиево-керамические окна, через которые генерированные мощности испускаются из клистронного волновода в ускоритель, не разбивались при взрывном высвобождении энергии. Первые попытки улучшить клистроны оказались неудачными, и многие наблюдатели опасались, что SLC никогда не достигнет энергий, достаточных для рождения Z^0 -частиц.

Одну за другой мы преодолевали эти трудности. Проблема с окнами была разрешена разделением мощности на два канала и высвобождением ее через два отдельных окна: на каждое окно приходилось теперь только по 30 МВт вместо 60 МВт. Энергичные усилия по поддержанию высокого качества материалов и мастерство специалистов позволили станфордской группе поднять долю пригодных для работы клистронов до 85070. К времени первых испытаний SLC был оборудован достаточным числом новых клистронов, чтобы достичь энергий, необходимых для рождения Z^0 -частиц. Оказалось, что новые клистроны очень удобны в эксплуатации, и к началу этого года их было построено около 500.

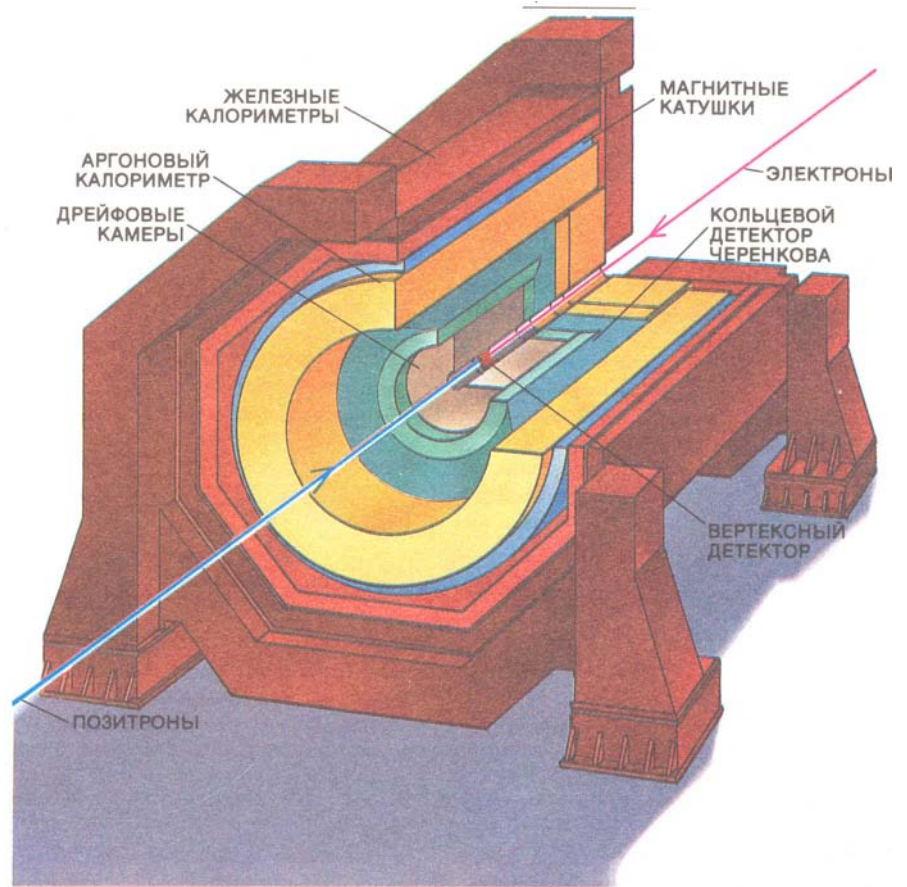


МАГНИТЫ в дугах ускорителя SLC центрированы с точностью до 100 мкм, чтобы обеспечить точное управление пучками при их столкновении. Инженер измеряет положение магнита соответствующим инструментом, в то время как его коллега записывает данные на компьютер.

Второй большой проблемой было получение электронных и позитронных пучков необычно высокой плотности. Диаметр пучков в точке взаимодействия составляет всего несколько микрометров, и плотность частиц почти так же велика, как плотность молекул в газе при комнатных температуре и давлении. Такая плотность может показаться обычной, и она действительно обычна для молекулярного газа, но для электронов и позитронов это чрезвычайно высокая плотность. Пучки заряженных частиц обычно в тысячу раз менее плотные, поскольку они рождаются в «горячем» состоянии: электроны «выпариваются» из катода, а позитроны образуются при высокоэнергичном взаимодействии. Поэтому заряженные частицы совершают хаотические поперечные колебания вокруг направления намеченного пути.

Чтобы сжать эти разупорядоченные пучки, конструкторы SLC предложили устройство нового типа - демпфирующие кольца, о которых я говорил выше. При излучении энергии в этих кольцах поперечные колебания частиц гасятся, или демпфируются. Изобретение этих колец явилось еще одной технической хитростью. Особые трудности возникли при конструировании «магнитов-толкателей», которые резким магнитным импульсом должны выводить частицы из демпфирующих колец. Для достижения скорости работы ускорителя 120 циклов в секунду необходимо, чтобы в каждый момент времени в демпфирующих кольцах находились два сгустка частиц. Каждый проходит полный цикл за 800 нс ($800 \cdot 10^{-9}$ с), поэтому проблема состояла в том, чтобы импульсы магнитного поля были бы достаточно «резкими» и выталкивали из колец только один сгусток частиц, не задевая другого. Магнитный импульс должен включаться и выключаться в течение 50 нс - время, за которое свет проходит путь в 1,5 м. Конструкторы продолжают работу над магнитами-толкателями. Тем временем ускоритель SLC работает со скоростью 60 циклов в секунду.

Третья проблема заключалась в том, чтобы сохранить малые поперечные размеры пучков (сгустков) при их движении в линейной части ускорителя и в дугах. В линейном ускорителе пучки имеют тенденцию к разрыву. Частицы на фронте пучка индуцируют на стенках ускорительной трубы электромагнитные поля, называемые кильватерными полями, и эти поля «бьют» по заднему концу пучка, размывая его в боковом направлении. Влияние кильватерных полей становится особенно разрушительным,



СТАНФОРДСКИЙ БОЛЬШОЙ ДЕТЕКТОР, показанный в разрезе, будет установлен на SLC в 1990 г. 4000-тонный детектор будет окружать место столкновения пучков со всех сторон, что позволит характеризовать каждый трек частицы. Вертексный детектор позволит определять с высокой точностью начальную точку каждого трека. Другие детекторы располагаются вокруг точки взаимодействия, подобно concentрическим кольцам.

когда пучки движутся не точно вдоль центральной оси ускорительной трубы. Поскольку труба геометрически несовершенна, единственный осуществимый на практике способ контроля над эффектом кильватерного поля состоит в том, чтобы методом проб и ошибок «вести» пучок по такому пути, где этот эффект минимален. Задача осложнялась тем, что для экономии средств на прокладку туннелей через станфордские холмы, дуги были проложены по их поверхности.

Наконец, все компоненты ускорителя SLC должны работать с чрезвычайно высокой стабильностью и точностью. С помощью компьютеров контролируются тысячи магнитов и источников энергии, иногда с точностью до 0,0001. Поддерживать такую высокую стабильность работы для всех систем установки было очень трудной задачей. Если бы необходимые стандарты не были соблюдены, столкновения пучков не произошло. В конце концов, после всех усилий пучки в точке столкновения были не толще паутинки. Их надо было хорошо нацелить.

РАЗЛИЧНЫЕ системы коллайдера были установлены весной 1987 г. В первом испытании проявились трудности в процессе формирования тонких пучков и приведения их к месту столкновения, но это не было неожиданностью, поскольку никогда раньше не предпринимались попытки столь точной навигации частиц. Другое усложнение в работе SLC явилось сюрпризом. Система компьютерного контроля оказалась гораздо менее «попунктной», чем можно было ожидать. Кроме того, несколько периодов ужасной жары летом 1988 г. привели к перегреву аппаратуры, в результате чего мы простаивали недели.

Попытки наладить работу нового коллайдера продолжались около двух лет усилиями всего тысячного коллектива Станфордского ускорительного центра. Наконец, вскоре после восхода солнца 11 апреля этого года массивный детектор Mark II обнаружил первую Z^0 -частицу. Переносчик проявил себя распадом на кварк-антикварк, которые практически тут же трансформировались в два ливня

адронов. Это событие означало, что, как и предполагали физики при первом наблюдении Z^0 -частицы, она должна вероятнее всего распасться в адроны.

Когда на SLC начали получать первые Z^0 -частицы, коллайдер LEP, в котором было предусмотрено несколько новых технических решений, был близок к завершению. Различные технологии, использованные при сооружении SLC и LEP, предполагают, что в будущем эти две установки будут иметь разные возможности. LEP может быть доведен до более высоких интенсивностей и энергий, что позволит физикам вести поиск таких частиц, как бозоны Хиггса. Ускоритель SLC может производить пучки, в ко-

торых все частицы имеют одинаковый спин, и это даст возможность экспериментаторам получать более полезную информацию. Однако хотя SLC был завершён раньше, установка в ЦЕРНе при длительной работе, по-видимому, будет более «обильным» источником Z^0 -частиц. Основное же назначение SLC состоит в том, что на нем испытывается новая технология, которая, как полагают многие физики, будет важна, если эксперименты в области физики элементарных частиц продвинулись до более высоких энергий, чем достижимые на самых больших и дорогостоящих современных электрон-позитронных накопительных кольцах.

надеялись, что они станут составной частью станции на первом этапе. Официальные представители НАСА заявили, что их схема была ошибочной и что на самом деле они не имели в виду уменьшение числа модулей. Однако для того, чтобы сократить число полетов шаттла при сборке станции, возможно, придется уменьшить размеры модулей. Как пояснил один из представителей НАСА, предпочтительнее создать для первой группы космонавтов на борту станции меньше удобств, чем откладывать их отправку, поскольку позднее станцию можно будет «нарастить». «По сути это та же программа, - заявил он, - но на ее реализацию уйдет больше времени».

Помимо сокращения финансирования (даже если оно и оправдано) в настоящее время пересматривается сама конструкция орбитальной станции с учетом тех целей, которые изложил президент Буш, говоря о полетах к Марсу. Проблема, уже не раз встававшая, заключается в том, что станция, предназначенная для облегчения создания баз на Луне и Марсе, которые должны быть оснащены механическими бурильными установками, площадками для сборки космических кораблей, оборудованием для хранения запасов топлива и т. д., - это уже совсем не та станция, которая предназначается для проведения исследований, связанных с изучением свойств и созданием новых материалов. Исследования, связанные с поиском следов жизни, наверняка не обойдутся без того, чтобы не создавать вибрацию (от тех же механических шагающих бурильных установок, например), совершенно недопустимую при работах по созданию новых материалов.

Ф. Мартин, руководитель отдела НАСА, ответственного за планирование и проведение космических исследований, выражает полное несогласие с теми, кто подвергает критике техническую сторону проекта. Он, в частности, утверждает, что при тщательном планировании всех этапов проекта можно избежать наиболее серьезных ошибок. По его мнению, единственным препятствием на пути к достижению поставленной цели является нехватка финансовых средств. Мартин указывает, что в период осуществления программы «Аполлон» максимальный бюджет НАСА составлял 4-5% государственного бюджета, а в настоящее время - 1%. По его оценкам, для того чтобы послать космонавтов к Марсу, НАСА потребуются средства в размере не менее 2-3% государственного бюджета. Как заявил Мартин: «Хорошие времена не наступают никогда, но мы не бедное государство. Для нас это выполнимая задача».

Наука и общество

Извилиста дорога к Марсу

ПРЕДСТАВИТЕЛИ НАСА хотели бы заручиться поддержкой президента Буша по поводу проекта, предусматривающего полет человека к Марсу. Для осуществления этой долгосрочной программы потребуются запуск орбитальной станции и создание постоянно действующей базы на Луне в качестве промежуточных этапов. "Все дороги начинаются с орбитальной станции «Фридом»" - говорится в опубликованном в печати официальном заявлении НАСА. Однако призыв к завоеванию нового рубежа в космических исследованиях не затронул умы тех, кто заседает на Капитолийском холме. В тот же день, когда президент Буш подтвердил, что полет к Марсу является одной из задач космической программы, палата представителей проголосовала за 2001%-ное сокращение расходов на создание орбитальной станции «Фридом» - с 2,05 млрд. до 1,65 млрд. долл., причем, возможно, что эта сумма будет еще урезана.

Официальные представители НАСА надеются, что сенат может частично уменьшить это сокращение, но с~ами не используют имеющиеся у них возможности. Первоначальный план вывода в космос орбитальной станции (первый этап проекта) предусматривал запуск восьми космонавтов. Теперь же рассматриваются варианты неофициально пониженных в ранге так называемых «нулевых этапов», один из которых предусматривает запуск только четырех космонавтов с постоянным их пребыванием на борту начиная с 1996г. Мощность энергосистемы бортовой станции снижается вдвое и составит 38 кВт. Бортовые маневровые двигатели, предназначенные для удержания станции на за-

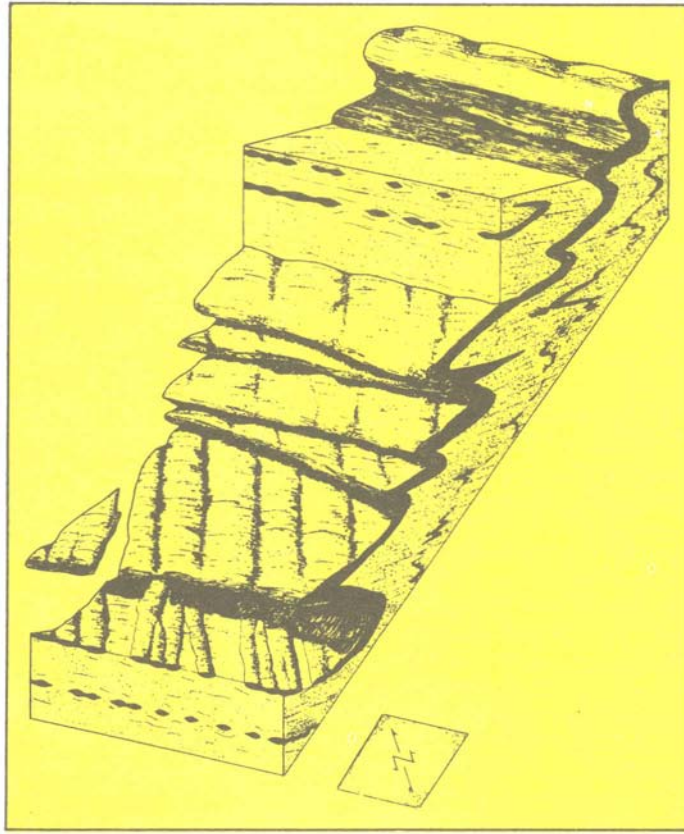
данной орбите, возможно, будут работать на гидрозине (поскольку эта технология хорошо отработана), а не на смеси водорода и кислорода (новая технология, которая более эффективна в условиях длительного полета).

Поскольку пока нет полной ясности в отношении того, как будет эксплуатироваться такая орбитальная станция, НАСА должно учитывать сокращения по финансированию проекта, поскольку это значительно уменьшит объем исследований, которые могут быть выполнены с помощью орбитальной лаборатории. Урезанные планы не обещают ничего хорошего для дальнейшего освоения космического пространства с участием космонавтов. И орбитальная станция, и постоянно действующая база на Луне (которая, по мнению официальных представителей НАСА, должна быть сооружена к 2001 г.) рассматриваются как весьма важные испытательные~полигоны для систем длительного жизнеобеспечения, а также для изучения влияния на организм человека продолжительного пребывания в космосе. Кроме того, орбитальная станция могла бы служить в качестве базы для шаттлов, которые доставляли бы грузы на Луну и обратно и в конечном итоге на Марс.

Переход НАСА к обороне подорвал положение иностранных партнеров проекта по созданию орбитальной станции: Канады, Европейского космического агентства (ESA) и Японии. Во время состоявшегося в августе брифинга, где рассматривался вопрос о «нулевом этапе», была представлена схема, в которой в первоначальной конфигурации вместо четырех модулей предусматривалось только два. Европейское космическое агентство и Япония, разрабатывая свои модули,

СТРУКТУРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ТЕКТОНИКА ПЛИТ

Под ред. К. Сейферта
В 3-х томах



Книга, написанная известными геологами США, Великобритании, Канады и Австралии, дает весьма полное и современное представление о достижениях, проблемах и методах исследований в структурной геологии и о разнообразных аспектах концепции тектоники плит: тектонических, петрологических, геохимических и др. Материал преподносится в 125 статьях по относительно крупным обобщенным темам. Кроме того, приводятся термины и понятия с указанием, в какой статье они объясняются. Статьи и термины расположены в алфавитном порядке для удобства нахождения нужного материала. Дается также английское написание терминов. В целом книга воспринимается как справочник, позволяющий получить краткую, но полную информацию по любой проблеме указанной области геологии.

В первый том вошло около 40 статей, посвященных дрейфу континентов, конвекции и движению плит, деформации горных пород, геосинклиналям и геоклиналям, геодинамике, графическим методам в структурной геологии и др.

1989, 35 л. Цена 1 тома 7 р. 30 к.

Том I Вы можете приобрести в магазинах научно-технической литературы.
Тома II и III выйдут в свет в 1990 г.



Циркуляция кальция и внутриклеточная передача внешних сигналов

Изменению внутриклеточной концентрации кальция обычно приписывают роль своего рода переключателя, иницирующего или прекращающего различные клеточные процессы. Однако функция ионов кальция в длительных реакциях клетки выходит за рамки этого представления

ГОВАРД РАСМУССЕН

К ЧИСЛУ эпохальных событий эволюции можно отнести появление наружного скелета моллюсков и сотни миллионов лет спустя внутреннего скелета высших животных. И то и другое означало новое использование кальция. Соли кальция в составе раковин, костей и зубов - обычный материал в биологической архитектуре; его распространенность в живой природе свидетельствует о важности кальция для роста и функционирования организмов.

Не столь широко известна более древняя и более всеобъемлющая функция кальция: во множестве животных клеток ион кальция (Ca^{2+}) служит универсальным посредником, передающим внутриклеточным механизмам сигналы, поступившие к клетке извне. Кальций участвует в регуляции таких различных процессов, как мышечное сокращение, секреция гормонов, нейромедиаторов и пищеварительных ферментов, транспорт солей и воды через выстилку кишечника, метаболизм гликогена в печени.

Б то время как кальцификация, в результате которой образуются кости, заключается в упорядоченном отложении большого количества солей, функцию внутриклеточного посредника выполняют потоки очень малых количеств ионов кальция через клеточные мембраны. Ионы кальция могут выполнять свою информационную роль лишь в очень малых и строго контролируемых концентрациях, поскольку более высокие концентрации губительны для клетки.

Б клетке имеются простые и эффективные механизмы для регуляции уровня кальция. Основные среди них те, которые управляют движением ионов кальция через клеточные мембраны - плазматическую мем-

брану (она окружает клетку), внутреннюю митохондриальную мембрану (митохондрии - это органеллы, обеспечивающие клетку энергией) и мембраны внутриклеточных емкостей, предназначенных для хранения запасов кальция (в мышечных клетках совокупность этих емкостей называется саркоплазматическим ретикуломом, а в немускельных клетках они получили название кальцисом). Хотя концентрация кальция внутри клетки поддерживается практически постоянной, величины ионных потоков через плазматическую мембрану внутрь клетки и наружу могут значительно изменяться.

Недавно обнаружено, что такая циркуляция ионов кальция через плазматическую мембрану является одним из звеньев в цепи событий, которыми обеспечиваются длительные реакции клетки на внешние стимулы. Роль кальция в продолжительных реакциях, к числу которых относятся, в частности, секреция инсулина и сокращение гладкомышечных стенок кровеносных сосудов, долгое время оставалась менее понятной, чем его функция в кратковременных клеточных процессах, как, например, в сокращении скелетных мышц. Моим коллегам и мне удалось составить картину того, как циркуляция кальция через плазматическую мембрану клетки обеспечивает ее долговременные реакции. Мы обнаружили сходные механизмы в трех отдельных клеточных системах. Наши открытия привели к более полному и глубокому пониманию роли кальция как внутриклеточного посредника по сравнению даже с теми представлениями, которые существовали всего пять лет назад.

Чувствительность клетки к очень небольшим изменениям концентра-

ции кальция обусловлена тем, что его нормальная внутриклеточная концентрация очень мала. Обычно в окружающей среде кальция в 10 тыс. раз больше, чем во внутриклеточной жидкости - цитозоле. Поддержание такой разности концентраций возможно благодаря двум свойствам плазматической мембраны: низкой проницаемости для кальция и наличием специальных переносчиков наподобие насосов, которые выкачивают кальций из клетки против концентрационного градиента. В состоянии покоя пассивный ток кальция через плазматическую мембрану наружу в цитозоль уравнивается его активным транспортом в обратном направлении под действием «насосов».

Классическая схема

Когда клетка получает какой-либо сигнал извне, в ее плазматической мембране открываются каналы, через которые ионы кальция входят внутрь со скоростью, в 2-4 раза превышающей нормальную. Эти каналы пропускают в цитозоль только кальций, но не другие ионы. Некоторые из кальциевых каналов чувствительны к изменению трансмембранной разности потенциалов под действием нейромедиаторов, другие связаны с рецепторами клеточной поверхности и реагируют на взаимодействие рецептора с гормоном или нейромедиатором.

Б рамках традиционных представлений роль кальция как внутриклеточного посредника описывается довольно просто (см. статью: Карафолли Э., Пеннистон Дж. Кальциевый сигнал, «В мире науки», 1986, № 1). Стимуляция клетки гормоном или нейромедиатором приводит к тому, что в плазм-

матической мембране открываются кальциевые каналы и кальций освобождается из саркоплазматического ретикулума или кальцисом, в результате чего концентрация кальция в цитозоле повышается. С ионами кальция взаимодействуют Ca^{2+} -связывающие белки цитозоля (например, специальный рецептор кальция, называемый кальмодулином); комплексы кальция с этими белками в свою очередь взаимодействуют с другими белками, влияя на их функционирование. Когда концентрация кальция в цитозоле снова уменьшается, комплексы ионов кальция с белками цитозоля распадаются, и система возвращается в исходное состояние.

Согласно этой схеме, в процессе передачи информации от клеточной поверхности внутрь клетки кальций действует как простой переключатель, задающий только два состояния системы: «включено» и «выключено». В ряде кратковременных клеточных реакций, например при секреции нейромедиаторов нервными клетками или в сокращении скелетных и сердечной мышц, кальций действительно играет роль такого переключателя. В этих случаях клеточная реакция инициируется повышением концентрации кальция в цитозоле и прекращается, когда она падает.

Усложнение первого порядка

В то время, когда разрабатывалась изложенная выше модель действия кальция, аналогичная модель была

предложена для другого внутриклеточного посредника - циклического аденозинмонофосфата (сАМФ - от англ. cyclic adenosine monophosphate). Считалось, что синтез сАМФ вблизи клеточной поверхности и его распад в цитозоле служат для включения и выключения клеточных реакций, как и изменения концентрации кальция. Первоначально предполагали, что два переключателя - кальций и сАМФ - действуют независимо друг от друга.

Однако теперь сложилось представление, что кальций и сАМФ обычно совместно регулируют поведение клетки. Например, от сАМФ может зависеть циркуляция кальция через плазматическую мембрану, а от кальция - деятельность ферментов, ответственных за синтез и распад сАМФ. Один и тот же гормон, действующий на рецепторы только одного типа, может вызвать и увеличение потока кальция внутрь клетки, и повышение концентрации сАМФ одновременно.

Кроме того, многие эффекты кальция и сАМФ реализуются при участии общего для этих двух посредников механизма - путем регуляции активности протеинкиназ. Протеинкиназами называются ферменты, которые катализируют фосфорилирование белков, т. е. присоединение фосфатных групп, донором которых служит аденозинтрифосфат, к белковым молекулам. Фосфорилирование изменяет свойства белка, что влияет на его функционирование. Именно эта модификация различных белков лежит в

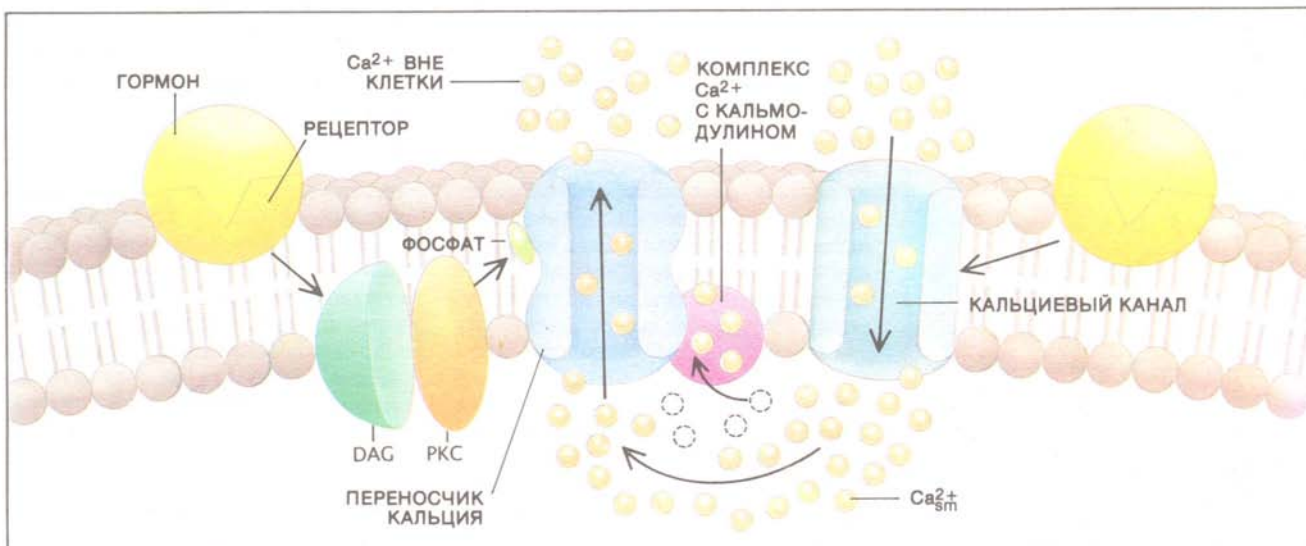
основе изменений клеточного поведения, вызываемых рядом внешних стимулов.

Представления о действии каждого из посредников в отдельности также претерпели изменения. Модель, согласно которой ионы кальция и сАМФ являются простыми переключателями, оказалась применимой не во всех случаях. В частности, с помощью этой схемы нельзя объяснить продолжительные реакции клеток на постоянно присутствующие внеклеточные сигнальные факторы.

Мои коллеги и я сосредоточили внимание на роли кальция в продолжительных клеточных реакциях. Мы исследовали три типа таких реакций: секрецию альдостерона (этот гормон регулирует, в частности, метаболизм калия) клетками клубочковой зоны надпочечников, секрецию инсулина бета-клетками островков Лангерганса поджелудочной железы и сокращение гладкомышечных клеток трахеи и кровеносных сосудов. Несмотря на различия в самих этих реакциях и вызывающих их внешних сигналах обнаружилось, что в клетках всех трех типов ионы кальция выполняют свою информационную функцию сходным образом.

Усложнение второго порядка

Всего несколько лет назад было общепринято, что продолжительные клеточные реакции с участием кальция происходят в результате длитель-



АВТОРЕГУЛЯЦИЯ циркуляции кальция через плазматическую мембрану осуществляется благодаря особенностям молекулярных механизмов, осуществляющих трансмембранный перенос кальция. Поток кальция внутрь клетки через мембранные каналы (*справа*) возрастает при взаимодействии гормона с его рецептором. Увеличение концентрации кальция в примембранной области (Ca^{2+}_{sm}) приво-

дит к активации белка кальмодулина, связывающего кальций, и фермента протеинкиназы С (PKC). Кальмодулин и PKC совместно активируют переносчик кальция (*слева*), в результате чего поток кальция наружу уравнивает его приток в клетку. Связанное с такой циркуляцией кальция увеличение его примембранной концентрации представляет собой кальциевый сигнал (DAG-диацилглицерол).

ного, а не кратковременного повышения уровня кальция в цитозоле. Это положение основывалось не на прямых измерениях концентрации кальция, а лишь на аналогии с сАМР, внутриклеточная концентрация которого при соответствующей стимуляции действительно повышается надолго. Однако, когда измерили концентрацию кальция в цитозоле клеток, испытывающих воздействие внешнего стимула, выяснилось, что хотя она и возрастает, как предполагалось, но лишь на короткое время, а примерно через минуту возвращается к своему первоначальному уровню, даже если клеточная реакция продолжается несколько часов.

Этот парадокс заставил нас пересмотреть традиционную модель дей-

ствия кальция. Мои коллеги И. Кодзима, К. Кодзима, У. Апфельдорф и П. Барретт детально исследовали изменения метаболизма кальция в клетках клубочковой зоны надпочечников, вызываемые гормоном ангиотензином II, который является индуктором секреции альдостерона. Было обнаружено, что ангиотензин вызывает действительно только кратковременное повышение концентрации кальция в цитозоле, однако под его действием вдвое возрастает поток ионов кальция внутрь клетки и этот повышенный уровень держится длительное время.

Это открытие снова приводило к парадоксу. Ведь постоянно увеличенный поток кальция внутрь клетки должен был бы вызвать стойкое повышение его концентрации в цитозоле, но в действительности этого не происходило. Естественно было также ожидать, что длительное увеличение потока кальция приведет к возрастанию его общего содержания в клетке, однако этого мы не обнаружили. Оставалось только предположить, что во время длительной фазы реакции клеток надпочечников на ангиотензин II усиливается циркуляция кальция внутри и наружу клетки через плазматическую мембрану.

Молекулярной основой для этой замечательной способности плазматической мембраны являются свойства мембранных «насосов» - переносчиков ионов кальция. Оказалось, что эти переносчики активируются комплексом кальция с кальмодулином. Когда концентрация кальция в цитозоле повышается, комплекс взаимодействует с переносчиком, увеличивая как интенсивность его работы, так и чувствительность к ионам кальция. Эффективность переносчика еще более возрастает в результате его фосфорилирования ферментом, активируемым ионами кальция и называемым протеинкиназой С. Стимуляция работы кальциевого насоса комплексом кальция с кальмодулином и Ca^{2+} -зависимым фосфорилированием приводит к тому, что выкачивание кальция из клетки уравнивает увеличение его потока внутрь клетки.

Обнаружив усиление циркуляции кальция и выяснив его механизмы, мои коллеги и я приступили к исследованию возможности того, что эта циркуляция играет роль посредника при продолжительных клеточных реакциях. Выяснилось, что если блокировать циркуляцию кальция, клеточная реакция оказывается кратковременной, а не продолжительной. Другими словами, циркуляция кальция необходима для поддержания длительной реакции. Мы пришли к выводу, что такая циркуляция служит по-

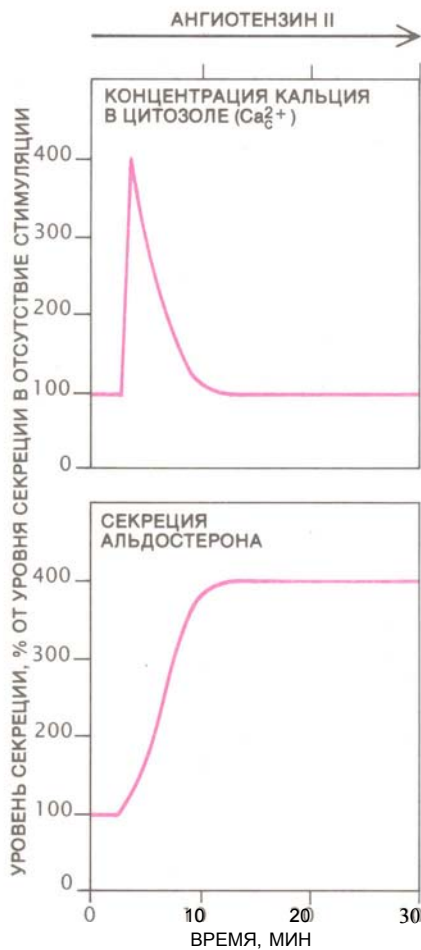
средником, поскольку она приводит к изменению концентрации кальция в ограниченной области клетки - в «примембранной» области, т. е. в самой мембране или в непосредственной близости от нее.

Далее следовало ответить на вопрос, каким образом действует этот посредник. Мы обнаружили, что просто увеличения потока кальция внутрь клетки недостаточно для возникновения продолжительной реакции. Следовательно, усиление циркуляции кальция является лишь необходимым, но не достаточным условием. Видимо, для приема кальциевого сигнала и перевода его в форму, которая может влиять на соответствующие клеточные процессы, нужен еще и ассоциированный с мембраной белок-«передатчик», чувствительный к кальцию. Несколько таких «передатчиков» было обнаружено в клетках надпочечников и других типах клеток, но сейчас нашего внимания заслуживает протеинкиназа С - тот самый фермент, который регулирует работу кальциевого насоса.

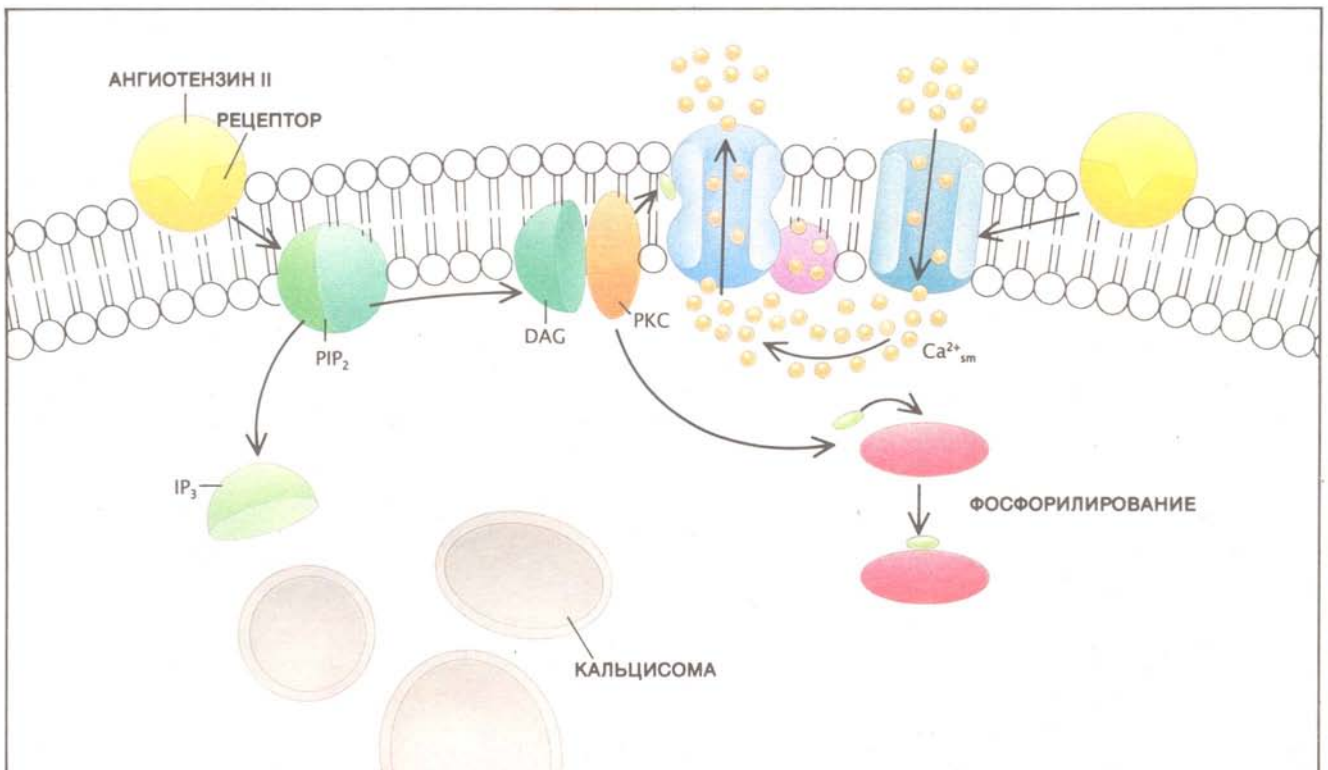
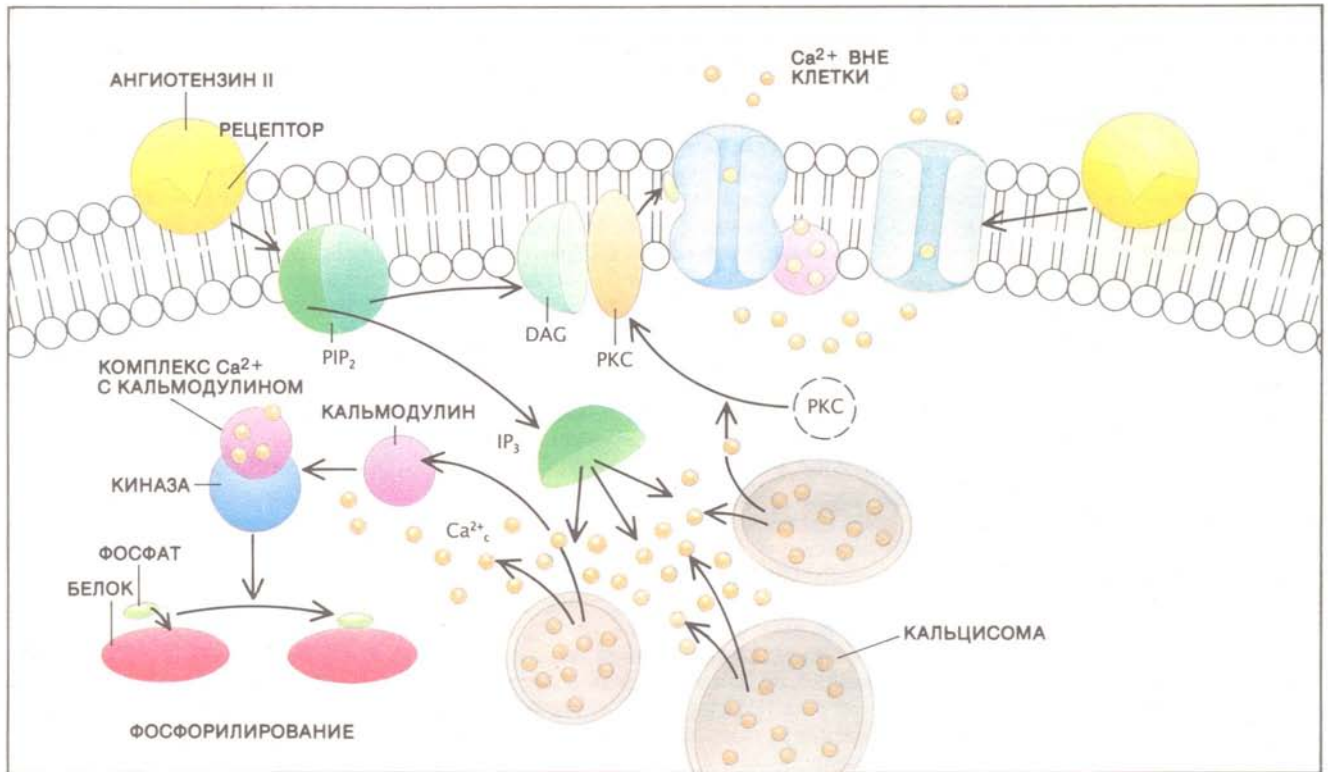
Активация протеинкиназы С, благодаря которой она способна воспринимать продолжительный примембранный кальциевый сигнал и передавать его дальше, связана с круговоротом инозитолсодержащих фосфолипидов. Метаболизм этих соединений регулируется определенными гормонами и нейромедиаторами (см. статью: Берридж М. Молекулярные основы внутриклеточной коммуникации, «В мире науки», № 12, 1985). Когда такой гормон или нейромедиатор взаимодействует со своим рецептором, ассоциированным с этим рецептором фермент катализирует распад фосфатидилинозитол-4,5-бисфосфата (PIP_2) который является одним из компонентов плазматической мембраны. В результате образуются инозитол-1,4,5-трифосфат (IP_3) и диацилглицерол (DAG). Поступая в цитозоль, IP_3 вызывает освобождение ионов кальция из кальциевого хранилища, что на короткое время увеличивает концентрацию кальция в цитозоле. Это способствует образованию комплексов кальция с кальмодулином, которые активируют специфические протеинкиназы, фосфорилирующие определенные клеточные белки.

Два пути

Кратковременный всплеск концентрации кальция и диацилглицерола приводит к тому, что протеинкиназа С связывается с плазматической мембраной. В отличие от IP_3 , DAG остается в пределах мембраны, а при высоком его содержании в мембране протеинкиназа С также находится



РАЗЛИЧИЯ В КИНЕТИКЕ изменения концентрации кальция и клеточной реакции не укладываются в рамки традиционной схемы действия кальциевого посредника. В клетках клубочковой зоны надпочечников, выделяющих гормон альдостерон в ответ на стимуляцию гормоном ангиотензином II, концентрация кальция в цитозоле резко возрастает лишь на минуту после добавления ангиотензина II (вверху), а секреция альдостерона длится более 30 мин (внизу).



АКТИВАЦИЯ клеток клубочковой зоны надпочечников ангиотензином II иллюстрирует два пути действия кальция в качестве посредника в двух разделенных во времени фазах продолжительной клеточной реакции. В начальной фазе (сверху) взаимодействие гормона с рецептором вызывает распад компонента мембраны фосфатидилинозитол-4,5-бисфосфата (PIP₂) на инозитол-1,4,5-трифосфат (IP₃) и диацилглицерол (DAG). IP₃ стимулирует освобождение ионов кальция из внутриклеточных резервуаров, называемых кальцисомами. В результате на короткое время увеличивается концентрация кальция в цитозоле (Ca²⁺_c). Ионы кальция связываются с кальмодулином и образующийся комплекс активирует ферменты киназы, присоединяющие

к белкам фосфатные группы. Фосфорилированные белки обеспечивают начало клеточной реакции, которая в данном случае заключается в секреции альдостерона. Ионы кальция, вышедшие из кальцисом, и возросшая концентрация DAG способствуют связыванию протеинкиназы C (PKC) с плазматической мембраной. В следующей, длительной фазе клеточной реакции (снизу) ангиотензин II вызывает усиление циркуляции кальция через плазматическую мембрану, в результате чего возрастает концентрация кальция в примембранной области (Ca²⁺_{sm}). Это приводит к активации ассоциированной с мембраной PKC, которая фосфорилирует другие белки, обеспечивающие продолжение клеточной реакции.

там. Кратковременное освобождение кальция из кальцисом и перемещение протеинкиназы С из цитозоля в плазматическую мембрану знаменуют собой начальную фазу продолжительной клеточной реакции на внешний стимул.

Внешняя стимуляция, состоящая в связывании внеклеточного фактора со своим рецептором, вызывает также двукратное увеличение потока кальция через плазматическую мембрану внутрь клетки. Механизм этого увеличения и природа открывающихся кальциевых каналов различны в разных типах клеток. До сих пор неизвестно, является ли увеличение поступления кальция в клетку прямым результатом активации рецептора, или же происходит вследствие гидролиза РИР 2'. Тем не менее ясно, что увеличение потока кальция внутрь клетки и, следовательно, усиление его циркуляции совершенно необходимо для развития длительной клеточной реакции, иными словами, циркуляция кальция играет в данном случае роль посредника.

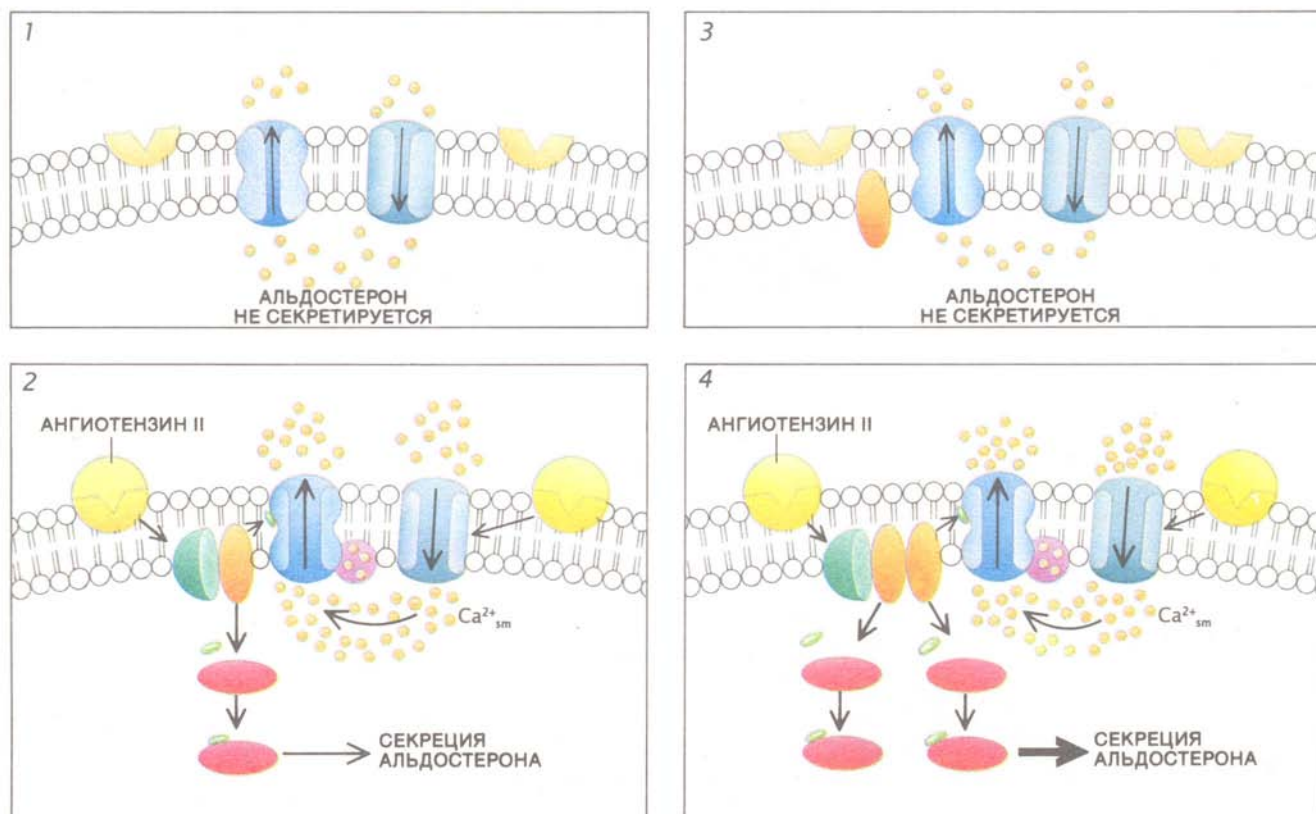
Считается, что протеинкиназа С

обладает сравнительно низкой активностью, пока находится в цитозоле. Однако в мембране она вступает в контакт с фосфолипидами (они являются основными компонентами мембраны), что вызывает увеличение максимальной скорости работы этого фермента в 25-30 раз и увеличение чувствительности его к активации кальцием более чем в 100 раз. Такая форма протеинкиназы С - активируемая кальцием и ассоциированная с плазматической мембраной - и является передатчиком сигнала во время второй фазы длительной клеточной реакции. Именно протеинкиназа С воспринимает локальное повышение концентрации кальция вблизи мембраны, обусловленное усилившейся его циркуляцией. Это ведет к увеличению скорости фосфорилирования клеточных белков, катализируемого протеинкиназой С.

Главная особенность схемы внутриклеточной передачи сигнала, следовавшей из наших данных о длительной реакции клеток надпочечников на внешние стимулы, состоит в том, что предполагается существование двух

разделенных во времени путей, на которых кальций выполняет посредническую функцию. Кальмодулиновый путь действует в начальной фазе реакции; при этом кратковременное повышение концентрации кальция в цитозоле, вызванное РЗ, влияет на протеинкиназу, активируемые кальмодулином, и приводит к фосфорилированию определенных клеточных белков. Путь с участием протеинкиназы С реализуется во второй, продолжительной фазе; на этой стадии возрастание концентрации кальция в примембранной области активирует ассоциированную с мембраной протеинкиназу С и та фосфорилирует другие белки.

Эта схема внутриклеточной передачи поступившего извне сигнала, по-видимому, применима не только к секреции альдостерона клетками надпочечников в ответ на ангиотензин II, но и к стимуляции секреции инсулина бета-клетками островков Лангерганса, и к сокращению гладких мышц. Но в последних двух случаях действие кальция в качестве посредника существенно зависит от активности другого посредника - сАМР.



ЭФФЕКТ «ЗАПОМИНАНИЯ» внешнего стимула наблюдается, когда изолированные клетки надпочечников обрабатывают ангиотензином II несколько раз. В первоначальном состоянии (1) интенсивность циркуляции кальция невелика, его концентрация в примембранной области низкая и протеинкиназа С (РКС) не связана с плазматической мембраной. При первом воздействии ангиотензина II (2) РКС переходит в мембрану, а циркуляция кальция увеличивается; в результате возрастает активность РКС, фосфори-

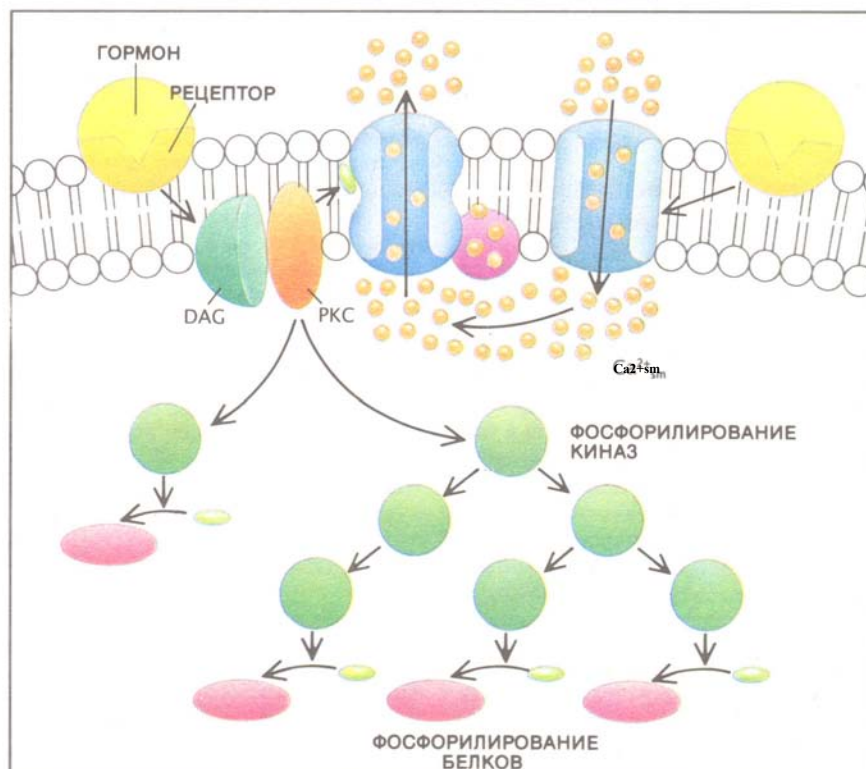
лируются определенные белки и начинается секреция альдостерона. После удаления ангиотензина II (3) циркуляция кальция ослабляется, но РКС остается связанной с мембраной. При следующей обработке ангиотензином II (4) дополнительное количество РКС переходит в мембрану, вследствие чего фосфорилирование белков и секреция альдостерона усиливаются. Таким образом, в основе «запоминания» стимуляции ангиотензином II лежит стойкая связь РКС с плазматической мембраной.

Дополнительное усложнение

Взаимосвязь между кальцием и сАМР в регуляции секреции инсулина слишком сложна, чтобы здесь подробно ее описывать. Я ограничусь обсуждением действия ацетилхолина; этот нейромедиатор связывается со специфическими рецепторами на поверхности бета-клеток и в результате в этих клетках активируются те же пути передачи сигнала, что и ангиотензин II в клетках надпочечников. В бета-клетках ситуация, однако, сложнее, чем в клетках надпочечников, поскольку эффективность сигналов, возбуждаемых ацетилхолином, зависит от внутриклеточной концентрации сАМР и внеклеточной концентрации глюкозы.

Содержание сАМР в бета-клетках увеличивается при связывании некоторых гормонов с соответствующими рецепторами на клеточной поверхности. Один из таких гормонов, называемый ингибиторным пептидом кишечника (GIP - от англ. gastric inhibitory peptide), выделяется клетками слизистой кишечника во время приема и переваривания пищи. Мои коллеги У. Завалич и К. Завалич и я изучали совместный эффект ацетилхолина и GIP при секреции инсулина изолированными островками Лангерганса. Как мы и предполагали, ацетилхолин стимулировал распад PIP₂ а GIP усиливал образование сАМР. Важно, что эффект влияния такой стимуляции на секрецию инсулина зависел от внеклеточной концентрации глюкозы. Если содержание глюкозы вокруг бета-клеток было близко к ее уровню в крови до принятия пищи, ацетилхолин в сочетании с GIP стимулировал секрецию инсулина лишь в небольшой степени и на короткое время. Когда же островки Лангерганса помещали в раствор глюкозы с концентрацией на 500/70 больше, что соответствует ее уровню в крови через 30-60 мин после еды, то та же комбинация ацетилхолина и GIP вызывала значительное и стойкое усиление секреции инсулина.

Результаты наших и других исследований привели к заключению, что величина изменения потока кальция внутрь клетки, вызываемого ацетилхолином и ингибиторным пептидом кишечника, зависит от концентрации глюкозы. При низкой концентрации глюкозы ацетилхолин и GIP не влияют на поток кальция или это влияние невелико. Однако при высокой концентрации глюкозы они стимулируют поступление кальция в клетку через специфические мембранные каналы, чувствительные к электрическому потенциалу. В бета-клетках, как и в клетках надпочечников, стойкое увеличение потока кальция внутрь клет-



КАСКАДЫ КИНАЗ обеспечивают влияние активации протеинкиназы С (PKC), не покидающей плазматической мембраны, на фосфорилирование белков в других частях клетки. Каскад начинается с активации PKC; она может фосфорилировать и таким образом активировать другие киназы (зеленые), которые будут в свою очередь фосфорилировать и активировать различные ферменты, что повлияет на функционирование различных белков-мишеней (красные).

ки (и, следовательно, усиление его циркуляции) необходимо для продолжительной клеточной реакции.

Способность бета-клеток реагировать на внешние стимулы зависит от глюкозы потому, что та влияет на электрический потенциал на их мембранах. При низкой концентрации глюкозы в крови потенциал плазматической мембраны бета-клеток велик, и кальциевые каналы в ней остаются закрытыми даже при вызываемой ацетилхолином деполяризации (уменьшении трансмембранной разности потенциалов). При повышении концентрации глюкозы происходит частичная деполяризация мембраны, не связанная с ацетилхолином, поэтому дальнейшая деполяризация под действием ацетилхолина приводит к открыванию каналов, пропускающих кальций внутрь клетки.

Более того, возрастание концентрации сАМР вследствие действия GIP также ведет к тому, что некоторые латентные кальциевые каналы становятся чувствительными к потенциалу и тем самым увеличивается общее число каналов, реагирующих на изменение потенциала плазматической мембраны. Таким образом, интенсивность потока и, следовательно, цир-

куляции кальция повышается в результате работы двух различных механизмов, когда ацетилхолин и GIP совместно действуют при подходящей концентрации глюкозы.

С физиологической точки зрения такая регуляция потока кальция страхует от нежелательной секреции инсулина при низкой концентрации глюкозы в крови - например, перед едой. Сходная система страховки имеется в клетках клубочковой зоны надпочечников. Основной эффект альдостерона, который они секретируют, состоит в понижении концентрации калия в крови. Повышение концентрации калия в среде, окружающей клетки надпочечников, приводит к частичной деполяризации их плазматической мембраны, так что клетки оказываются подготовленными к тому, чтобы их специфические кальциевые каналы, чувствительные к потенциалу, открылись под действием ангиотензина II. Если же концентрация калия в крови низкая, плазматическая мембрана гиперполяризуется, и ангиотензин II не может вызвать открывание этих каналов. Следовательно, при низкой концентрации калия не происходит стойкого увеличения потока кальция внутрь клетки и секре-

ции альдостерона. Этот страховочный механизм предотвращает секрецию альдостерона, когда повышение его уровня в плазме крови может привести к опасным последствиям.

Изменение чувствительности клеток к стимуляции

Независимо от того, действует ли кальций самостоятельно, или же совместно с сАМР, наиболее важными событиями, обеспечивающими продолжительную клеточную реакцию, являются ассоциация протеинкиназы С с плазматической мембраной и усиление трансмембранной циркуляции кальция. В случае активации клеток надпочечников ангиотензином II эти события происходят одновременно, однако в некоторых условиях они могут быть и разделены во времени.

Например, ассоциацию протеинкиназы С с мембраной можно отделить от увеличения циркуляции кальция и получить таким способом нечто вроде клеточной «памяти». Если изолированные клетки надпочечников перфузировать ангиотензином II трижды по 15-20 мин с перерывами такой же длительности, то уровень секреции альдостерона при каждой последующей стимуляции оказывается выше, чем при предыдущей. Получается, что клетки запоминают воздействие ангиотензина.

Эта клеточная память недолговечна: чем больше интервал между обработками ангиотензином II, тем меньше возрастает уровень секреции альдостерона. Явление «запоминания» объясняется, вероятно, тем, что связанная с мембраной протеинкиназа С не отделяется от нее сразу же после прекращения стимуляции ангиотензином. Дополнительная обработка ангиотензином приводит не только к реактивации протеинкиназы С, уже находящейся в мембране, но и к связыванию с мембраной новых молекул фермента. Поэтому при повторной стимуляции реакция клеток усиливается.

Примером устойчивой связи протеинкиназы С с плазматической мембраной является также действие ацетилхолина на бета-клетки поджелудочной железы. Как говорилось выше, при низкой концентрации глюкозы в крови ацетилхолин вызывает распад PIP_2 , но при этом не происходит заметного усиления секреции инсулина, поскольку не возрастает циркуляция кальция. Какова в данном случае роль ацетилхолиновой стимуляции? У. и К. Завалич и я отвечаем на этот вопрос следующим образом.

Предполагается, что при ацетилхолиновой стимуляции бета-клеток

кратковременный подъем концентрации кальция в цитозоле, вызванный IP_3 , и образование DAG приводят к перемещению протеинкиназы С в плазматическую мембрану. Поскольку циркуляция кальция при этом не усиливается, протеинкиназа С связывается с мембраной, но не активируется. Однако, находясь в мембране, фермент легче активируется, когда после еды несколько повышается уровень глюкозы в крови, вызывая увеличение потока кальция внутрь клетки. Таким образом, ацетилхолин подготавливает бета-клетки к тому, чтобы в ответ на увеличение концентрации глюкозы в крови инсулин секретировался интенсивнее, чем при обычной стимуляции гормоном.

Каскады киназ

Продолжая исследовать длительные клеточные реакции, мы взялись за изучение регуляции сокращения гладкой мускулатуры. Эта ткань широко распространена в человеческом теле, являясь основным компонентом стенок трахеи и бронхов, мочевого пузыря, желудка, кишечника и матки. В отличие от скелетных мышц гладкие мышцы не способны к произвольному сокращению. С. Парк, Е. Такува, Г. Келли, Г. Галлер и я избрали в качестве объекта исследований гладкие мышцы трахеи и сонных артерий коровы. Мы наблюдали быстрое и стойкое усиление сокращения трахеальных мышц под действием ацетилхолина; мышцы сонных артерий давали такую же реакцию на гистамин, играющий роль внеклеточного сигнала.

Оба эти эффекта можно объяснить почти так же, как действие ангиотензина II на клетки надпочечников. Сокращение инициируется кратковременным подъемом концентрации кальция, вызывающим активацию фермента, зависящего от кальмодулина - киназы легкой цепи миозина. Вследствие этого ненадолго усиливается фосфорилирование легкой цепи миозина, что приводит к быстрой, но непродолжительной сократительной реакции. Одновременно увеличение концентрации кальция в цитозоле вместе с образованием DAG в результате распада PIP_2 вызывает, как и в клетках надпочечников, связывание протеинкиназы С с плазматической мембраной. Во время продолжительной фазы мышечного сокращения в результате повышения концентрации кальция в примембранной области активируется связанная с мембраной протеинкиназа С, которая фосфорилирует ряд белков, тем самым обеспечивая длительность сократительной реакции.

Оставалось неясным, каким образом протеинкиназа С, находящаяся в плазматической мембране, влияет на белки, расположенные в иных, в том числе удаленных от мембраны областях клетки. В частности, во время сокращения фосфорилируются два белка с высокой молекулярной массой - десмин и кальдесмон, которые локализованы далеко от места непосредственного действия протеинкиназы С. Их положение внутри клетки и участие в сложных, высокоорганизованных макромолекулярных структурах исключает возможность того, что они перемещаются между местами своего постоянного пребывания и примембранной областью, где действует протеинкиназа С.

Мы, а также Д. Хатауэй с коллегами в Медицинском центре Университета шт. Индиана наблюдали фосфорилирование десмина и кальдесмона во время длительной фазы сокращения гладких мышц трахеи или сонной артерии. Когда десмин или кальдесмон добавляли к раствору очищенной протеинкиназы С, они тоже фосфорилировались; однако было обнаружено, что в таком эксперименте фосфатные группы присоединяются к белковым молекулам не в тех участках, которые фосфорилируются в интактных мышечных клетках при сокращении под действием ацетилхолина или гистамина.

Из этих результатов мы сделали два вывода. Во-первых, многие внутриклеточные белки в принципе могут фосфорилироваться данной протеинкиназой, однако *in vivo* такого фосфорилирования не происходит, поскольку в клетке эти белки удалены от мест, где обычно действует киназа. Во-вторых, в сокращающихся мышцах десмин и кальдесмон фосфорилируются, вероятно, не протеинкиназой С, а другим ферментом.

По нашему предположению, существуют «каскады» протеинкиназ, т. е. среди белков, фосфорилируемых протеинкиназой С, один или несколько в свою очередь сами являются протеинкиназами. Последовательное фосфорилирование киназ каскада продолжается до тех пор, пока какая-либо из них не фосфорилирует, наконец, десмин или, скажем, кальдесмон. Подобный каскад обнаружен также при действии инсулина на клетки-мишени.

Новое представление

В наших исследованиях функций кальция во внутриклеточной передаче сигнала обнаружилось, что в противоположность традиционной схеме изменение концентрации кальция в

цитозоле служит посредником лишь при кратковременных клеточных реакциях и в начальной стадии продолжительных реакций. При длительной реакции такой кальциевый сигнал генерируется только в ограниченной области вблизи плазматической мембраны путем усиления трансмембранной циркуляции кальция. Этот примембранный сигнал воспринимается связанными с плазматической мембраной передатчиками, чувствительными к кальцию. Под влиянием кальциевого сигнала они становятся источниками других сигналов. В конце концов информация от клеточной поверхности к внутриклеточным мишеням передает не сам кальций и даже не передатчики, а посредники, образо-

вавшиеся в результате активности передатчиков.

Многое еще предстоит узнать о масштабах киназ и о независимых путях регуляции циркуляции кальция и связывания протеинкиназы С с мембраной. Однако уже сейчас новые представления о кальциевом сигнале позволяют сделать шаг вперед в исследованиях ассоциативной памяти (см. статью: Элкон Д. Память и нейронные системы, «В мире науки», 1989, №9). Исследования новой посреднической роли кальция, которая касается секреции инсулина и сокращения стенок кровеносных сосудов, должны также помочь понять механизмы развития диабета и гипертонии.

Наука и общество

Космические корабли (на привязи)

В МАЕ 1991г., когда между космическим кораблем многообразного использования «Атлантис» и одним из находящихся на орбите Земли спутником будет протянут 20-километровый трос толщиной с макароны, начнется новая эра в космических полетах. Проект под названием Tethered Satellite System (TSS), финансируемый совместно НАСА и Итальянским космическим агентством (ASI), предусматривает подачу электроэнергии к шаттлу от магнитного поля Земли. Если полет «Атлантиса» окажется удачным, то такие тросовые системы можно будет использовать для корректировки орбит космических аппаратов, подзарядки бортовых батарей спутников и транспортировки отходов с космических станций.

Как бы фантастически это ни выглядело, система TSS будет работать подобно любому другому электрогенератору, в котором свитый в спираль провод вращается вокруг постоянного магнита. При движении проводящего троса в магнитосфере Земли в нем возникает электрический ток, как только электроны, скапливающиеся на спутнике из окружающих его ионизованных газов, устремляются по тросу к шаттлу. Величина тока пропорциональна длине троса; в тросе длиной 20 км, который будет использован в первом таком космическом полете, величина генерируемой энергии составит 4000--5000 эВ, что примерно равно мощности 4 кВт.

«При этом вы, конечно, не получаете что-то из ничего, -- отмечает Т. Стюарт, ответственный за реализацию программ НАСА. -- Энергия

должна откуда-то браться». Следовательно, когда ток течет к шаттлу, электромагнитное притяжение, действующее между тросом и Землей, приведет к потере скорости и снижению высоты полета. В то же время эти потери можно использовать в других целях: если направление тока изменить на обратное, при котором электроны начнут перетекать по тросу от космического корабля к спутнику, электростатическое отталкивание, действующее между спутником и окружающими его ионизованными газами, будет содействовать увеличению высоты полета шаттла. Таким образом, система TSS может служить также дополнительным источником тяги.

Трос, представляющий собой многослойный кабель, который НАСА и основной подрядчик, корпорация Martin Marietta, изготовили для предстоящего полета, имеет толщину не более 2,5 мм. В его центре находится пластмассовая нить, обвитая тонким медным проводом, а поверх него для повышения прочности -- оплетка из кевлара, легкого пластика, используемого для изготовления пуленепробиваемых жилетов. Сверху эта многослойная структура покрыта оплеткой из номекса, синтетического волокна, которое будет защищать кабель от окисления ионизованными газами. Трос способен выдержать нагрузку до 200 кг не обрываясь, хотя в условиях космоса ему не придется выдерживать натяжение более 10 кг. Такую нагрузку способна выдержать и обычная леска для рыбной ловли.

НАСА уже завершило работу по созданию троса и отработке механизма его развертывания; испытания системы развертывания были проведены в

ноябре, а в январе 1990 г. ASI приступит к испытанию троса в космосе на спутнике. Первый запуск шаттла с тросом намечен на май 1991 г. Второй запуск НАСА и ASI планируют провести в конце 1994 г. Во время этого полета будет развернут трос длиной 100 км, чтобы продемонстрировать возможности использования тросовых систем для исследования верхних слоев атмосферы.

Проект TSS имеет интересную предысторию. В 1974 г. М. Гросси и Дж. Колумбо из Смитсоновского астрофизического центра Гарвардского университета в своем докладе высказали предположение, что спутники с тросом можно использовать для создания в космосе электродинамических систем. Аналогичные идеи высказывались некоторыми изобретателями и раньше, например советским инженером Ю. Н. Арцутановым. Еще в 50-е годы он предложил создать «космический лифт» на тросах длиной 38 тыс. км, проходящих от поверхности Земли к спутнику на геостационарной орбите. Однако современные материалы не могут выдерживать такие высокие нагрузки; их прочность примерно на порядок ниже той, которая требуется для этих целей. Тем не менее если полет «Атлантиса» и последующих кораблей с тросом пройдут успешно, то мечта Арцутанова начнет превращаться в реальность.

НАПОМИНАЕМ АДРЕСА
МАГАЗИНОВ ОПОРНЫХ
ПУНКТОВ
ИЗДАТЕЛЬСТВА «МИР»

634034 Томск,
ул. Нахимова, 15/1,
магазин №- 15

454080 Челябинск,
просп. Ленина, 68,
«Дом книги»

720021 Фрунзе,
ул. Советская, 125,
магазин №11
«Научно-техническая книга»

125315 Москва,
Ленинградский просп., 78,
магазин №19 «Мир»

630091 Новосибирск,
Красный просп., 60,
магазин №7 «Техническая книга»



Моноксид углерода в атмосфере: неожиданные источники

Измерения из космоса выявили значительные количества монооксида углерода в самых неожиданных местах. Оказалось, что сжигание растительности в тропиках не менее мощный источник монооксида углерода, чем транспорт и промышленность

РЕДЖИНАЛЬД Э. НЬЮЭЛЛ, ГЕНРИ ДЖ. РЕЙХЛЬ, ВОЛЬФГАНГ ЗАЙЛЕР

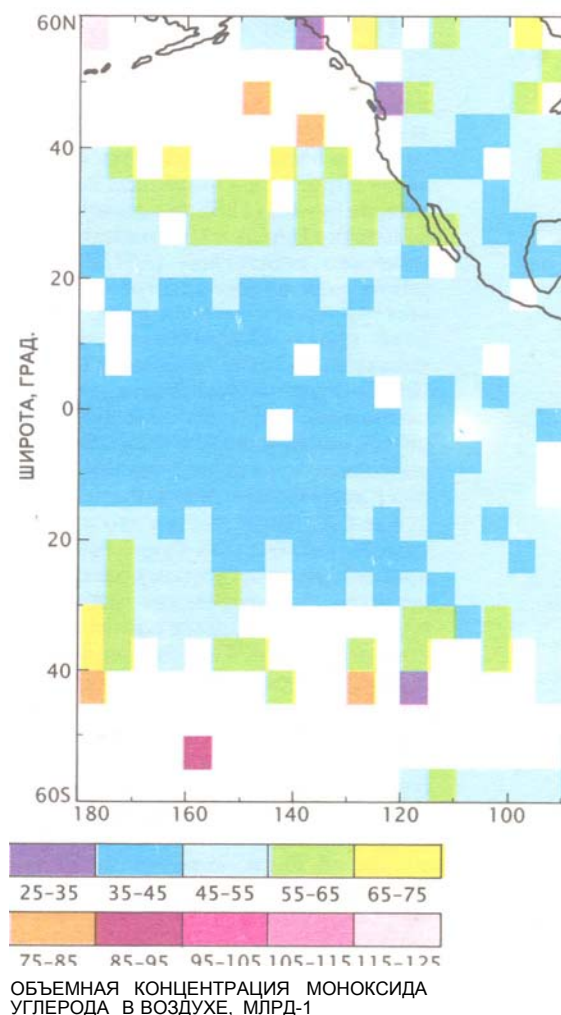
ЕСЛИ БЫ двадцать лет назад вы попросили специалиста по химии атмосферы в общих чертах нарисовать карту распределения монооксида углерода, то на изображенной им схеме наибольшие концентрации этого газа соответствовали бы Северному полушарию. Ученые сходились во мнении, что практически весь моноксид углерода образуется при сжигании ископаемого топлива, а в Северном полушарии сосредоточена большая часть промышленных предприятий и транспорта. Считалось также, что основная часть газа находится в приземном (нижние два километра) слое атмосферы, называемом еще пограничным слоем. Предполагалось, что благодаря конвекции некоторое количество монооксида углерода может попадать на большие высоты и оттуда выноситься в Южное полушарие, но что в основном он остается в Северном полушарии.

Теперь мы знаем, что такая гипотетическая карта неверна. Трубы промышленных предприятий и автомобили не являются и никогда не были единственным источником монооксида углерода. Возможно, они даже не самый мощный источник этого бесцветного газа, не обладающего никаким запахом. Прибор, который разработали авторы и который дважды побывал в космосе на борту шаттла, позволил построить карту распределения монооксида углерода над обширной территорией земного шара. Эти исследования, а также данные измерений с самолетов и наземных станций за последние 10 лет ясно показали, что сжигание тропических дождевых лесов и растительности в саваннах приводит к выбросам в атмосферу не меньшего количества монооксида углерода, чем сжигание ископаемого топлива.

Давно известно, что моноксид углерода ядовит. Он легко связывается с гемоглобином в крови, не давая последнему доставлять кислород тканям организма. В концентрациях, характерных для автомобильных туннелей или оживленных магистралей (порядка 20 000 молекул газа на миллиард молекул атмосферных газов), моноксид углерода может вызвать сильную головную боль. Однако над тропическими дождевыми лесами концентрация монооксида углерода обычно в сотни раз меньше этой величины. Причина беспокойства по поводу возрастания содержания монооксида углерода в атмосфере лежит в другом: этот газ оказывает отрицательное воздействие на окружающую среду. Заметим прежде всего, что высокий уровень содержания монооксида углерода, образующегося при сжигании растительности, подтверждает тот факт, что дождевые леса быстро исчезают. Сведение дождевых лесов может привести к изменению климата не только в этих регионах, но и в других районах земного шара. Далее, возрастание содержания в атмосфере монооксида углерода способствует накоплению газовых примесей, таких как озон, который ядовит для растений, и метан, который способствует усилению парникового эффекта и, таким образом, повышению температуры на Земле.

В ТЕЧЕНИЕ многих лет считалось, что в Южном полушарии и в тропиках концентрация монооксида углерода не может быть велика, поскольку предполагаемые источники этого газа - транспорт и промышленность - сосредоточены в Северном полушарии. Еще недавно измерения, проводимые у поверхности Земли, казалось, подтверждали это предполо-

жение. Так, например, в 1969 г. был проведен анализ проб воздуха, взятых одним из авторов статьи (Зайлером) и Кристианом Юнгом из Химического института Макса Планка в Майнце во время плавания в тропической Атлан-



тике. Анализ показал, что к северу от экватора концентрация монооксида углерода больше, чем к югу. В этот же период измерения, проведенные с борта самолета на маршруте Франкфурт (ФРГ) - Йоганнесбург (ЮАР) на высоте 10 км, обнаружили примерно одинаковое содержание монооксида углерода в Северном и Южном полушариях. Этот результат объясняли перемешиванием воздуха Северного и Южного полушарий на больших высотах (см. Reginald E. Newell. The Global Circulation of Atmospheric Pollutants, "Scientific American", January, 1971).

И все-таки обнаружение высоких концентраций монооксида углерода в Южном полушарии заставило заняться поисками возможных источников этого газа, не связанных со сжиганием ископаемого топлива. Внимание привлекли определенные химические процессы в атмосфере, в которых участвует гидроксил (ОН) - радикал с высокой реакционной способностью. Гидроксил является продуктом реакции между молекулами водя-

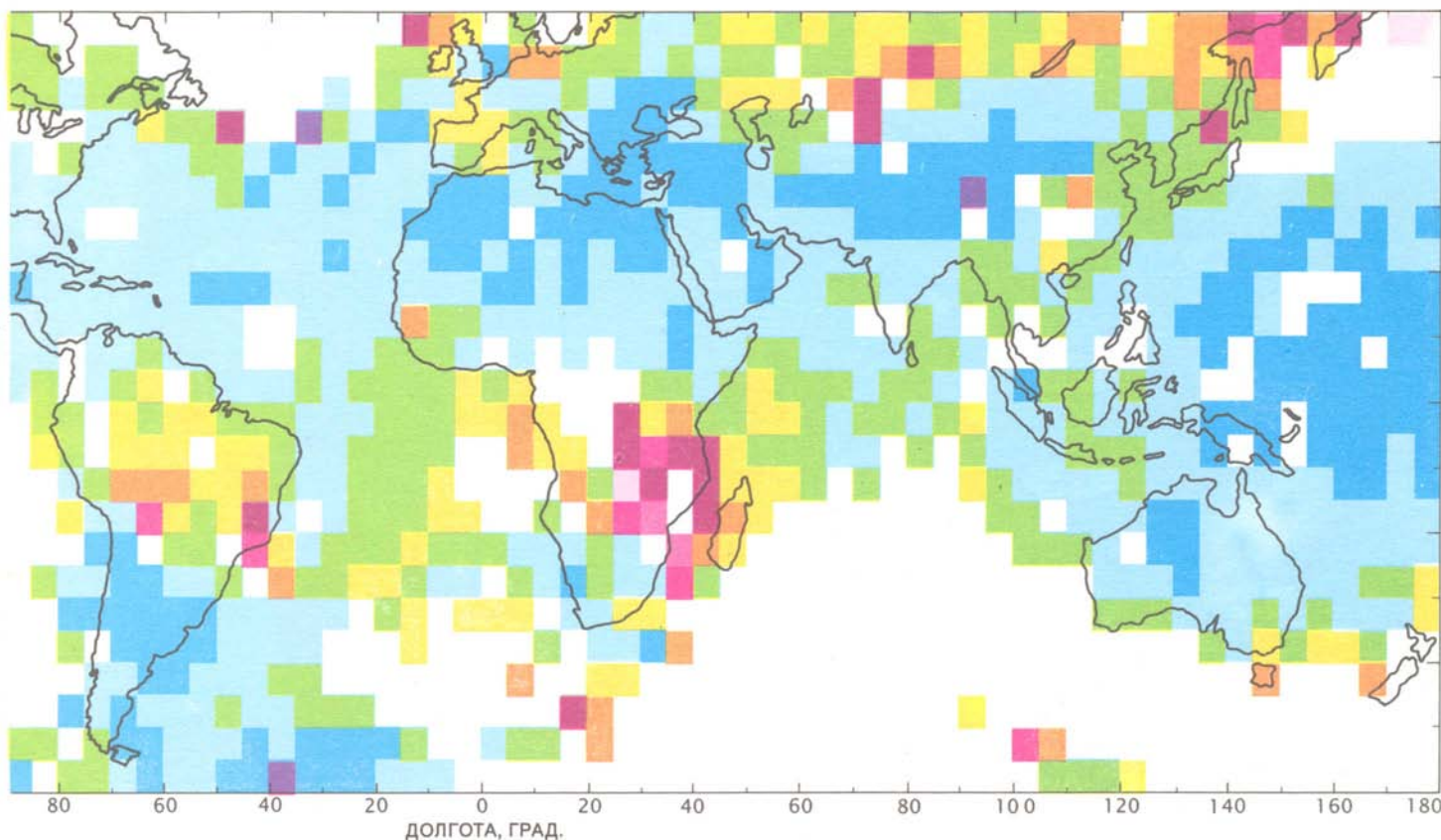
ного пара и возбужденными атомами кислорода, которые образуются в нижних слоях атмосферы при распаде молекул озона под воздействием солнечной радиации. Высокая реакционная способность делает гидроксил наиболее важным газовым «очистителем», окисляющим метан и другие газовые примеси.

Джеймс К. Мак-Коннелл, Майкл Б. Мак-Элрой и Стивен К. Уофси из Гарвардского университета высказали в 1971 г. предположение, что с окисления гидроксидом метана начинается целая серия реакций, в результате которых в большом количестве образуется моноксид углерода. Метан в атмосфере распределен почти однородно, поэтому его одинаково много как в Северном, так и в Южном полушариях. Расчеты, выполненные специалистами из Гарвардского университета, показали, что метан может быть более мощным источником монооксида углерода, чем сжигаемое ископаемое топливо.

Моноксид углерода, попав в атмосферу, не остается там навсегда.

Время его нахождения в атмосфере составляет от 10 суток до нескольких месяцев. Известно, что часть газа опускается к поверхности Земли и поглощается почвой. К тому времени, когда группа из Гарвардского университета приступила к своим исследованиям, Хирам Леви из Смитсоновской астрофизической обсерватории в Кембридже, шт. Массачусетс, уже показал, что гидроксил может также участвовать в удалении монооксида углерода из атмосферы, превращая его в диоксид углерода.

НЕСМОТРЯ на эти теоретические выводы, на вопрос о том, откуда берется моноксид углерода и куда он исчезает, нельзя было ответить, не зная, каково распределение этого газа в атмосфере. Районы, где концентрация монооксида углерода велика, можно связать с источниками этого газа, а районы, где его концентрация мала, - со стоками. Однако получить детальные карты глобального распределения монооксида углерода - задача не простая. Измерения с



ВОЗДУХ с большим содержанием монооксида углерода, образующегося при выжигании дождевых лесов и растительности саванн, попадает в верхние слои тропосферы. На это указывают данные, полученные в ходе программы под названием «Измерение загрязнения воздуха из космоса» (MAPS). Теперь мы знаем, что моноксид углерода образуется не только в промышленных районах и там, где много автомобилей. Приведенная карта построена по данным из-

мерений с космического корабля «Челленджер», выполненных с помощью инфракрасного радиометра в октябре 1984 г. Цифры означают относительное содержание монооксида углерода в воздухе на высотах от 3 до 18 км; «облака» этого газа сносятся ветром от места их образования. Каждый квадрат имеет сторону 50 и раскрашен в соответствии со средним значением, рассчитанным по множеству измерений в данной области.

поверхности земли или с борта самолетов не подходят для этой цели. Поскольку точек наблюдения должно быть очень много, то даже при наличии целой эскадрильи самолетов измерения заняли бы месяцы и годы, а кроме того, из полученной в результате картины исчезли бы кратковременные вариации монооксида углерода.

В то время как исследователи из Гарвардского университета проводили анализ по указанным направлениям, другие специалисты изучали возможность применения космических аппаратов для наблюдения за распределением монооксида углерода в глобальном масштабе. Приборы, ведущие измерения из космоса, могут собрать необходимый объем данных всего за несколько суток, что для практических целей можно считать одним моментом времени. Теоретический анализ, проведенный Клаусом Людвигом и его коллегами из Convaig Incorporated, подтвердил возможность измерения содержания монооксида углерода из космоса с помощью метода, который мы называем радиометрией с газовым фильтром. Метод был опробован группой, возглав-

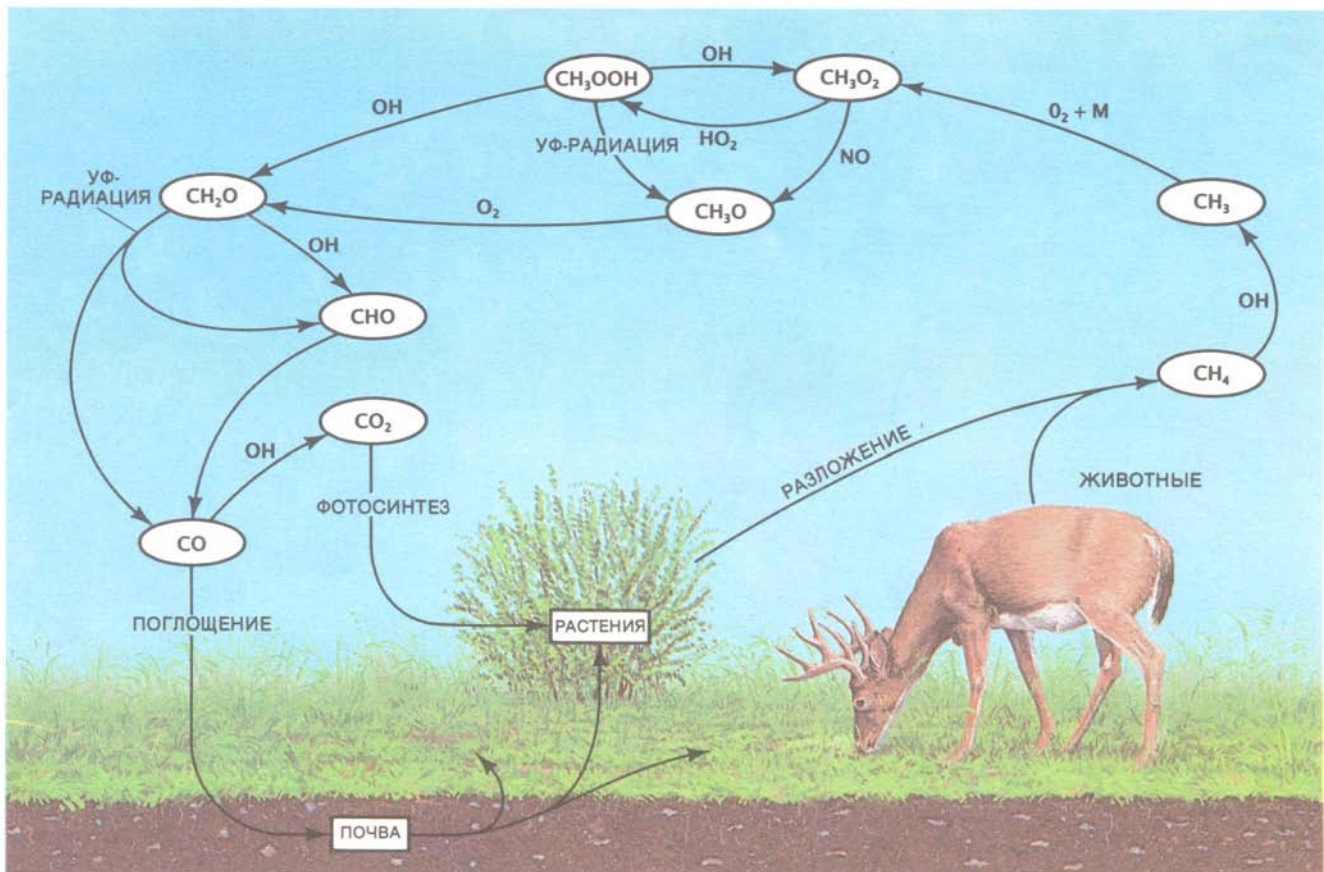
ляемой Джоном Хафтоном из Оксфордского университета, для измерения температуры атмосферы со спутника «Нимбус-IV».

Различные варианты этого метода изучались на борту самолета специалистами из Исследовательского центра Лэнгли Национального управления по авиации и исследованию космического пространства (НАСА), и один из них, предложенный Энтони Барринджером из Barringer Research, Inc. в Торонто, и был выбран для использования в космосе. Один из авторов статьи (Рейхль) пригласил Ньюэлла и Зайлера для участия в руководстве экспериментом. Измерения предполагалось вести с борта шаттла. Эксперимент, получивший название «Измерение загрязнений воздуха из космоса» (Measurement of Air Pollution from Satellites - MAPS), должен был начаться в 1976 г. во время одного из пробных полетов шаттла по орбите вокруг Земли.

В конструкции радиометра с газовым фильтром использован тот факт, что монооксид углерода поглощает инфракрасную радиацию на отдельных частотах. Этот спектр поглощения

может служить своего рода «отпечатками пальцев» для обнаружения газа в атмосфере и определения его концентрации. В частности, монооксид углерода поглощает инфракрасную радиацию с длиной волны около 4,67 мкм (действительный спектр поглощения зависит от температуры и давления газа).

Радиометр MAPS направлялся на планету и улавливал идущее от нее излучение. Поток радиации «рассекался» на равные порции вращающимся диском со щелями, который также посылал в систему порции инфракрасного излучения от зачерненной алюминиевой пластины с заданной температурой. Эта пластина служила «черным телом» - источником инфракрасного излучения с известным спектром, в котором отсутствуют линии поглощения. С этим сплошным спектром и сравниваются измерения, что позволяет определить долю радиации, поглощаемую атмосферой. Оба луча поочередно проходят через фильтр, который пропускает лишь компоненты с длинами волн в окрестности 4,67 мкм. Затем каждый луч расщепляется и направляется на три



МОНОКСИД УГЛЕРОДА образуется естественным путем в атмосфере в результате реакций, которые начинаются с окисления метана (CH_4) гидроксилом (OH). Гидроксил играет важную роль на нескольких этапах указанного цикла,

способствуя и образованию монооксида углерода (CO), и превращению его в диоксид углерода (CO_2); наряду с некоторыми другими газами монооксид углерода служит причиной уменьшения количества гидроксила в атмосфере.

фотодетектора. Один из детекторов установлен позади прозрачной кюветы, из которой откачан воздух, и измеряет попеременно абсолютные интенсивности излучения атмосферы и излучения черного тела. Два других детектора расположены позади газовых фильтров - кювет, заполненных монооксидом углерода при разных давлениях. Записывающее устройство регистрирует три типа данных: «абсолютный» сигнал от детектора с пустой кюветой и две разности между этим абсолютным сигналом и сигналом каждого из двух других детекторов.

Разностные сигналы отражают степень схождения между меняющимся атмосферным спектром и неизменным поглощением в кюветах с чистым монооксидом углерода. Когда область атмосферы, на которую нацелен радиометр, содержит сравнительно мало монооксида углерода, эти разности велики; по мере перехода к областям с более высокой концентрацией газа разности уменьшаются. На основании этих измерений с учетом известных значений температуры и давления газа в кюветах можно определить относительное содержание монооксида углерода в воздухе.

Поскольку спектр поглощения монооксида углерода зависит от давления, каждый детектор сильнее всего реагирует на присутствие монооксида углерода в определенном слое атмосферы. Детектор, расположенный за кюветой с давлением монооксида углерода 266 мм рт.ст., наиболее чувствителен к монооксиду углерода, находящемуся в интервале высот от 3 до 8 км, а детектор, «привязанный» к кювете с давлением 76 мм рт.ст., чувствителен к монооксиду углерода, располагающемуся на больших высотах. Наконец, детектор без кюветы реагирует главным образом на радиацию, идущую с поверхности Земли. Различие в кривых отклика детекторов позволяло грубо оценить вертикальное распределение монооксида углерода во время эксперимента MAPS.

Для того чтобы получить величину содержания монооксида углерода из измерений детекторов, мы должны также учесть влияние других факторов на прохождение радиации через атмосферу. В расчет принимались метеорологические условия, высота Солнца и отражательная способность земной поверхности. Весьма ценной была информация, которую мы получали из Центра числовых океанографических данных ВМФ США. Мы разработали модель атмосферы, которая помогала нам учитывать присутствие в воздухе водяного пара, диоксида углерода, озона и оксидов азо-

та, которые также поглощают радиацию в окрестности длины волны 4,67 мкм.

Результаты измерений искажаются также под влиянием облачности, и этот фактор нами тоже учитывался. Во время первого полета шаттла на борту наряду с радиометром была установлена фотокамера, которая смотрела в том же направлении; с помощью этой камеры мы могли получать снимки облачного покрытия во время наблюдений. Позднее наши коллеги Уоррен Хайпс из Исследовательского центра Лэнгли и Барбара Б. Гормсен, которая в то время работала в Исследовательском фонде Университета Олд-Доминион в Норфолке, шт. Виргиния, проанализировали эти фотографии и исключили из общего массива данных MAPS все случаи, когда измерения велись сквозь облака.

Перед полетом надлежало проверить, как радиометр MAPS реагирует на низкие и высокие концентрации монооксида углерода в воздухе. Для проверки в области высоких значений концентрации мы установили радиометр на самолете и совершили полет над озером Мичиган, фиксируя содержание монооксида углерода, накапливающегося в утренние часы пик над Чикаго. Были обнаружены потоки монооксида углерода как из Чикаго, так и из Милуоки. В первом из них концентрация монооксида углерода составляла 260 молекул на миллиард. Это большая величина, но ничего неожиданного в ней нет.

ВЗЯВШИСЬ за проверку работы радиометра при низких уровнях концентрации монооксида углерода, мы впервые обнаружили большое содержание этого газа в непромышленных районах. Летом 1979 г. программа MAPS была включена в международный проект MONEX по изучению муссонов Индийского океана. Установленный на борту принадлежащего НАСА самолета "Convair 990" радиометр MAPS работал во время длинных перелетов через Аравийское море на высоте около 12 км. Показания прибора сверялись с данными анализа проб воздуха, собранных в полете Эстеллой Кондон, работавшей в то время в Университете Олд-Доминион.

К нашему удивлению, концентрация монооксида углерода в пограничном слое атмосферы над Саудовской Аравией и долиной Ганга в Индии оказалась выше, чем над Чикаго в часы пик. По измерениям прибора MAPS и по результатам анализа проб воздуха содержание монооксида углерода составляло свыше 300 молекул на миллиард. Над Аравийским морем значи-

тельно более низкие концентрации - около 80 молекул на миллиард - были обнаружены вблизи экватора, там, где воздух из Южного полушария поступал в систему муссонной циркуляции.

По мере продолжения работ по программе MAPS накапливались сведения, которые противоречили установившемуся взгляду на промышленные районы как на основные источники монооксида углерода. В сухой сезон (август - сентябрь) 1980 г. один из авторов (Зайлер) и специалисты из Национального центра атмосферных исследований в Боулдере, шт. Колорадо, измеряли содержание монооксида углерода и некоторых других газов над Бразилией. Согласно данным измерений с самолета, концентрация монооксида углерода в пограничном слое над дождевыми лесами достигала 400 молекул на миллиард. Над саваннами на территории Бразилии, где человек активно выжигает растительность, были зафиксированы еще большие значения, выходящие временами за пределы шкалы приборов.

Вскоре появились теоретические обоснования того, что леса могут служить источником монооксида углерода. Заинтересованный данными измерений над Бразилией Пауль Крутцен из Института Макса Планка (см. статью: Томас Э. Грейдел, Пауль Дж. Крутцен. Меняющаяся атмосфера, «В мире науки», 1989, № 11) высказал предположение, что над дождевыми лесами большое количество монооксида углерода может образовываться благодаря Фотохимическому окислению углеводов отличных от метана. Эти углеводороды могут выделяться из смол и масел деревьев. Аналогичные заключения были сделаны недавно Аленом Маренко из Центра атомной физики в Тулузе и Клодом Дело ни из Лаборатории атмосферной физики в Абиджане (Кот-д'Ивуар) на основании данных измерений над тропическими лесами в Африке.

Крутцен, работая с Зайлером, предположил также, что горящая биомасса - растительность, выжигаемая при расчистке земельных участков под сельскохозяйственные угодья, или сухой навоз, используемый в качестве топлива, - является мощным источником атмосферного углерода. В форме монооксида выделяется лишь часть этого углерода; гораздо больше его попадает в атмосферу в форме диоксида или в форме частиц. Согласно расчетам Зайлера и Крутцена, за счет сгорания биомассы ежегодно в атмосферу попадает от 2 до 4 млрд. тонн углерода. Исследования, проведенные Элен Кашье и ее коллегами из Центра слабой радиоак-

тивности в Жиф-сюр-Иветт, также показали, что углеродистые аэрозоли в зонах тропических лесов переносят в атмосферу такое же количество мелких частиц углерода, как и все вместе взятые промышленные источники. Многие из этих аэрозолей образуются в засушливые сезоны, когда случаются большинство естественных пожаров и наиболее интенсивно ведется сжигание биомассы человеком.

В НОЯБРЕ 1981 г. во время второго пробного полета шаттла радиометр MAPS отправился в космос; к этому времени были получены новые данные о распределении монооксида углерода и созданы новые теоретические модели. Из-за сбоев в работе двигательной системы и системы охлаждения шаттла радиометр MAPS проработал в общей сложности лишь 11 ч, что соответствовало 10 000 измерений содержания монооксида углерода в интервале высот от 3 до 12 км.

Область, которую удалось «осмотреть», лежала между 37° с.ш. и 37° ю.ш. С шаттла, летевшего на высоте 260 км, радиометр MAPS мог регистрировать излучение с отдельных полос шириной 20 км. ВСЯ область была разбита нами на квадраты со стороной 5° по широте и долготе, так что, осреднив многочисленные данные внутри каждого квадрата, мы устранили из наблюдений мелкошабные вариации.

Анализ полученных данных позволил построить карту глобального распределения монооксида углерода. Самые низкие концентрации - около 40 молекул на миллиард - были обнаружены над юго-восточной частью Тихого океана и Аргентиной; сюда воздух приносится западными ветрами, дующими над обширными водными пространствами. Предшествующие исследования показали, что океаны не являются источниками монооксида углерода, так что наши результаты лишь подтвердили этот вывод.

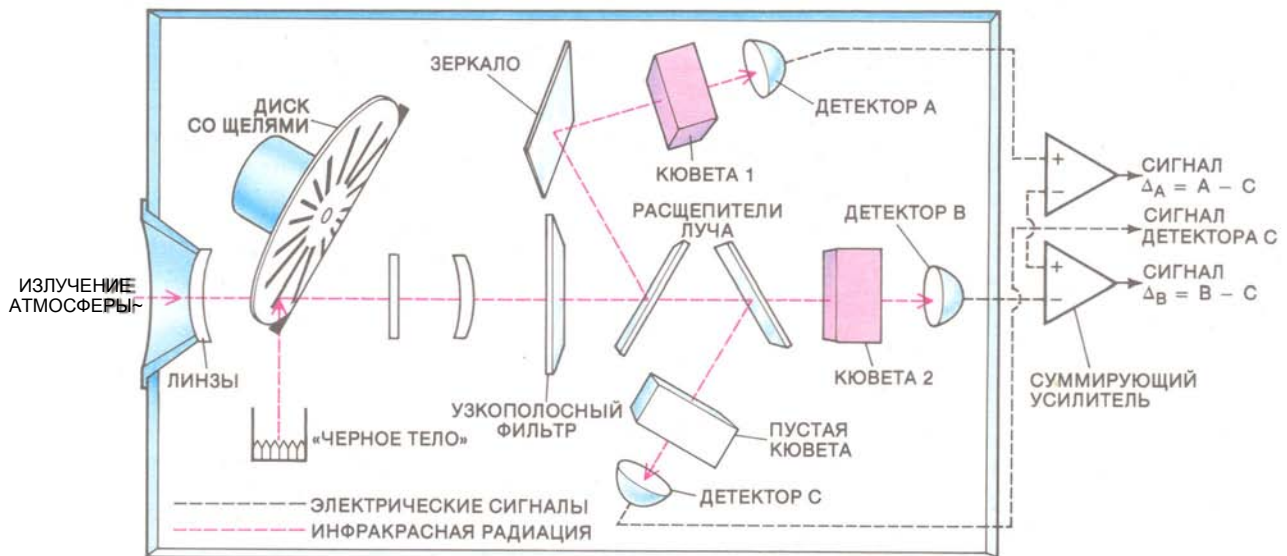
Несколько большие концентрации монооксида углерода - примерно 75 молекул на миллиард - мы обнаружили над восточной частью Средиземного моря и прилегающими районами суши. Этот воздух пришел сюда из западных районов Европы в период сильной конвективной деятельности, поэтому причиной повышенной концентрации монооксида углерода следует считать сжигание ископаемого топлива.

К нашему удивлению, однако, наибольшие концентрации монооксида углерода были обнаружены над районами, где отсутствуют или в небольшой степени развиты промышленность и автомобильный транспорт; многие из этих районов лежат в Южном полушарии или в тропиках. Над северной частью Южной Америки, Центральной Африкой и Восточным Китаем концентрация монооксида углерода превышала 100 молекул на

миллиард. (Наибольшие значения были зафиксированы над Гвинейским заливом - в экваториальной части западного побережья Африки, - однако эти данные статистически не обеспечены из-за недостаточного числа измерений.)

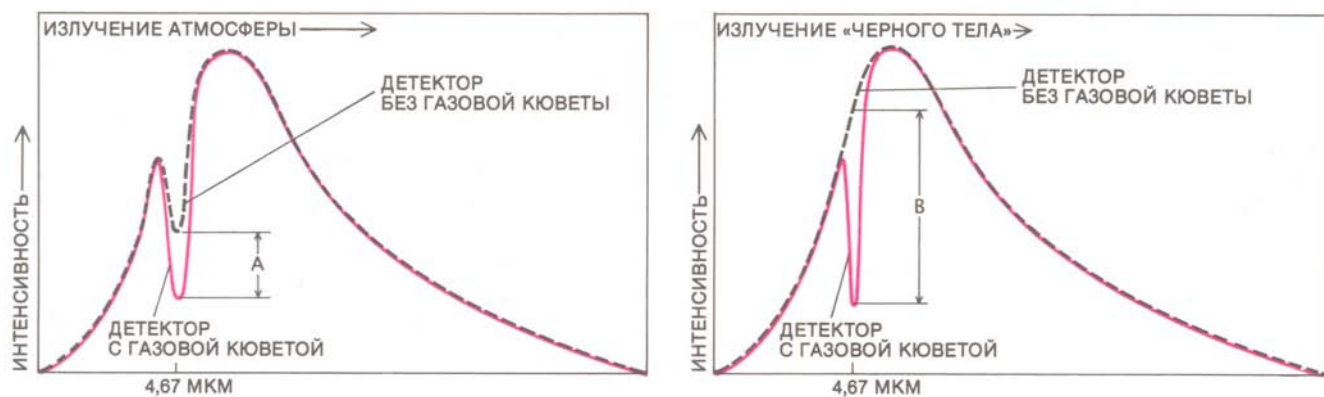
Каково происхождение монооксида углерода над этими непромышленными районами? Чтобы ответить на этот вопрос, мы изучили распределение ветра и данные по конвекции на ноябрь. Стало ясно, что воздух, обогащенный монооксидом углерода и движущийся на высотах от 10 до 12 км над Южной Америкой и экваториальной частью Атлантического океана, берет начало из пограничного слоя над тропическими дождевыми лесами. Воздух, который мы наблюдали над Китаем, за день до измерения находился над дождевыми лесами в северо-западной части Бирмы. Непосредственно под наблюдаемым пограничным слоем в Центральной Африке располагались степи и саванны, а не далее чем в 500 км от этого места - дождевые леса.

Стало ясно, что «облака» монооксида углерода над этими непромышленными районами не могут быть связаны с промышленными выбросами. Общей особенностью для них была близость дождевых лесов; подорожание легло и на сжигание растительности в саваннах. Другими словами, гипотезы, предложенные Крутценом, Зайлером и другими, объясняли



ИНФРАКРАСНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ атмосферы, попадая в радиометр MAPS, «рассекается» на порции вращающимся диском со щелями, который также посылает в систему порции излучения нагретого черного тела, служащего для сравнения. Оптический фильтр пропускает лишь радиацию с длинами волн в окрестности 4,67 мкм, что соответствует наиболее сильной линии поглощения монооксида углерода. С помощью зеркал отфильтрованная радиация

направляется на три детектора. Один детектор, расположенный позади кюветы, из которой отсосан воздух, измеряет абсолютную интенсивность радиации. Два других детектора расположены позади газовых фильтров - кювет, наполненных монооксидом углерода. Записывающее устройство регистрирует сигнал первого детектора и две разности - между сигналами первого и второго, а также первого и третьего детекторов.



ОТНОСИТЕЛЬНОЕ СОДЕРЖАНИЕ монооксида углерода в атмосфере можно рассчитать, сравнивая спектры излучения атмосферы и «черного тела», регистрируемые каждым из детекторов. Детектор, расположенный за кюветой с монооксидом углерода, дает небольшой почти постоянный сигнал, поскольку газ в кювете поглощает большую часть радиации с длинами волн, близкими к 4,67 мкм, как бы ни был источник излучения. На этой длине волны детектор, расположенный за пустой кюветой, регистриру-

ет либо частичное поглощение (когда на него падает излучение атмосферы), либо отсутствие поглощения (когда на него направлено излучение «черного тела»). Разность A , отвечающая варианту, когда оба детектора воспринимают излучение атмосферы, математически выражается через разность концентраций монооксида углерода в атмосфере и в кювете радиометра. Разность B , определяемая путем сравнения излучения «черного тела» с поглощением в кювете, позволяет калибровать прибор.

результаты измерений MAPS, выполненных с борта шаттла. Мы надеялись, что измерения во время следующего полета подтвердят и прояснят полученные выводы.

В промежутке между двумя полетами шаттла прибор MAPS был усовершенствован и снабжен простой системой для регистрации облачности. На этот раз монооксидом углерода заполнялась лишь одна кювета. Возможности определения высот залегания монооксида углерода несколько уменьшились, но для наших целей этого было достаточно. Вторая кювета заполнялась оксидом азота, который присутствует почти в постоянной концентрации - 305 молекул на миллиард - в нижнем 12-километровом слое атмосферы. Подобно монооксиду углерода оксид азота поглощает инфракрасную радиацию в окрестности длины волны 4,67 мкм. Поскольку содержание оксида азота в воздухе примерно постоянно, флуктуации этой величины, регистрируемые радиометром, могли быть приписаны влиянию облачности, попадающей в поле зрения прибора. Находя эти флуктуации в записях прибора, мы тут же отбрасывали соответствующие данные по монооксиду углерода, которые, разумеется, также были искажены. Благодаря этому нововведению мы смогли отказаться от утомительной процедуры анализа фотоснимков атмосферы с целью контроля за облачностью.

ЕЩЕ ОДИН полет шаттла, во время которого велись измерения радиометром MAPS, состоялся в октябре 1984 г., хотя первоначально запуск планировался на начало весны того

же года. Для нас это было большим огорчением, так как мы надеялись, что измерения, проведенные весной, дополняют ноябрьские данные 1981 г. и позволят сделать выводы о сезонных вариациях содержания монооксида углерода. Зайлер и его коллеги до этого «зоидировали» воздух с поверхности Земли в обоих полушариях и обнаружили хорошо выраженные сезонные различия в содержании монооксида углерода, причем максимальное значение приходилось на весну данного полушария.

Измерения по программе MAPS в октябре 1984 г. позволили улучшить картину, полученную в ноябре 1981 г. Из-за того что орбита космического корабля пересекала теперь большую полосу земной поверхности - от 57° с.ш. до 57° ю.ш., - измерениями удалось охватить более протяженную область. В течение девяти дней полета общая продолжительность измерений составила 86 ч.

Картина распределения монооксида углерода для октября 1984 г. оказалась похожа ей на картину для ноября 1981 г. Значения концентрации выше 100 молекул на миллиард были обнаружены над Южной Америкой, Южной Африкой, Западной Европой, СССР, Китаем, северной частью Тихого океана, южной частью Индийского океана, Северной Атлантикой, Сахарой и Аргентиной.

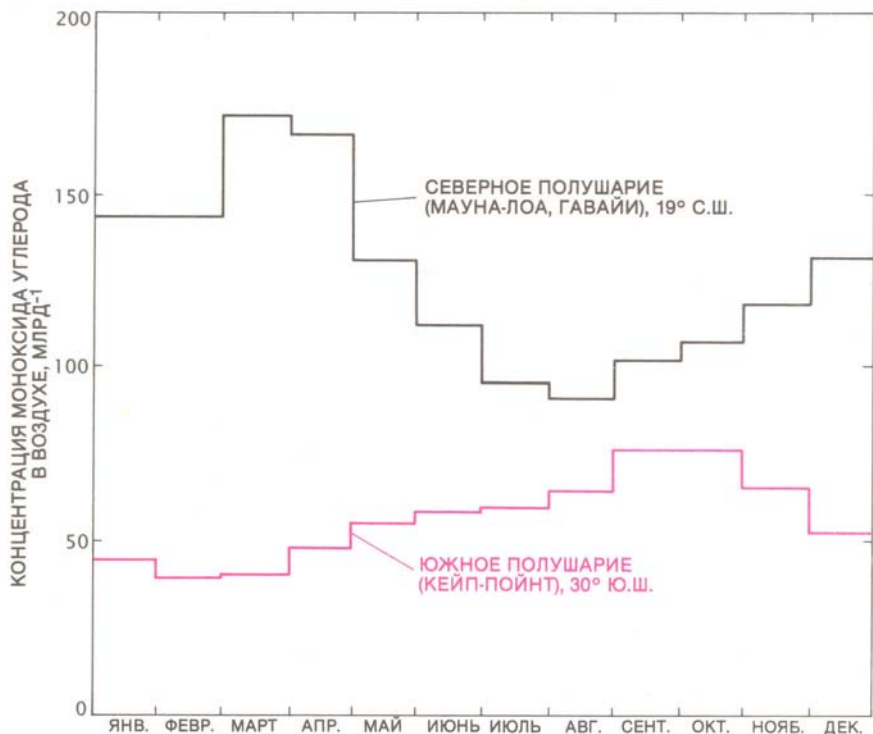
Фотографии, выполненные из космоса астронавтом Кэтрин Д. Салливан, подтвердили связь между крупными пожарами, заметными с орбиты, и облаками монооксида углерода. Например, дым пожаров вблизи устья реки Замбези в Африке сносился

в глубь континента восточным ветром. Благодаря конвекции этот дым попадал на высоты от 5 до 10 км и радиометр MAPS регистрировал присутствие в этом слое монооксида углерода.

Для калибровки данных 1984 г. группа, руководимая Зайлером, провела многократные измерения с борта самолета, летавшего над Атлантическим океаном в период полета шаттла. Прибор, использованный в этих измерениях, находился в непосредственном контакте с исследуемым воздухом и поэтому мог обнаруживать монооксид углерода в концентрациях менее одной молекулы на миллиард. Измерения велись на высоте 10 км на маршруте Франкфурт (ФРГ) - Сан-Паулу (Бразилия).

Картины меридионального распределения монооксида углерода, полученные в ходе почти одновременных измерений MAPS и самолетных измерений, оказались очень близки между собой по структуре. В то же время самолетные измерения постоянно давали на 40% большие значения концентрации монооксида углерода, чем радиометр MAPS, установленный на шаттле; причина такого систематического расхождения сейчас изучается.

Все данные измерений MAPS и самолетных измерений заставляют думать, что по крайней мере осенью Северного полушария, когда проводились измерения, дождевые леса и саванны «производили» не меньше, а может быть, и больше монооксида углерода, чем сжигаемое ископаемое топливо. Причиной может служить как сгорание биомассы, так и окисле-



СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ содержания монооксида углерода в атмосфере. Измерения в Северном полушарии проводились в Обсерватории Мауна-Лоа на Гавайских островах, в Южном полушарии - на станции наблюдения, расположенной на мысе Кейп-Пойнт в Южной Африке. Среднемесячные значения вычислялись по непрерывному ряду данных продолжительностью не менее пяти лет. Содержание монооксида углерода достигало максимума в весенние месяцы соответствующего полушария; возможно, это связано с тем, что весной деревья выделяют в атмосферу большое количество углеводородов, которые, окисляясь, превращаются в монооксид углерода.

ние углеводородов. Несмотря на близость максимальных значений концентрации монооксида углерода в областях повышенного содержания этого газа, нам представляется, что за «производство» монооксида углерода отвечают существенно различные механизмы. В Европе - это промышленные предприятия и автомобильный транспорт, а в Южной Америке и Южной Африке - сжигание биомассы.

Окисление метана и других углеводородов - важный источник монооксида углерода в обоих полушариях; высвобождение же его вследствие биохимических процессов из почв и растений играет относительно малую роль. В целом можно сказать, что в Северном полушарии основным источником монооксида углерода является сжигаемое ископаемое топливо, а в Южном - сжигаемая биомасса.

ЦИФРЫ, характеризующие поступление в атмосферу монооксида углерода вследствие сжигания растительности, главным образом в развивающихся странах, вызывают беспокойство. Тут возникает несколько вопросов. Как соотносится скорость

выделения углерода при сгорании древесины со скоростью потребления углерода деревьями при фотосинтезе и дыхании? Каковы последствия указанного выделения углерода для окружающей среды?

В развивающихся странах древесина служит важным видом топлива; леса выжигают также, чтобы расчистить площади под пастбища, пахотные земли и новые поселения. Темпы сжигания древесины растут в силу требований экономики, в частности из-за роста потребления топлива.

Проанализировав статистические данные, Крут цен и Зайлер показали, что ежегодно выжигается от 0,5 до 0,75% тропических лесов. По мере того как сокращаются лесные массивы, дающие жизнь молодым лесам, и возрастают темпы выжигания лесов, доля потерянных для человека лесных массивов увеличивается со все возрастающей скоростью - они буквально тают на глазах. Если на некоторых вырубках лес еще может вырасти, то участки, где на месте лесов раскинулись пахотные земли, потеряны навсегда.

Исчезновение дождевых лесов или

даже существенное уменьшение их площади привело бы к резкому изменению климата, поскольку повлияло бы на характер испарения и циркуляцию тепла. Благодаря испарению с листьев в светлое время суток деревья возвращают в атмосферу огромное количество влаги. На вырубках увеличивается сток дождевой воды, поэтому меньше влаги испаряется из почвы и возвращается в атмосферу. Испарение уменьшает температуру почвы, поскольку на испарение влаги расходуется часть солнечного тепла. Исчезновение деревьев приводит, таким образом, к повышению температуры почвы.

Все эти явления не ограничивают свое влияние местом прежнего произрастания деревьев. Испарение, например, играет важную роль в переносе солнечного тепла в высоких широтах. Не будь испарения, тепло от поверхности земли передавалось бы непосредственно приземному слою атмосферы. Водяной же пар поднимается на высоту от 2 до 8 км, прежде чем конденсируется и отдает скрытую теплоту парообразования. Поступление тепла на эти высоты определяет картину погоды и циркуляцию воздуха на всем земном шаре. Последствия изменения этих полей даже трудно предсказать.

Так же трудно представить себе, какое влияние на климат может оказывать монооксид углерода вследствие изменений химических процессов в атмосфере. Гидроксил легко вступает в реакцию с монооксидом углерода. По мере увеличения содержания монооксида углерода должно уменьшаться содержание гидроксила, который в обычных условиях разлагает метан и другие соединения. Такое воздействие на химию атмосферы может частично объяснить возрастание содержания метана, наблюдаемое в последние годы. Сейчас метан, подобно диоксиду углерода, стал парниковым газом: он задерживает тепло, идущее от земной поверхности, не давая ему уйти в космос. Беспокойство по поводу того, что парниковый эффект может сильно повлиять на климат, связано главным образом с поступлением в атмосферу огромного дополнительного количества диоксида углерода; пока неясно, обострит ли проблему монооксид углерода, увеличение содержания которого ведет к увеличению содержания метана.

Накопление монооксида углерода приводит также к увеличению количества озона на относительно низких высотах. Возможно, этот озон, эффективно поглощающий солнечный ультрафиолет, частично компенсирует потери стратосферного озона, раз-

рушающегося, как считают, под влиянием хлорфторуглеродов. Однако даже небольшое увеличение количества озона на низких высотах может отрицательно сказаться на жизнеспособности растений. Этот эффект можно наблюдать на примере твердых пород деревьев, которые, судя по всему, уже замедлили свой рост.

Из сказанного ясно, что измерение потоков монооксида углерода в атмосферу и из атмосферы и изучение его переноса вокруг земного шара имеет жизненно важное значение. Радиометр MAPS уже доказал свою пригодность для обнаружения на больших высотах монооксида углерода, образующегося при сжигании биомассы и ископаемого топлива и выделяюще-

гося из естественных источников. Повторив эксперимент MAPS весной, летом и зимой Северного полушария (в дополнение к уже проведенным осенним измерениям), мы узнаем, каковы сезонные вариации распределения монооксида углерода в обоих полушариях. Необходимо также провести дополнительные измерения, чтобы закрыть некоторые «белые пятна» на поверхности земного шара; в частности, это касается обширных пространств океана. Дальнейшее усовершенствование радиометра MAPS позволит обнаруживать монооксид на меньших высотах и, таким образом, приблизиться к его источникам - как естественным так и антропогенным.

ставляются бесплатно. В то же время, как подсчитал Кристофферсон, оснащение всех абонентов сети «Vionet» эквивалентными компьютерными мощностями и программным обеспечением может обойтись в 13,5 млн. долл. Сумма, которую должен будет заплатить каждый пользователь за новые, оказываемые «GenBank» услуги, пока еще точно не определена; пользование сетью «Vionet» обходилось в 400 долл. в год, в то время как эквивалентные услуги коммерческих организаций стоят 400 долл. за час машинного времени.

Пока не ясно и то, каким образом «GenBank» или любая другая централизованная база данных сможет справиться с потоком информации (который не менее чем в 100 раз превзойдет нынешний) при реализации проекта «человеческий геном» и других проектов подобного рода. Многие специалисты по молекулярной биологии считают, что огромные деньги, затраченные на регистрацию последовательностей генов, окажутся выброшенными на ветер, если не будут разработаны новые методы и средства поиска и анализа данных. Контракт на эксплуатацию системы «GenBank» будет в силе еще три года, заметил М. Гайер из отдела исследований генома человека в НИЗ: «Сейчас мы только начинаем говорить о том, что будет ПОТОМ».

Наука и общество

Информационные проблемы генетики

БИОМЕДИЦИНСКИЕ организации США, планирующие истратить приблизительно 3 млрд. долл. в течение последующих 15 лет на то, чтобы определить полную нуклеотидную последовательность геномов человека, животных и растений, в настоящее время пытаются изыскать по крайней мере несколько миллионов долларов, необходимые для записи уже собранной информации и обеспечения ее доступности для исследователей. Автоматизированная база данных «Vionet», включающая регулярно выходящий бюллетень и систему электронной почты, которая обслуживает сейчас около четверти американских лабораторий, финансируемых Национальными институтами здоровья (НИЗ), прекратит свою деятельность, поскольку ее руководители не выполнили соглашений, предусмотренных при создании этой базы. Свою деятельность они свели к оказанию услуг и почти совсем не занимались исследованиями.

По словам Ч. Каултера, менеджера НИЗ по вопросам программного обеспечения системы «Vionet», комиссия пришла к выводу, что руководство «Vionet» не уделяло достаточного внимания созданию новых программ (эту работу он классифицировал как исследовательскую), и потому вопрос о дальнейшем субсидировании был решен отрицательно. Д. Кристофферсон из фирмы IntelliGenetics, Inc. в Маунтин-Вью (шт. Калифорния), которая руководит работой сети «Vionet», говорит, что его сотрудники были введены в заблуждение: им сказали, чтобы они изыски-

вали другие источники финансирования для проведения большей части исследований, и в результате они представили комиссии из НИЗ лишь самые внушительные из своих проектов.

Р. Робертс из лаборатории в Колд-Спрингс-Харборе, член совета «Vionet», заявил, что весь этот эпизод «сослужит плохую службу молекулярной биологии». Эту централизованную систему, по его словам, не следовало финансировать на таких условиях. К сожалению, НИЗ дважды отвергли предложение финансировать «Vionet» по обычной схеме, и «кооперативное соглашение на проведение исследований НИИ», срок которого уже истекает, было единственным способом получить необходимые средства.

Большую часть услуг, оказывавшихся сетью «Vionet», должна взять на себя организация GenBank, принадлежащая НИЗ и управляемая также компанией IntelliGenetics (Эта передача функций, официальное одобрение которой еще ожидается на момент публикации заметки, было названо «естественной эволюцией» возможностей системы «GenBank».) Специалисты по молекулярной биологии смогут обмениваться данными друг с другом и будут иметь доступ к банку нуклеотидных последовательностей генов и аминокислотных последовательностей белков, но они будут предоставлены сами себе, если потребуется детально проанализировать эти данные. Дж. Кэссет, менеджер НИЗ по вопросам программного обеспечения системы «GenBank», утверждает, что исследователи могут приобрести анализирующие программы для персональных компьютеров, причем некоторые программы предо-

Вниманию
читателей!

НАПОМИНАЕМ АДРЕСА
МАГАЗИНОВ —
ОПОРНЫХ ПУНКТОВ
ИЗДАТЕЛЬСТВА «МИР»

480064 Алма-Ата,
просп. Абая, 35,
магазин «Прогресс»

370105 Баку,
ул. Кецховели, 556/557,
квартал № 17, магазин № 28

232000 Вильнюс,
просп. Ленина, 29,
магазин «Техника»

603006 Горький,
ул. Горького, 156,
магазин № 29 «Наука»



Нашествие водных сорняков

**Водные сорняки стали бичом водоемов во всем мире.
Изучение наиболее злостных из них - водного гиацинта
и сальвинии назойливой - ведет к разработке
новых программ борьбы с такими растениями**

СПЕНСЕР К. Х. БАРРЕТТ

ПОПУЛЯЦИИ животных и растений мигрируют и размножаются обычно медленно, завися при этом от естественного взаимодействия множества экологических факторов, среди которых почвенные и гидрологические процессы, оледенения, засухи, возрастание и снижение численности видов-конкурентов и т. д. Однако известны случаи ускорения популяционных процессов вследствие деятельности человека, приведшей к резкому изменению распространения и обилия многих видов. Сейчас растения и животные перевозятся (иногда случайно) по всему миру - их доставляют в зоопарки и ботанические сады, продают, используют в сельском хозяйстве. Некоторые из таких «чужеземных», или интродуцированных, видов становятся причиной настоящих бедствий - экологических и одновременно экономических. Хотя у себя на родине эти виды могут быть совершенно безобидными, попав в новую среду, они захватывают ее и подчиняют себе, становясь агрессивными вредителями или сорняками.

Эти биологические вторжения нигде не проявляются так наглядно, как в водоемах. В нынешнем столетии не менее десятка сорных видов растений прямо-таки заполнили реки, озера и водохранилища планеты. Канадской элодеи (*Elodea canadensis*) зарастают европейские каналы. В свою очередь европейское растение уруть колосистая (*Myriophyllum spicatum*) захватило канадские озера. Тропический вид очереднопольный филоксеровый, называемый также аллигаторовой травой (*Alteganthera philoxeroides*), засорил оросительные системы США; к такому же результату привело проникновение американского ежовника *Echinochloa microstachya* на рисовые поля Австралии.

На примере двух водных сорняков можно наглядно рассмотреть проблемы, создаваемые такими видами. Речь идет о водном гиацинте (*Eichhornia crassipes*) и папоротнике сальвинии назойливой (*Salvinia mo-*

lesta). Эти два вида захватили водоемы по всей планете, особенно в тропиках и субтропиках, где создают серьезные трудности и ведут к огромным экономическим потерям. Всего за один вегетационный период они способны превратить высокоразвитую водную экосистему в агрессивную растительную массу, мешающую судоходству, губящую рыбу и способствующую распространению болезней.

Стремясь избавиться от водного гиацинта и сальвинии назойливой, земледельцы, биологи и правительства взяли курс на радикальные меры борьбы с сорняками и миллионы долларов уже затрачены на механические и химические средства уничтожения растений. К сожалению, большинство механических методов не способно достаточно быстро истреблять эти виды, а применение гербицидов чревато отрицательным побочным воздействием на качество воды, рыбу и другие элементы пищевой цепи водоемов. Тем не менее новые программы, разработанные на основе детального изучения водных сорняков, внушают надежду на победу над ними.

ВОДНЫЙ гиацинт и сальвиния назойливая, как и большинство сорняков, способны быстро расти и размножаться в местообитаниях, нарушенных вследствие деятельности человека. В последнее время широко-масштабное вмешательство в природные экосистемы открыло для таких видов множество новых экологических ниш. В оросительных системах, гидроэнергетических комплексах и водохранилищах они находят идеальные для себя условия. В естественных водоемах эти растения массово размножаются за счет постоянного поступления питательных веществ в результате сельскохозяйственной деятельности (смывания удобрений с полей) и выщелачивания почвенных минералов.

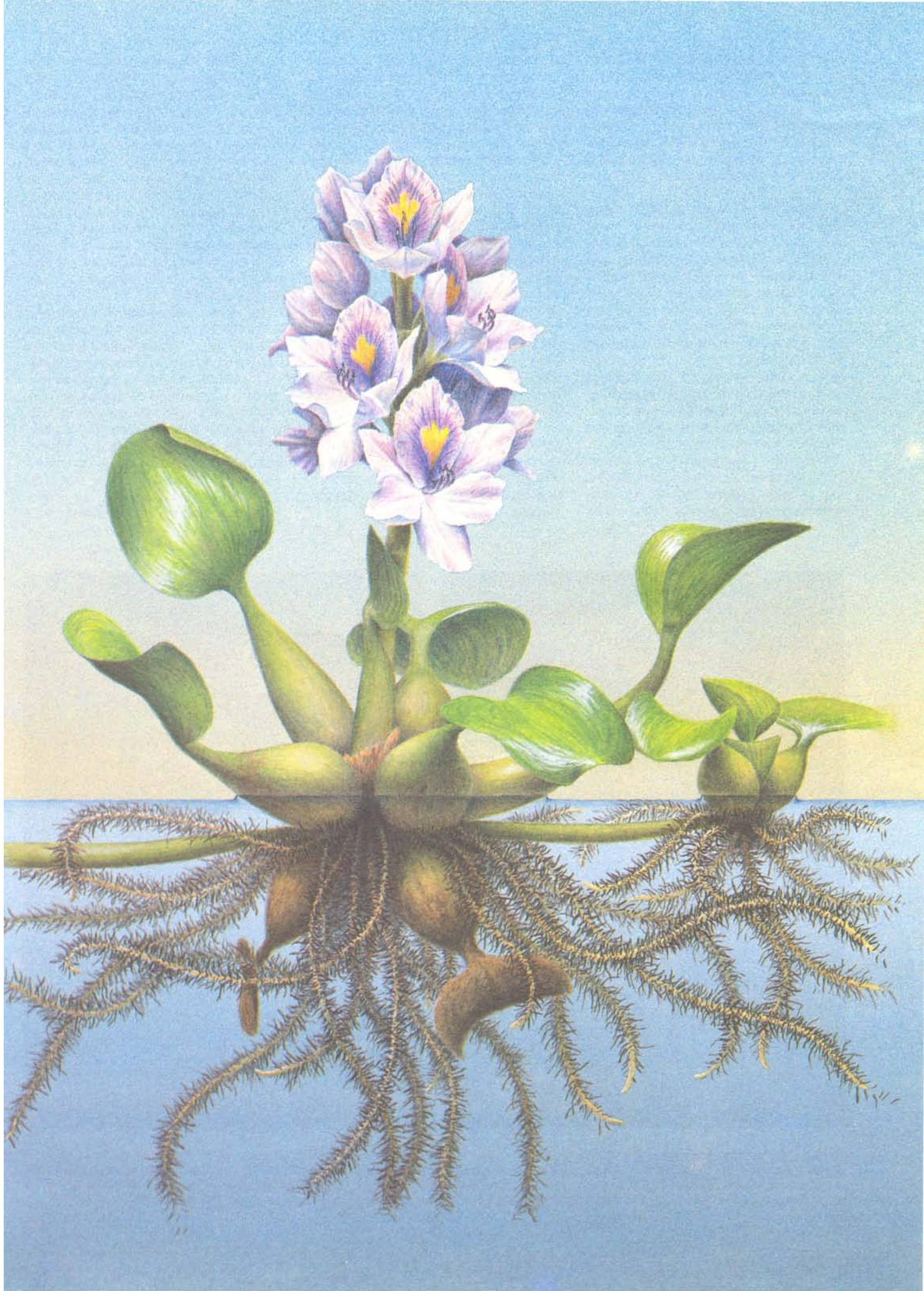
Две специфические особенности - высокая подвижность и клональный рост - позволяют водному гиацинту

и сальвинии назойливой захватывать господствующее положение в таких богатых питательными веществами водах. Их подвижность обусловлена заполненной воздухом тканью (аэренхимой), придающей стеблям и листьям плавучесть. В результате растения разносятся ветром и течением в новые для них воды, где могут жить и размножаться.

Клональный рост способствует быстрому захвату этими видами обширных водных пространств. В последнее время термин «клонирование» получил широкую известность благодаря молекулярной биологии и генетике. В ботанике он имеет сходное значение: так называют воспроизведение генетически идентичных особей путем бесполого размножения предка, возникшего половым путем, т. е. клон составляют растения, появившиеся на свет без опыления и прорастания семян и представляющие собой генетические копии родительского экземпляра. Такое клонирование хорошо знакомо любому, кто выращивал декоративные растения из черенков.

У водного гиацинта и сальвинии назойливой особенно впечатляющий способ клонального воспроизведения: растение разрывается на множество отдельных частей, каждая из которых способна дать целый организм. Эти фрагменты разносятся ветром и течением, так что колонии могут быстро распространяться по обширным пространствам. Не конкурируя с другими растениями и располагая почти неограниченным жизненным пространством, запасами питания и солнечной энергии, водный гиацинт и сальвиния назойливая

ВОДНЫЙ ГИАЦИНТ, *Eichhornia crassipes*, из-за своей красоты завезенный со своей южноамериканской родины в другие страны, теперь бесконтрольно распространяется по рекам и озерам планеты. Пара растений может за 4 месяца дать до 1200 потомков. Этот вид катастрофически повлиял на многие пресноводные сообщества.



растут и размножаются головокругительными темпами - скорость накопления биомассы у них рекордная среди растений. В результате один генетический индивид может быть в принципе бессмертным, занимая обширные площади с разнообразными условиями существования.

Водный гиацинт обычно считается наиболее злостным среди водных сорняков как с экологической, так и с экономической точки зрения. Он захватывает водоемы со скоростью, о которой ходят легенды среди экологов и специалистов по борьбе с сорняками. Изучение этого вида в шт. Луизиана показало, что за один вегетационный период 25 растений могут дать биомассу, достаточную чтобы покрыть 10 тыс. м² водной поверхности, породив примерно 2 млн. экземпляров, весящих в совокупности столько же, сколько полностью загруженный реактивный аэролайнер. Если растение заселяет медленно текущие или стоячие воды, колонии смыкаются друг с другом, образуя не-

прерывные ковры из живых и разлагающихся тканей толщиной до 2 м.

Мощные зеленые ковры водного гиацинта заполняют водохранилища, не позволяя пользоваться запасами воды; захватывают реки, препятствуя судоходству; забивают дренажные каналы, вызывая затопление земель; закупоривают трубы гидроэнергетических систем, нарушая их работу. Эти заросли косвенно снижают содержание в воде растворенного кислорода, что приводит к гибели рыбы и планктона. Поскольку сорняк вытесняет из водоемов рыбу, он ставит под угрозу питание живущих по берегам людей, для которых рыба - главный источник белка. Водный гиацинт создает также прекрасную микросреду для возбудителей некоторых болезней человека, включая малярию, энцефалит и шистосоматоз. Хотя этот вид редко конкурирует с сельскохозяйственными культурами, он затрудняет протекание воды по оросительным каналам и насосным системам, снижая таким образом урожай.

Водный гиацинт распространился со своей родины - тропических низменностей Южной Америки - в более чем 50 стран пяти континентов. В 1824 г. Карл Фридрих Филипп фон Мартиус обнаружил это растение в Бразилии и описал его под названием *Pontederia crassipes*; впоследствии его отнесли к роду *Eichhornia*. В следующие шестьдесят лет водный гиацинт не привлекал особого внимания ботаников; по-видимому, никакого беспокойства он тогда не вызывал. Однако такое «примерное поведение» продолжалось недолго.

Хотя расселение водного гиацинта по свету трудно точно проследить по документам, можно считать, что массовое увлечение его декоративностью началось в 1884 г., когда это растение, вывезенное из низовьев реки Ориноко в Венесуэле, преподносилось в качестве подарка японской делегацией на выставке хлопка в Новом Орлеане. У водного гиацинта красивые кисти фиолетовых с желтым цветков, поднимающиеся над плавающими розетками выпуклых зеленых



СХОДСТВО между агрессивным сорняком *Eichhornia crassipes* (слева) и его безбидным родственником *E. azurea* (справа) помогло выделить признаки, обеспечивающие агрессивный характер водного гиацинта. В то время как

необходимость укоренения у *E. azurea* ограничивает его рост прибрежной полосой водоемов, *E. crassipes* способен свободно плавать и поэтому может распространяться на огромных площадях водной поверхности.

листьев. Перед таким великолепием устоять было невозможно: необычные сувениры развезли в окружающие районы и высадили в садовых прудах, где они стали очень быстро размножаться.

Из таких прудов водный гиацинт распространился по всему югу США. Его рост вскоре стал мешать речным перевозкам зерна, хлопка и лесоматериалов, нанося соответствующим отраслям ущерб на миллионы долларов. Особенно много неприятностей вызвало засорение реки Сент-Джонс во Флориде в 1895 г.: растения были разбросаны штормовым ветром более чем на 160 км вниз и вверх по течению и образовали огромные плавающие ковры длиной до 40 км.

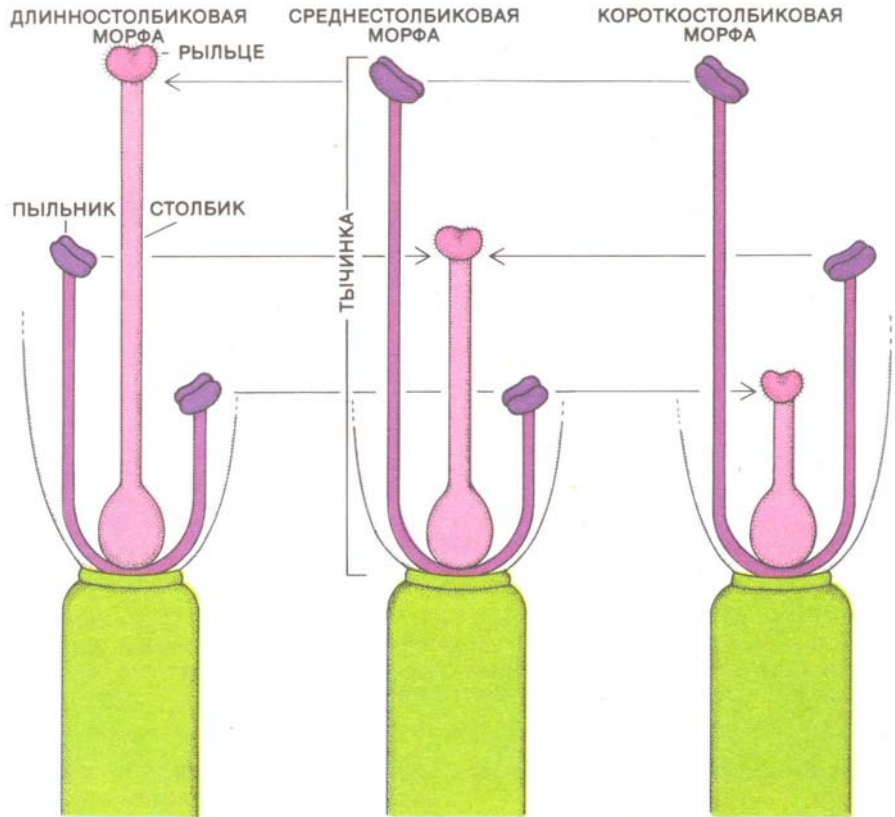
Вести о красоте водного гиацинта, по-видимому, дошли до Юго-Восточной Азии быстрее, чем сведения о связанной с ним опасности. В 1894 г. сотрудники Богорского ботанического сада на Яве сообщали, что растение приносит массу хлопот и его экземпляры приходится регулярно выбрасывать в протекающую через сад реку. Вскоре на острове появилось множество местных популяций, а сейчас заросли водного гиацинта встречаются по всей Юго-Восточной Азии, а также на теплых низменных равнинах Индии, Шри-Ланки, Китая и Японии.

Так же быстро этот вид распространялся и по Африканскому континенту. Движение судов по рекам Конго, Нил и их притокам, вероятно, способствовало заселению им новых районов: экземпляры, зацепившиеся за колесные пароходы, иногда «проезжали зайцем» до 1600 км вверх по течению.

НЕУДИВИТЕЛЬНО, что большинство исследований *Eichhornia crassipes* было посвящено проблеме его роста и поиску средств борьбы с этим сорняком. Почти все работы проводились не на родине вида, а главным образом на юге США, в Индии и Юго-Восточной Азии.

Более 10 лет назад я начал изучать водный гиацинт в пределах его исходного ареала. Мне хотелось разобраться в популяционной биологии этого необычного вида и узнать что-нибудь о его малоизвестных родственниках. Мои исследования выявили ряд неверных представлений о биологии размножения водного гиацинта и дали основания для экологического объяснения многих ее особенностей.

Род *Eichhornia* относится к семейству понтедериевых (Pontederiaceae) класса однодольных, которое включает также понтедеррию сердцелист-



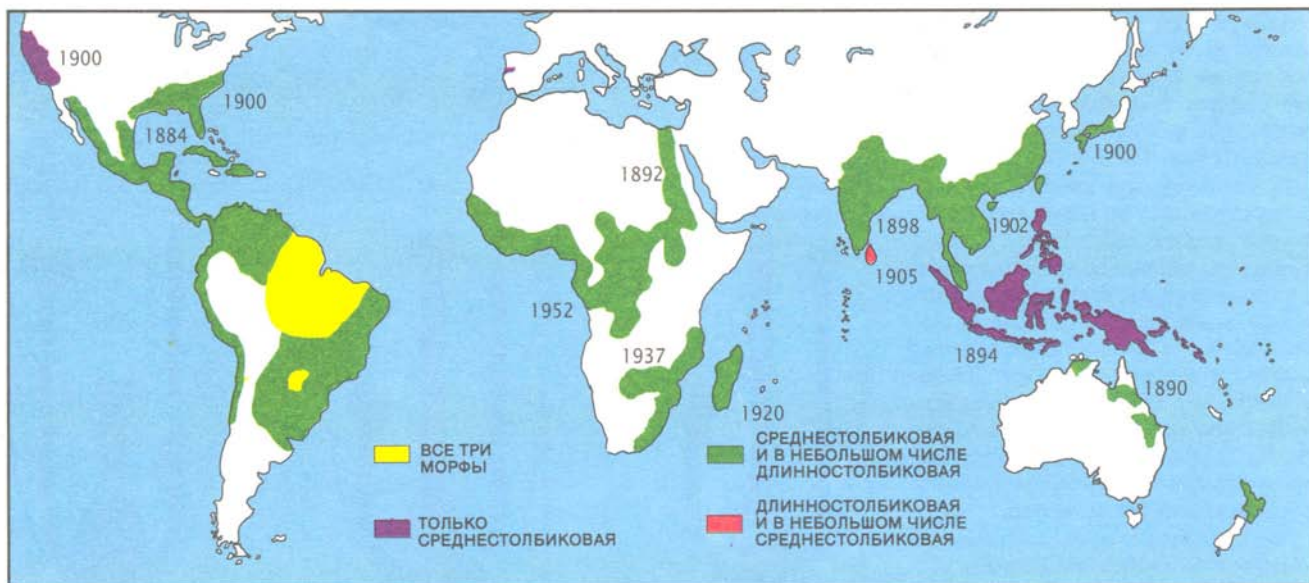
ИЗУЧЕНИЕ ЦВЕТКОВ различных морф водного гиацинта - с длинными и средними по длине столбиками - привело Чарлза Дарвина к выводу о существовании короткостолбиковой морфы. Он заметил, что пыльники длинных тычинок среднестолбиковой морфы соответствуют по расположению рыльцу длинного столбика, а пыльники средних по длине тычинок длинностолбиковой морфы - рыльцу среднестолбиковой. Однако короткие тычинки обеих этих морф не соответствуют у них длине пестика, т. е. остаются без «полового партнера». Значит, должен был быть третий тип цветков, в то время еще неизвестный. Автор статьи обнаружил короткостолбиковую морфу водного гиацинта в 1974 г.

ную (*Pontederia cordata*) и другие растения. Водный гиацинт *Eichhornia crassipes* - один из восьми видов пресноводных растений этого рода. Все они происходят из тропиков Центральной и Южной Америки, за исключением африканского вида *E. natans*. Большинство представителей рода широко распространены у себя на родине и размножаются клонированием, образуя колонии, однако только у *E. crassipes* проявилась тенденция становиться агрессивным сорняком.

Это кажется особенно удивительным, если принять во внимание, что *E. crassipes* морфологически очень близок к *E. azurea*. Оба вида образуют плавающие ковры и имеют крупные красивые цветки. *E. azurea*, как и водный гиацинт, был завезен из Южной Америки в качестве декоративного прудового растения и случайно попал в местные водоемы. Однако серьезных проблем из-за этого никогда не возникало. В чем же разница между безобидным декоративным растением *E. azurea* и злостным водным сорняком *E. crassipes*?

Прежде всего эти два вида обладают различной способностью рваться на части, которые развиваются в целые растения. У водного гиацинта фрагментация происходит гораздо легче, поскольку его розетки плавающих листьев соединены между собой лишь тонкими горизонтальными стеблями, называемыми столонами. Кроме того, у *E. azurea* медленнее идет регенерация; колонии этого вида быстро растут только тогда, когда растение прочно укоренено в илистом дне. Необходимость укоренения ограничивает распространение *E. azurea* мелкими прудами и прибрежной полосой рек и озер. В противоположность этому свободноплавающий водный гиацинт может расти и размножаться на поверхности глубоких водоемов, вдали от большинства потенциальных конкурентов.

ПОЧЕМУ ЖЕ у водного гиацинта выработалась способность свободно плавать и быстро фрагментироваться? Ответ заключен в экологических условиях биотопов, которые



РАЗЛИЧНЫЕ МОРФЫ водного гиацинта - с длинным, средним и коротким столбиком - характеризуются разным географическим распределением. Все три морфы произрастают вместе только на родине водного гиацинта -

на низменных равнинах тропических районов Южной Америки. Здесь показано, когда, по историческим данным, этот вид был интродуцирован в различные регионы.

водный гиацинт занимает у себя на родине.

Считается, что исходным ареалом этого вида является бассейн Амазонки, а также обширные озера и болота области Пантанал на западе Бразилии. Водная среда в этих регионах весьма динамична: уровень рек и озер резко колеблется в связи с сезонными изменениями количества дождей. Например, уровень Амазонки ежегодно поднимается и падает примерно на 10 м даже на расстоянии 2000 км вверх по течению от Атлантического океана. В таких условиях свободноплавающий образ жизни весьма выгоден, в то время как укорененные растения часто погибают в периоды погружения глубоко в мутную воду.

В бассейне Амазонки и в Пантанале множество мелких связанных между собой озер, возникающих при ежегодных паводках. Эти сезонные водоемы, богатые питательными веществами, - идеальная среда для массового размножения водного гиацинта. Если его крохотная колония попадает при разливе реки в такое озеро, она быстро разрастается благодаря имеющимся там обильным пищевым ресурсам.

Экологическое изучение исходного ареала водного гиацинта привело меня еще к одному интересному открытию. Это растение дает множество семян, способных переживать сухие периоды, что способствует восстановлению популяции после засыхания колоний. Это и другие наблюдения положили конец общепринятым ранее ошибочным представлениям. Многие

исследователи считали, что клоны водного гиацинта в половом отношении стерильны и не способны к размножению семенами. Такая точка зрения основывалась на двух общих соображениях. Во-первых, растения, длительное время воспроизводящиеся только вегетативно (например, батат, сахарный тростник, многие декоративные виды), часто теряют способность к половому размножению, поскольку обычно в генетическом материале со временем накапливаются мутации, нарушающие процессы опыления и прорастания семян. (При регулярном половом размножении такие мутации постоянно отсеиваются из видового генофонда.)

Во-вторых, к неверному заключению привело непонимание системы опыления водного гиацинта. Цветки этого вида можно разделить на три половых типа, различающиеся размером и расположением мужских и женских репродуктивных органов - соответственно тычинок и пестиков. Эти типы, называемые морфами, характеризуются высотой столбика (продолжения завязи), который может быть длинным, средним или коротким. Таким образом водный гиацинт рассматривается как трехстолбиковый вид.

Трехстолбиковые растения обычно не способны ни к самоопылению, ни к перекрестному опылению в пределах одной морфы. Другими словами, при этом завязывается очень мало семян; при перекрестном же опылении между цветками разных морф их образуется много. Основоположником теории

такой половой несовместимости у геростилийных (т. е. разностолбиковых) видов считают Чарльз Дарвина, который впервые изучил морфологию цветка и особенности опыления у этой группы растений (в 1877 г. он опубликовал свои открытия в работе «Различные формы цветков у растений одного вида»). Исходя из этой теории многие ботаники полагали, что водный гиацинт дает мало семян в областях, где присутствует лишь одна его морфа - а именно таково распределение морф в большинстве регионов планеты.

ОДНАКО мои собственные эксперименты показали, что во многих колониях с единственной морфой *E. crassipes* всхожесть семян весьма высока. Я обнаружил, что клоны способны к успешному самоопылению и опылению в пределах одной морфы. Фактически большинство их при этом могут давать тысячи жизнеспособных семян.

Непонимание того, что популяции водного гиацинта часто образуют множество семян, затрудняло борьбу с этим сорняком. Во многих районах мира, в том числе в США, до сих пор используется метод, заключающийся в том, что воду из каналов и водохранилищ спускают в некоторые периоды года. В результате вегетативные части водных растений гибнут от иссушения. Однако спуск воды одновременно создает для семян водного гиацинта прекрасную возможность прорасти, а для его всходов - прижиться: плавающие на поверхности во-

ды зеленые ковры лишаются листьев, обычно затеняющих проростки, и обнажаются пропитанные влагой донные отложения, т. е. в общих чертах имитируются условия, возникающие в засушливый период в Амазонии.

Хотя теория Дарвина о внутриморфной несовместимости у гетеростильных растений была и не вполне верной, он оказался прав в отношении некоторых других признаков водного гиацинта. Изучив гербарные экземпляры цветущего *E. crassipes*, полученные с юга Бразилии, Дарвин отнес их цветки к длинно- и среднестолбиковой морфам. Он предположил, что должна существовать и короткостолбиковая морфа, поскольку у двух изученных им морф были короткие тычинки. Впоследствии это предсказание вызвало множество споров, так как убедительных доказательств его не находилось.

Так, в 1950-х гг., пытаясь отыскать короткостолбиковую морфу, генетик Дж. Холдейн обратился за помощью к индийским школьникам, попросив их осмотреть популяции водного гиацинта. Эти поиски, как и усилия многих других исследователей, окончились неудачей. В начале 1970-х гг. бо-

таники пришли к выводу, что короткостолбиковая морфа вымерла, и у *E. crassipes* осталось два, а не три типа цветков.

Я знал об этих спорах, когда в 1974 г. начал работать в Бразилии в бассейне нижней Амазонки. Здесь на болотах, примыкающих к реке Жари, я впервые в жизни увидел колонию цветущего водного гиацинта. И у цветков были короткие столбики! Предсказание Дарвина подтвердилось.

Позднее я совместно с И. Форно из Организации научных и промышленных исследований стран Британского содружества наций (CSIRO) в Квинсленде (Австралия) провел более широкомасштабный географический анализ морф водного гиацинта. Мы обнаружили, что короткостолбиковая морфа распространена не так широко, как две остальные (см. рисунок на с. 56). Она произрастает главным образом в бассейне Амазонки и в Пантанале, встречается также в реках Парагвай и Парана. Среднестолбиковая морфа преобладает по всему вторичному ареалу вида, длинностолбиковая встречается вместе с ней, но реже. Чем обусловлено такое географическое распределение трех морф?

Хотя короткостолбиковая морфа растет так же быстро и плавает так же хорошо, как и две другие, ее ареал ограничен Южной Америкой, возможно, из-за связи с каким-то местным животным-опылителем. Крупные цветки водного гиацинта посещают пчелы нескольких видов. Эти насекомые, как правило, прикасаются к рыльцу (структура, воспринимающая пыльцу) на вершине длинного и среднего по длине столбиков и тем самым обеспечивают опыление. Однако узкий венчик цветка делает рыльце на конце короткого столбика недоступным для большинства опылителей. Пчела *Ancyloscelis gigas* со своим длинным языком - единственное известное животное, способное без труда прикасаться к рыльцу короткостолбиковой морфы, что, по-видимому, и обуславливает ограниченное географическое распространение последней. Вместе с тем отсутствие этой морфы за пределами исходного ареала вида может быть и чисто случайным. Возможно, такие растения вообще не завозились в другие регионы.

Географическое распространение различных морф также отражает



«КОВРЫ», образуемые водным гиацинтом, могут покрывать обширные водные поверхности, достигая толщины 2 м. Растения интенсивно потребляют питательные веще-

ства и перехватывают солнечный свет, что приводит к гибели остальных обитателей водоема. Заросли сорняка также затрудняют судоходство.

принцип, установленный известным эволюционистом Э. Майром из Гарвардского университета: новая популяция, основанная несколькими особями, обладает меньшей генетической изменчивостью, чем родительская популяция. Следовательно, если новая популяция возникает из небольшого числа клонов, изолированных от исходного генофонда, она может оказаться генетически однородной. Именно это, по-видимому, неоднократно происходило при расселении водного гиацинта.

Большинство экземпляров этого вида в пределах вторичного ареала относится к среднестолбиковой морфе. Исторические сведения и географическое распространение указывают на то, что исходная популяция, по-видимому, произрастает в Венесуэле, где эта морфа преобладает. То, что длинностолбиковые экземпляры периодически (хотя и нечасто) встречаются во вторичном ареале, не обязательно говорит об их независимой интродукции. Среднестолбиковые растения могут дать начало длинно-

столбиковым в силу характера наследования этого признака.

У водного гиацинта длину столбика определяют два гена. От одного из них зависит, будет столбик коротким или нет. Если признак короткостолбиковости не экспрессируется, от второго гена зависит, будет столбик длинным или средним. Этот ген представлен двумя аллелями - доминантным M и рецессивным m . Если растение гомозиготно по аллелю m (генотип mm), его цветки будут длинностолбиковыми, а если присутствует хотя бы один доминантный аллель (генотипы mM и MM) - среднестолбиковыми.

В цветках гетерозиготных растений пыльцевые зерна и семечки, которые несут по одной копии этого гена, могут содержать либо доминантный (M), либо рецессивный (m) его аллель. В результате случайной комбинации аллелей при оплодотворении потомство с вероятностью 1:4 будет гомозиготным по доминантному либо по рецессивному аллелю (MM , mm) и с вероятностью 1:2 - гетерозиготным

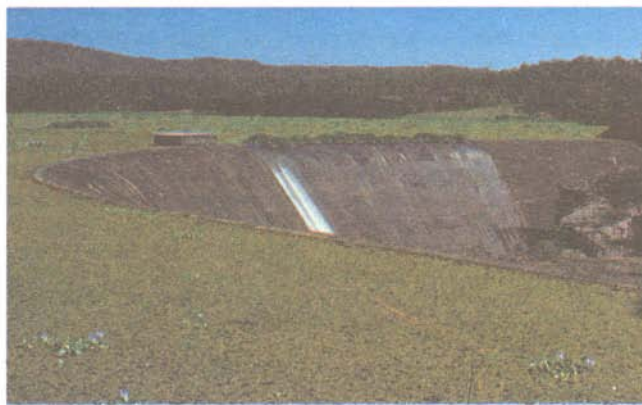
(Mm). Таким образом, в популяции среднестолбиковых морф при половом размножении примерно четверть потомства будет иметь цветки с длинными столбиками. Если небольшое количество таких растений присутствует в популяции, состоящей в основном из среднестолбиковых экземпляров, можно предположить, что здесь имеет место половое размножение, а это в свою очередь указывает на возможность прорастания семян и приживания всходов в данной среде.

Когда в Калифорнии, где встречается только среднестолбиковая морфа водного гиацинта, семена собрали и вырастили в теплице, из некоторых получились длинностолбиковые экземпляры. Значит, отсутствие длинностолбиковых морф в Калифорнии свидетельствует, вероятно, о том, что водный гиацинт не размножается половым путем в экологических нишах, имеющих в этом штате. Не исключено также, что калифорнийские популяции происходят от одного или нескольких клонов, размножавшихся



ЛАМАНТИН поедает водный гиацинт в парке Блу-Спринг в Ориндж-Сити (шт. Флорида). Это животное было интроду-

цировано в тропические водоемы для борьбы с быстрым распространением водного гиацинта.



САЛЬВИНИЯ НАЗОЙЛИВАЯ *Salvinia molesta*, хрупкие листья которой показаны на снимке слева, размножается только бесполом путем, так что вся ее мировая популяция

представлена одним генетическим индивидом. Как и водный гиацинт, это растение образует плавающие ковры (справа) и является злостным водным сорняком.

вегетативно с начала нашего века. Во многих других частях вторичного ареала тоже проявляется такая генетическая однородность.

Ботаники надеются использовать эту однородность в борьбе с водным гиацинтом. Одно время считалось, что имеет смысл интродуцировать в области его вторичного распространения ламантингов, которые бы интенсивно выедали сорняк. Этот способ был с успехом применен в Гвиане. Однако в других местах обнаружилось, что ламантинам не нравится вкус водного гиацинта, и они часто предпочитают ему другие растения.

ВТО ВРЕМЯ как программы сдерживания водного гиацинта не принесли желаемого результата, удалось добиться успеха в борьбе со вторым по значению в мире водным сорняком - сальвинией назойливой. Этот свободноплавающий папоротник столь мелок и хрупок, что может показаться удивительной его ярко выраженной склонностью к захвату новых местообитаний.

Как и водный гиацинт, сальвиния назойливая образует плавающие ковры толщиной около 1 м и распространяется по поверхности воды примерно так же. При благоприятных условиях ее биомасса удваивается всего за 2,2 суток - в 5 раз быстрее, чем у первого вида.

За последние 50 лет взрывообразное размножение сальвинии нанесло значительный ущерб социально-экономическому развитию ряда районов Африки, Азии и Австралии. Особенно мощно она разрослась в водохранилище Кариба на реке Замбези в Африке, где в период пика своей численности в 1962 г. покрывала площадь 1000 км² т. е. почти четверть общей поверхности этого в то время крупнейшего на планете водохранилища

(из-за чего растение получило неофициальное название «кариба»).

Нигде этот папоротник не нанес такого ущерба, как в пойме реки Сепик в Папуа - Новой Гвинее к северу от Австралии. Интродуцированный в начале 1970-х годов, он покрыл все озера в низменной части поймы, заняв 250 км² водной поверхности. Это поставило под угрозу жизнь 80 тыс. человек, для которых река служила источником пищи и средством сообщения.

До 1970-х гг. этот вид определялся как *Salvinia auriculata* родом из Южной Америки. В 1972 г. Д. Митчелл из CSIRO в Новом Южном Уэльсе установил происхождение одного из гербарных экземпляров *S. auriculata*. Оказалось, что его вместе с двумя другими представителями рода *Salvinia* собрали в 1941 г. в ботаническом саду Рио-де-Жанейро. Возникло подозрение, что водный сорняк является искусственно полученным гибридом - потомком двух произраставших в ботаническом саду родственных видов. То, что растение стерильно, казалось бы, подтверждало его гибридное происхождение.

Позднее Митчелл описал «кариба» как новый вид под названием *Salvinia molesta*. ~ *Numemmoesta*, что по-латыни значит «назойливая», указывает на агрессивный характер растения. В 1978 г. группа из CSIRO под руководством И. Форно и К. Харли, наконец, открыла исходный ареал этого вида на юго-востоке Бразилии, что поставило под сомнение гипотезу об искусственном гибридном происхождении *S. molesta*.

Хотя сейчас представляется маловероятным, что этот вид - результат гибридизации в ботаническом саду, характерная для сальвинии назойливой «гибридная сила», безусловно, остается одной из тайн ее в

высшей степени необычной биологии. Гибридные растения часто быстро растут и обычно стерильны, что свойственно и *S. molesta*. В противоположность водному гиацинту, способному к половому размножению, это растение воспроизводится только клонально.

Тот факт, что *S. molesta* размножается бесполом путем означает, что вся мировая популяция этого вида может быть представлена одним генетическим индивидом. Поскольку планету покрывают многие миллионы тонн его биомассы, с генетической точки зрения это получается самый крупный организм в мире.

Агрессивный характер сальвинии назойливой проявляется главным образом за пределами ее исходного ареала. Это характерно для большинства сорняков и вредителей. Растения и животные обычно населяют исходные биотопы с популяционной плотностью, соответствующей своей экологической функции в сбалансированном сообществе. А при интродукции в новые регионы они «ускользают» от пресса коэволюционировавших с ними конкурентов и хищников, в норме сдерживающего рост популяций. Отсутствие естественных врагов во вторичном ареале позволяет заносным популяциям быстро увеличиваться благодаря так называемому экологическому облегчению.

ЗНАНИЕ причин различного поведения видов в исходном и во вторичном ареалах привело к разработке новых способов подавления всплеск массового размножения сорняков и вредителей. Речь идет о биологических методах борьбы, обеспечивающих снижение численности популяций в результате запланированного выпуска в среду видоспецифичных естественных врагов.

Биологическая борьба с сальвинией назойливой началась вскоре после того, как был определен ее исходный ареал. При изучении природных местообитаний *Salvinia molesta* в Бразилии И. Форно, П. Рум и П. Томас из CSIRO в Квинсленде открыли новый вид долгоносика, питающийся исключительно этим растением (насекомое впоследствии назвали *Cyrtobagous salviniae*). Их работа пока является примером наиболее успешной биологической борьбы с водными сорняками.

Этого жука завезли в Австралию и выпустили у озера Мундарра, где он быстро уничтожил заросли сальвинии назойливой, покрывавшие 2 км² водной поверхности. Наиболее впечатляющий успех был достигнут в Папуа - Новой Гвинее, где с 1983 по 1985 г. площадь, занятая *S. molesta*, сократилась с примерно 250 до 2 км². Подсчитано, что долгоносик там выел 2 млн. т. биомассы сорняка всего за 2 года. Этот подход сейчас применяется в Индии и Намибии и здесь также дает быстрые положительные результаты.

Хотя биологическую борьбу нельзя

считать универсальным способом решения всех проблем, связанных с сорняками и вредителями, такие методы применимы и во многих других случаях зарастания водоемов. Дж. Бердон и Д. Маршалл из CSIRO в Канберре проанализировали 81 попытку биологической борьбы с 45 сорными видами. Они обнаружили корреляцию между эффективностью предпринятых мер и особенностями размножения сорняка. Виды, не способные к половому размножению, гораздо легче поддавались воздействию, чем воспроизводящиеся половым способом.

По-видимому, биологическая борьба приносит желаемый результат при ограниченной генетической изменчивости. Если это предположение верно, водный гиацинт и другие водные сорняки, размножающиеся в основном клонально, должны быть наиболее уязвимы для таких методов. Клональное размножение, позволяющее водному гиацинту и сальвинии назойливой господствовать в водоемах планеты, возможно, подскажет и путь к искоренению этих опасных захватчиков.

Наука и общество

Замороженные зверинцы

ПО ВСЕЙ видимости, в ближайшие 200 лет безвозвратно исчезнут 815 видов млекопитающих, если только не удастся разводить их в неволе. Успех подобного предприятия зависит от применения репродуктивной биотехнологии, позволяющей получать достаточно большое число особей, чтобы в результате интродукции их в дикую природу вид мог вновь занять свои экологические ниши.

Такие методы, как оплодотворение *in vitro*, создание запасов замороженных сперматозоидов и яйцеклеток, вынашивание и воспитание приемышей самками других видов сейчас в центре внимания, так как они дают надежду обойти серьезные трудности, которые стоят на пути программ естественного разведения животных.

Национальный зоологический парк в Вашингтоне (округ Колумбия), отмечающий в 1989 г. свое столетие, стал ведущим в этих исследованиях. Сотрудники Центра новых возможностей в здравоохранении животных при зоопарке реалистично смотрят на проблему. «Нет ни единого примера спасения вида от вымирания с помощью репродуктивной биотехнологии», - говорит Д. Вилдт, главный специалист по физиологии размножения в зоопарке. - «Меня беспокоит,

что люди начнут верить, будто эта технология уже нечто элементарное, в то время как она отнюдь не становится элементарной.»

В принципе искусственное осеменение и оплодотворение *in vitro* в сочетании с замораживанием половых клеток и эмбрионов могут частично снизить остроту двух проблем, из-за которых обречены все попытки увеличить численность очень малых популяций, каким грозит исчезновение. Одна из них - инбридинг, другая - обеднение генофонда популяции. Инбридинг умножает частоту генетических дефектов, приводя к сокращению продолжительности жизни и падению плодовитости; инбридинг также вносит свой вклад в обеднение генофонда, уменьшающее жизнеспособность вида. Эти явления могут быть смягчены при помощи замороженных в жидком азоте сперматозоидов и яйцеклеток животных из разных стран или из поколений, разделенных значительными промежутками времени. Эмбрионы можно хранить до тех пор, пока не найдется подходящая мать-реципиент. К. Эрл Поуп из зоопарка г. Цинциннати отмечает, что оплодотворение *in vitro* перспективно для видов, спаривание которых в неволе затруднено или опасно, например для крупных представителей семейства кошачьих.

Кроме того, если в исчезающем виде не хватает самок, в принципе можно имплантировать эмбрионы самкам близкородственных видов. В будущем, можно надеяться, удастся расширить спектр видов, особи которых могут использоваться в качестве приемных родителей. По мнению М. Шива из Национального зоопарка, практический опыт свидетельствует, что принимать потомство друг друга могут только скрещивающиеся между собой виды. Но эксперименты показали, что некоторые барьеры в межвидовом переносе эмбрионов, можно обойти путем трансплантации внутреннего слоя клеток раннего эмбриона в ткань, которая у особи другого вида дает начало плаценте.

Когда станет реальным получать животных путем искусственного размножения? Некоторые впечатляющие достижения в этой области уже есть. В зоопарке г. Сан-Диего из искусственно оплодотворенных яиц вылупились редкие китайские фазаны. В зоопарке г. Цинциннати теленок антилопы бонго родился от приемной матери, которой служила антилопа канна, а оплодотворенная *in vitro* яйцеклетка индийской пустынной кошки успешно развивалась в домашней кошке вплоть до конца беременности. Оба зоопарка в исследовательских целях, а также в надежде сохранить генетическое разнообразие создали банки половых и других клеток от десятков редких видов. Сотрудники Национального зоопарка добились появления на свет антилопы суни путем нехирургического переноса эмбриона; в настоящее время они создают банк эмбрионов.

Тем не менее на практике, как считает Вилдт, биология редких видов столь индивидуальна, что на методы искусственного воспроизведения можно положиться в очень немногих хорошо изученных случаях. Препятствий множество. Так, лишь малая часть замороженных клеток оказывается жизнеспособной после оттаивания; оптимальные условия замораживания и оттаивания эмбрионов варьируют даже между отдельными линиями одного и того же вида.

У экзотического вида проблемой может стать и установление временных параметров эстрального цикла, что необходимо для определения времени имплантации эмбриона или взятия яйцеклеток. «Виды чаще различны, чем схожи», - говорит эндокринолог Центра научных исследований и консервации Национального зоопарка С. Монфорт, который, в частности, изучает оленя-лиру (таменга), золотистого львиного тамарина и барана Далла.

Некоторых животных с высокой

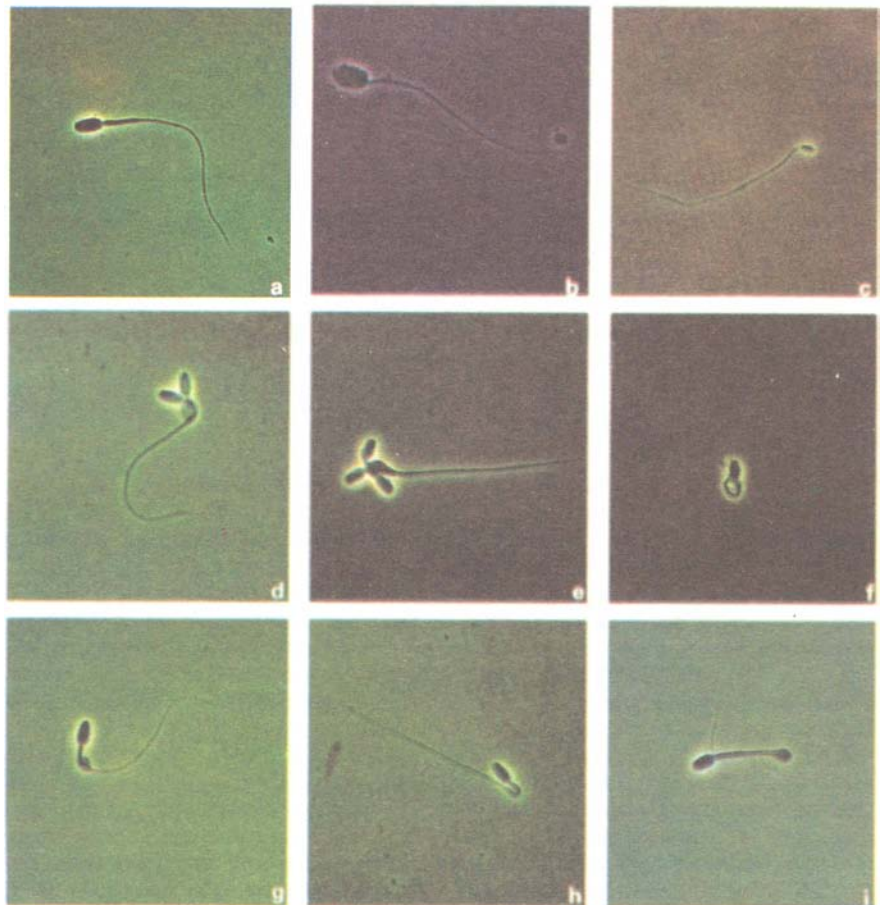
возбудимостью почти невозможно удержать в неподвижном состоянии (например, чтобы взять пробу крови) без травмы. Поэтому МонФорт и его коллеги разработали методы для определения содержания гормонов в моче и фекалиях. Но и эти ухищрения порой не дают нужных результатов. Для того чтобы получить информацию о репродуктивном цикле сахарского орикса, которому угрожает полное исчезновение (одной из целей является использование особей этого вида в качестве приемных родителей для еще более редкого орикса), пришлось сажать самок в одну клетку со стерилизованным путем вазэктомии самцом и наблюдать за их поведением.

Исследовательская программа Национального зоопарка отражает убеждение Вилдта, что из-за межвидовой вариабельности требуется гораздо более фундаментальный научный поиск, прежде чем методы искусственного разведения животных войдут в практику спасения редких видов. «Сложилось общее мнение, что крупнейшие зоопарки должны охарактеризовать несколько ключевых видов, которые будут использоваться для составления базы данных по основным вопросам биологии размножения. И тогда мы посмотрим, какие это дает возможности», - говорит Вилдт.

Эта стратегия основывается на надежде, что существует физиологическое сходство в пределах одного таксона, например среди всех кошачьих. В Национальном зоопарке и в зоопарке г. Цинциннати изучается размножение домашних кошек как модель воспроизводства остальных 36 видов семейства кошачьих, которым угрожает вымирание и которые страдают от частых дефектов спермы, обусловленных падением генетического разнообразия. В настоящее время уже удается замораживать и размораживать эмбрионы кошки, вводить их в организм самки и получать котят.

Этот опыт, по всей видимости, весьма ценный. Сотрудница Национального зоопарка А. Миллер недавно имплантировала тигриные эмбрионы, полученные путем оплодотворения *in vitro*, четырем тигрицам, которые сейчас, судя по всему, успешно их вынашивают. Миллер надеется использовать самок уссурийского и бенгальского тигров в качестве приемных матерей для еще более редкого суматрского тигра. Аналогичные исследования по оплодотворению *in vitro* на пумах позволили получать эмбрионы редкой флоридской пантеры. Сейчас яйцеклетки и сперматозоиды пантеры выделяют из экземпляров, погибших на автодорогах.

Другие виды тоже вносят свой



АНОМАЛЬНЫЕ СПЕРМАТОЗОИДЫ бенгальской карликовой кошки - иллюстрация проблем, угрожающих существованию большинства видов семейства кошачьих. Из них бенгальская кошка находится в менее опасном положении: у этого вида аномальны 40% сперматозоидов, тогда как у других видов - 60%. (Фотография Дж. Гейла Говарда.)

вклад. Дж-Г. Говард из Национального зоопарка изучает домашних хорьков с целью спасти находящегося в чрезвычайном положении американского (черноногого) хорька. Уже на этой стадии приходится преодолевать технические трудности. Очень не проста процедура замораживания спермы: здесь крайне важен оптимальный режим охлаждения и тип «криопротектора» (антифриза, применяемого, чтобы кристаллы льда не повреждали клетки), а их приходится варьировать от одного вида к другому. Говард потратила 3 года на разработку методики искусственного оплодотворения хорьков оттаявшей спермой путем хирургического вмешательства.

Однако никакие методы разведения животных в неволе не в силах обезопасить вид, если не осталось естественных местообитаний, куда можно было бы интродуцировать полученных особей. «Сохранение местообитаний - вот чем в первую очередь надо заниматься», - считает МонФорт. По мнению Вилдта, чтобы программы разведения в неволе были эф-

фективными для спасения исчезающих животных, нужны полевые исследования с целью раннего выявления видов, находящихся под угрозой, и изучения их в природных условиях.

Но в конечном счете все упирается в финансовое обеспечение, без которого случаи спасения видов будут так же редки, как флоридская пантера. Как отмечает Вилдт, чтобы реализовать потенциальные возможности методов искусственного разведения, «надо много денег, а люди этого не понимают». Искусственное оплодотворение и перенос эмбрионов вошли в практику скотоводства потому, что над проблемой работали сотни исследователей и в нее были вложены миллионы долларов. В противоположность этому работы по спасению видов во всем мире можно пересчитать по пальцам.

«Люди склонны думать, что репродуктивные технологии спасут мир, но это не так» - добавляет МонФорт. - «Мы намерены всего лишь сберечь небольшое число видов ... Если бы я отвечал хотя бы за один вид - это бы уже что-то значило».

Растровые Микроскопы с зондами-остриями

Имея зонд, острие которого порой не превышает размера одного атома, такие микроскопы позволяют исследовать поверхности с очень близкого расстояния и получить разрешение, недостижимое при использовании других микроскопов

Х. КУМАР УИ КРАМАСИ НГХ

В ЧИСЛЕ основных объектов рассмотрения современной науки и технологии имеются такие, размеры которых меньше длины волны видимого света. Биологи изучают отдельные молекулы белка или ДНК, материаловеды исследуют в кристаллах дефекты, имеющие атомные размеры, инженеры в области микроэлектроники создают схемы толщиной вплоть до нескольких десятков атомов. До недавнего времени этот мир миниатюрных объектов можно было изучать только с помощью трудоемких, подчас разрушающих исследуемый объект методов, таких как электронная микроскопия и рентгеновская дифракция. Этот мир лежал за пределами досягаемости таких простых приборов, как хорошо известный оптический микроскоп.

Семейство новых микроскопов открывает этот мир для непосредственного наблюдения. С их помощью можно получать изображения форм на атомном и молекулярном уровнях, картографировать распределения электрических, магнитных и механических свойств и даже температурные изменения - и все это с большим разрешением, чем когда-либо раньше. При использовании новых приборов отпадает необходимость модифицировать образец или подвергать его разрушающему воздействию высокоэнергетического облучения. Данное достижение представляется невероятным. Вспомним, что более 100 лет назад немецкий физик и изготовитель линз Эрнст Аббе описал фундаментальные ограничения, непреодолимые для любого микроскопа, в котором для фокусировки света или другого излучения используются линзы: дифракция скрывает детали меньшие, чем приблизительно половина длины волны излучения.

В новых микроскопах, типичным представителем которых является растровый туннельный микроскоп и за создание которого Джерд Бинниг и

Генрих Рорер из Исследовательской лаборатории ИВМ в Цюрихе были удостоены Нобелевской премии в 1986 г., ограничения, сформулированные Аббе, легко преодолеваются. Принцип, позволяющий это делать, был впервые описан в 1956 г. Сотрудник картографической службы вооруженных сил США ДЖ. О'Кифи предложил тогда конструкцию микроскопа, в котором свет должен был исходить из крошечного отверстия в непрозрачном экране и освещать объект, расположенный непосредственно у экрана. Свет, прошедший через образец или отраженный от него обратно в отверстие, должен был регистрироваться в процессе возвратно-поступательного сканирования образца. О'Кифи указал, что разрешение такого «растрового микроскопа ближнего поля» будет ограничено только размером отверстия, а не длиной волны света. В принципе такое устройство могло бы давать изображения со сверхразрешением - с деталями, меньшими чем половина длины волны.

О'Кифи понимал, что в то время не было технических устройств для позиционирования и перемещения объекта с необходимой точностью. Однако в 1972 г., работая с длинноволновым излучением, Э. Эш из Университетского колледжа в Лондоне использовал идею О'Кифи, чтобы преодолеть барьер Аббе. Он пропускал микроволновое излучение длиной волны 3 см через диафрагму размером с булавочное отверстие и одновременно осуществлял сканирование объекта перед этим отверстием; при этом производилась запись изображения с разрешением 150 мкм, равным одной двухсотой длины волны.

К этому времени стали появляться технические средства, позволяющие управлять положением образца и его перемещением с точностью, необходимой для того, чтобы превзойти разрешение обычного оптического микроскопа. В том же году, когда Эш

продемонстрировал возможности нового принципа, Р. Янг из Национального бюро стандартов сумел осуществить перемещение объектов в трех направлениях с точностью порядка 1 нм (миллиардной доли метра). Для этого он использовал пьезоэлектрики - керамические материалы, которые очень незначительно меняют свои размеры при изменении приложенного к ним электрического напряжения. Пьезоэлектрические управляющие устройства открыли путь к разработке в 1981 г. замечательной разновидности растрового микроскопа ближнего поля - растрового туннельного микроскопа, или РТМ (см. статью: Дж. Бинниг, Г. Рорер. Растровый туннельный микроскоп, «В мире науки», 1985, № 10).

В РТМ роль «отверстия» играет миниатюрный вольфрамовый зонд, кончик которого так заострен, что может представлять собой единственный атом и иметь размер в поперечнике, равный 0,2 нм. Пьезоэлектрические перемещающие устройства подводят кончик на расстояние 1-2 нм от поверхности исследуемого электропроводящего объекта - настолько близко, что электронные облака атома на кончике зонда и ближайшего к нему атома объекта перекрываются. Если между объектом и зондом создать небольшую разность потенциалов, электроны будут «туннелировать» через зазор, порождая слабый туннельный ток. Величина этого тока чрезвычайно чувствительна к ширине зазора; обычно она уменьшается в 10 раз при всяком увеличении зазора на 0,1 нм, что соответствует половине диаметра атома.

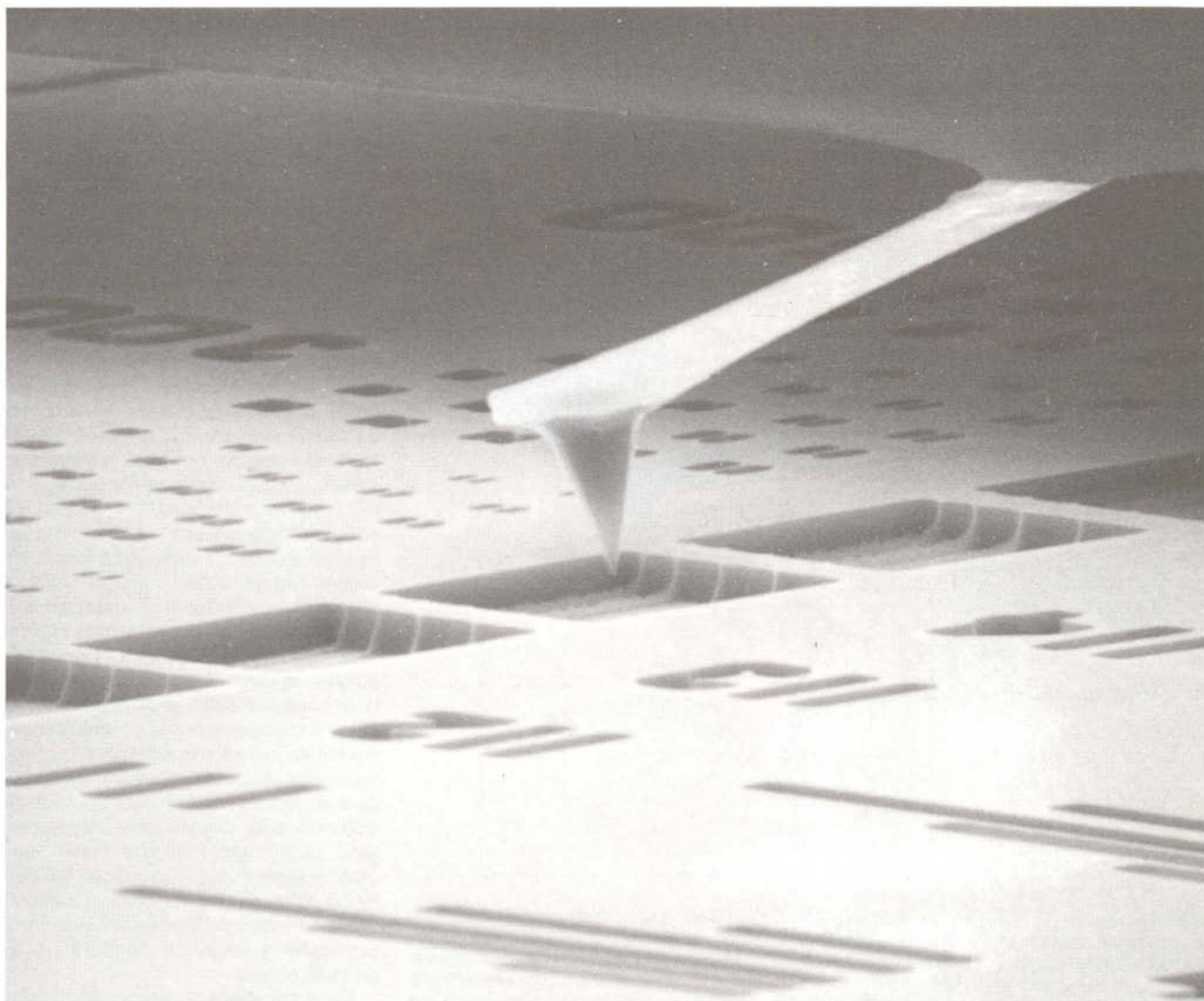
Пьезоэлектрические x- и y-манипуляторы (осуществляющие перемещение в двух направлениях на плоскости) перемещают зонд туда и обратно по поверхности образца, Формируя растр, параллельные строки которого

го отстоят друг от друга на доли нанометра. Если бы кончик зонда не повторял профиль поверхности, то туннельный ток менялся бы в очень широких пределах, увеличиваясь в те моменты, когда кончик зонда проходил бы над выпуклостями, такими как атомы на поверхности, и уменьшаясь до ничтожно малых значений при прохождении кончика над зазорами между атомами. Вместо этого зонд заставляет двигаться вверх и вниз в соответствии с рельефом поверхности. Механизм обратной связи улавливает изменения туннельного тока и изменяет напряжение, приложенное к третьему, z -манипулятору. Пьезоэлектрик, перемещающий зонд в направлении оси z , перпендикулярном поверхности, перемещает его так,

чтобы величина туннельного тока не менялась, а зазор между кончиком зонда микроскопа и поверхностью объекта поддерживался постоянным.

По вариациям напряжения на z -пьезоманипуляторе электронные устройства строят изображения поверхностного рельефа. Если в РТМ кончик зонда достаточно остр, а прецизионность манипуляторов и разверток раstra достаточно высока, то на изображениях могут быть видны отдельные атомы, диаметры которых составляют всего 0,2 нм. Изображения характеризуются сверхвысоким разрешением: квантовомеханическая длина волны туннелирующих электронов зонда («излучение», с помощью которого получается изображение) приблизительно равна 1 нм.

Такое изображение не является топографией в обычном смысле этого слова, а представляет собой вид поверхности, характеризуемой постоянной вероятностью туннелирования. На вероятность туннелирования влияет топография, а также изменения плотности и энергий электронов на поверхности. Если образец состоит из атомов лишь одного элемента периодической системы, вероятность туннелирования довольно точно отражает топографию, но «топография» образца, представляющего собой соединение из атомов разных элементов, может демонстрировать взаимовлияние атомов. Например, атом примеси, находящийся на однородной в других отношениях поверхности, может выглядеть на изображении как ано-



КРЕМНИЕВЫЙ ЗОНД лазерного силового микроскопа, поперечник острия которого имеет размер не более нескольких атомов, «парит» над поверхностью. Микроскоп, разработанный под руководством автора статьи, позволяет получить изображение поверхностного рельефа в результате сканирования поверхности вибрирующим зондом на вы-

соте нескольких нанометров (миллиардных долей метра) над ней, улавливая слабые силы притяжения со стороны поверхности. Растровое электронное изображение с увеличением в 1300 раз получено с помощью зонда, разработанного О. Уолтером в технологическом центре фирмы ИВМв Синдельфингене (ФРГ).

мальная яма или выпуклость в зависимости от электронных свойств этого атома.

УСПЕХ, достигнутый в области растровой туннельной микроскопии, вселил в исследователей уверенность в том, что с помощью пьезоэлектрических манипуляторов можно осуществлять сканирование вдоль поверхности образца с точностью, соответствующей размеру атома. С тех пор с помощью РТМ получены изображения структур поверхности образцов из множества различных веществ; РТМ был использован также в качестве инструмента, который мо-

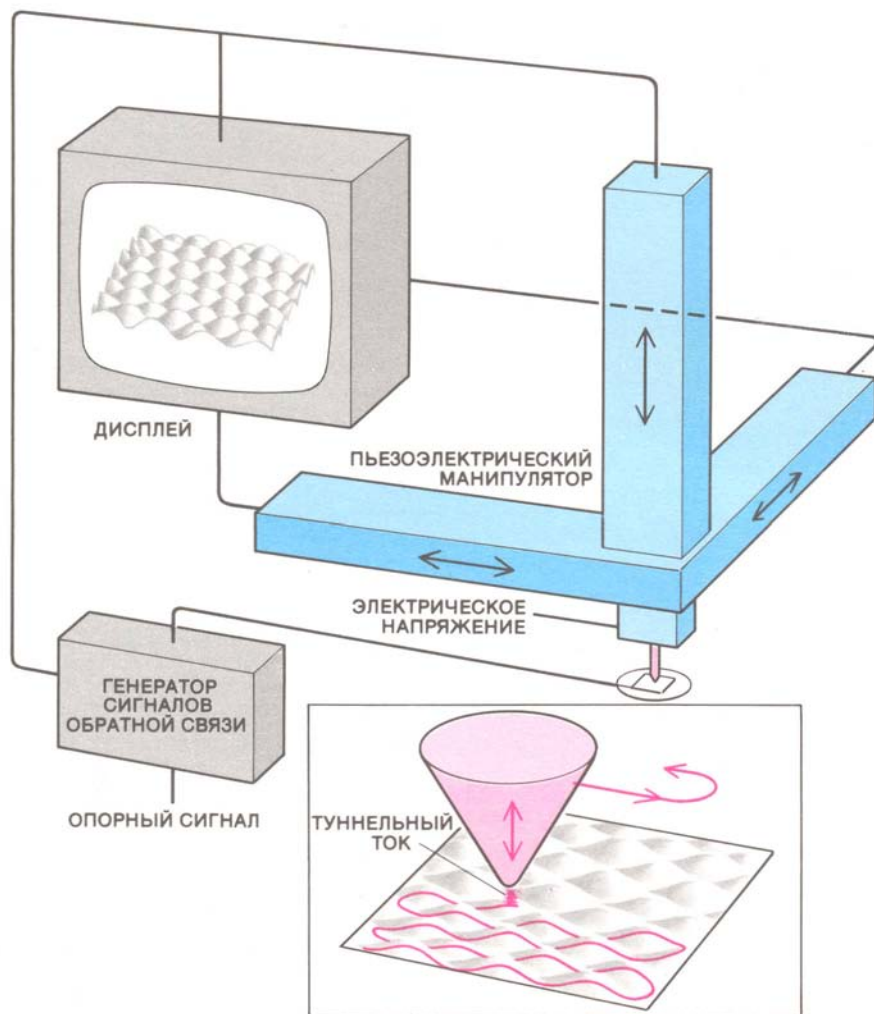
жет работать в нанометровом диапазоне: с помощью кончика острия можно очень точно прицелиться и приложить в нужном месте соответствующее напряжение и затем «рассечь» на части молекулу или исследовать ее электронные свойства. Кроме того, РТМ явился прототипом целого семейства растровых микроскопов с острийными зондами, имеющих сходный принцип действия. Необходимость в этом диктовалась прежде всего тем, что нужно было избавиться от одного из главных недостатков прототипа, область применения которого ограничивалась электропроводящими объектами. Даже

проводниковые или полупроводниковые материалы, такие как кремний, часто покрыты изолирующим слоем оксида. Биологические объекты также обычно не проводят ток, хотя будучи закрепленными на проводящей подложке и помещенными в электролит, они поддавались обследованию с помощью РТМ.

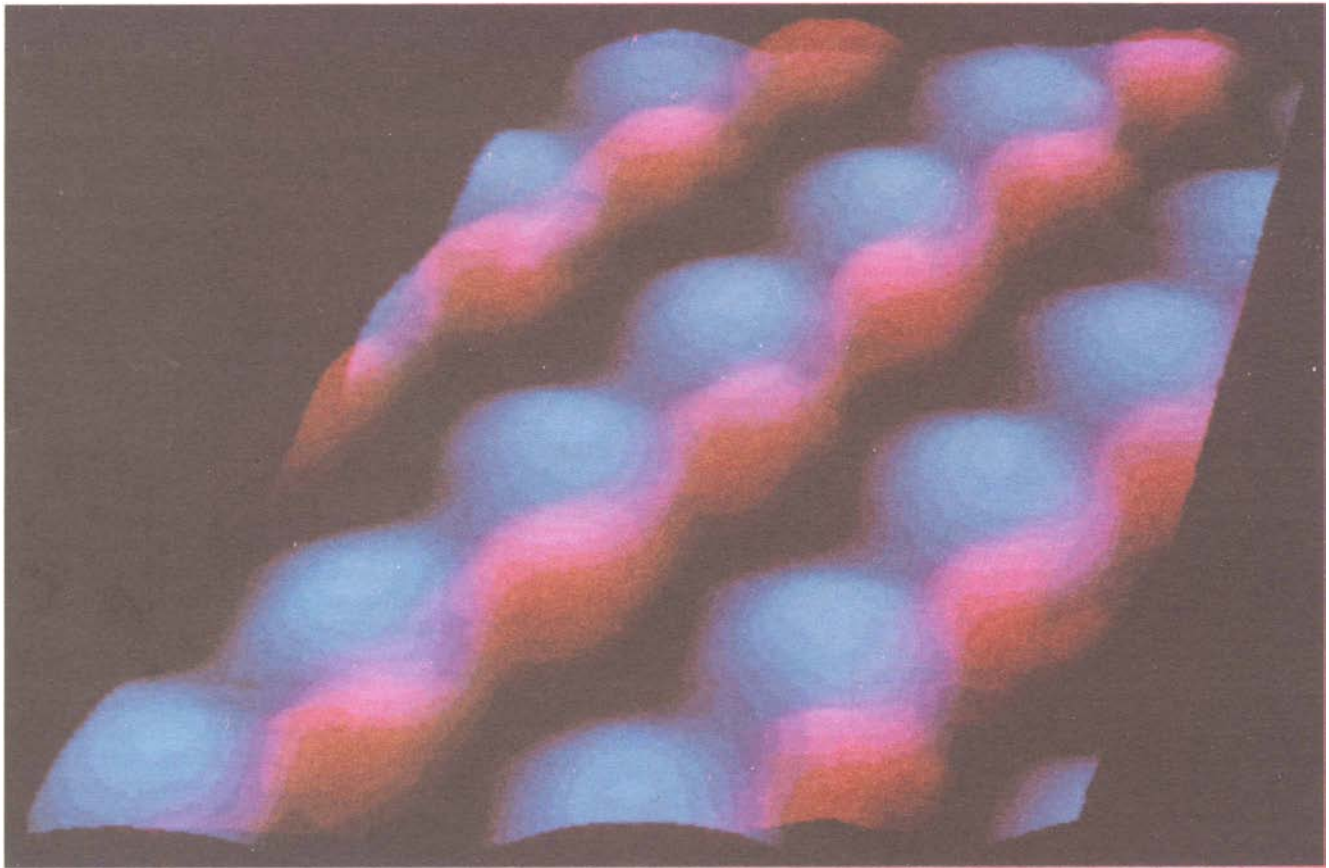
В 1985 г. Бинниг совместно с К. Куэйтом из Станфордского университета и К. Джербером из Исследовательского центра IBM в Цюрихе впервые создали атомно-силовой микроскоп (АСМ). Для этого растрового микроскопа не требуется, чтобы исследуемый образец был проводящим. Как и в РТМ, в этом микроскопе в растровом режиме над образцом перемещается крошечное острие - в данном случае заостренный до атомных размеров осколок алмаза, закрепленный на полоске из металлической фольги. Вместо туннельного тока в АСМ воспроизводятся силовые контуры, т. е. контуры сил отталкивания, возникающие при перекрытии электронного облака острия с электронными облаками атомов поверхности. В сущности острие, как игла фонографа, «считывает» рельеф поверхности. Фольга работает как пружина, прижимающая кончик острия к исследуемой поверхности. Двигаясь вверх и вниз, острие отслеживает мельчайшие (на атомном уровне) топографические особенности поверхности.

В первоначальной конструкции АСМ отклонение фольги измерял ось по величине туннельного тока, протекающего между фольгой и помещенным в непосредственной близости от нее кончиком острия РТМ. Механизм обратной связи реагировал на колебание величины туннельного тока, изменяя напряжение, приложенное к пьезоэлектрическому z -манипулятору, который соответственно поднимал или опускал образец. Таким образом, отклонение, а следовательно, и отталкивающая сила поддерживались постоянными; вариации напряжения на пьезоэлектрическом z -манипуляторе соответствовали топографии поверхности образца и служили основой для построения изображения, на котором можно было выявить отдельные атомы. Как и РТМ, АСМ обладал сверхвысоким разрешением, которое ограничивал ось только острой алмазной кончиком, а не длиной волны.

Хотя в принципе первые АСМ могли давать изображение поверхности образца любого непроводящего или проводящего вещества, давления алмазного острия (массой порядка миллионной доли грамма) было достаточно для того, чтобы исказить форму или сместить многие биологиче-



РАСТРОВОЙ ТУННЕЛЬНЫЙ МИКРОСКОП (РТМ) регистрирует атомарную структуру поверхности с помощью электронов, которые «туннелируют» через зазор между зондом и поверхностью. Пьезоэлектрический керамический преобразователь, размеры которого слегка меняются при изменении приложенного к нему напряжения, перемещает вольфрамовый зонд по трем координатным осям. Напряжение приложено к острию зонда. Кончик острия приближают к поверхности образца (который должен быть проводником или полупроводником) до тех пор, пока не возникнет туннельный ток. Затем острие начинает сканировать над поверхностью в растровом режиме. Туннельный ток стремится изменяться в соответствии с топографией исследуемой поверхности; механизм обратной связи регулирует перемещение острия вверх и вниз в соответствии с рельефом поверхности. В соответствии с перемещением острия строится изображение поверхности.



ИЗОБРАЖЕНИЕ АТОМОВ на поверхности полупроводникового образца арсенида галлия получено с помощью растрового туннельного микроскопа (РТМ). Оно состоит из двух рядов: атомы галлия (*синие*) и мышьяка (*красные*) имеют различные электронные свойства, и поэтому их изображения получали раздельно при разных условиях. При регистрации атомов галлия туннельный ток был направ-

лен к образцу от отрицательно заряженного острия; при регистрации атомов мышьяка кончик острия РТМ был заряжен положительно и направление тока было обратным. Изображение получено Р. Финстром в Исследовательском центре им. Т. Уотсона фирмы ИВМ в Йорктаун-Хейтсе (шт. Нью-Йорк).

ские молекулы. Недавно П. Хансма из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре совместно со своими коллегами снизил это давление в 10 раз. Один из факторов, который увеличивает давление острия, - это тонкая пленка воды и загрязнений, которые неизбежно собираются как на кончике острия, так и на образце. Когда острие сближается с поверхностью и загрязняющие пленки входят в соприкосновение, силы адгезии обуславливают взаимное притяжение острия и образца, увеличивая таким образом отслеживающее давление острия. Исследователи во главе с Хансмой исключили этот эффект, погрузив острие и образец в каплю воды.

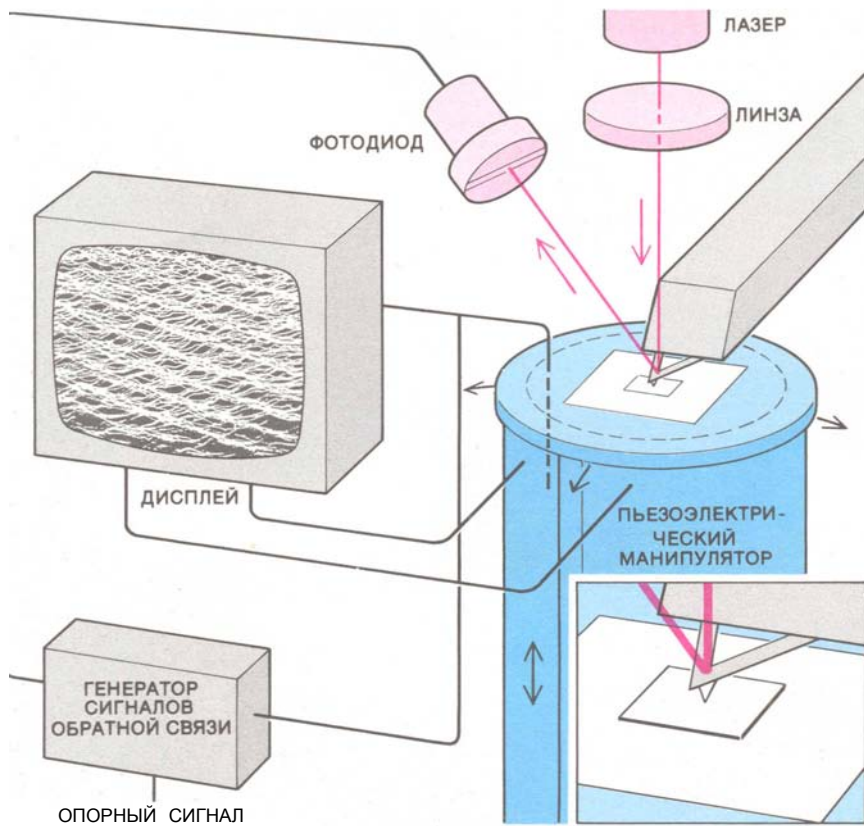
Упомянутая группа ученых заменила также механизм туннельного микроскопа новым средством детектирования отклонения острия, разработанным в Исследовательском центре им. Т. Уотсона фирмы ИВМ в Йорктаун-Хейтсе (шт. Нью-Йорк). Этим средством явился лазерный луч, который отражается от фольги. Из-за перемещения фольги смещается путь отраженного луча. Фотоячейка, раз-

мещенная на пути светового луча на некотором расстоянии от фольги, может обнаруживать очень слабые смещения последней. Сигнал от фотоячейки воздействует на Z-пьезоэлемент так, чтобы поддерживалось постоянное смещение острия по отношению к образцу. Оптическое чувствительное устройство обеспечивает более надежное измерение зазора, чем устройство на туннельном токе, и за счет этого оно делает прикосновение в АСМ более «мягким» и плотным. В результате этих усовершенствований Хансма с сотрудниками смогли получить изображения биологических веществ с деталями почти на атомном уровне. Они даже зарегистрировали изображения молекулярного процесса в его развитии - полимеризации белка фибрина, основного компонента свернувшейся крови.

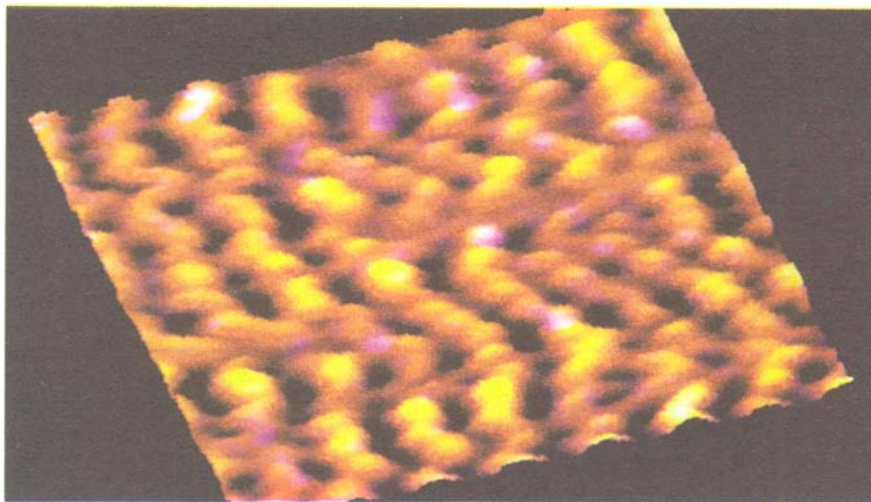
ВТО ВРЕМЯ, когда создавался атомно-силовой микроскоп, возглавляемая мною группа исследователей в технологическом исследовательском отделении ИВМ в Йорктаун-Хейтсе занималась поисками новых

способов проверки качества микронэлектронных изделий в процессе их изготовления. На пути к созданию более быстрых и более мощных компьютеров разработчики постоянно уменьшают размеры элементов схем и устройств памяти. Для поиска неисправностей в схемах необходимо разрешение по крайней мере в 10 раз лучшее, чем минимальный элемент схемы, а размеры элементов схем сами по себе уже приближаются к теоретическому пределу разрешения обычных оптических микроскопов, составляющему порядка 250 нм.

В течение некоторого времени растровый электронный микроскоп (РЭМ) был самым распространенным микроскопом, используемым в микроэлектронике: он может разрешать детали размером всего в несколько нанометров. Однако, для того чтобы использовать РЭМ, исследуемый образец необходимо покрывать металлом и помещать его в вакуум. Кроме того, РЭМ характеризуется плохим разрешением при построении трехмерного изображения, а используемые в нем электроны высокой



АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОП (АСМ) осуществляет сканирование образца с помощью осколочка алмаза, закрепленного на тонком металлическом держателе. Электронное облако острия алмаза (которое на конце может иметь всего один атом) оказывает давление на электронные облака отдельных атомов образца, порождая при этом отталкивающую силу, меняющуюся в соответствии с рельефом поверхности. Эта сила отклоняет кончик острия, перемещения которого регистрируются с помощью луча лазера, который отражается от верхней части держателя на фотодиодное чувствительное устройство. Механизм обратной связи реагирует на изменения оптического пути луча и воздействует на пьезоэлектрический преобразователь, регулирующий высоту, на которой находится образец, так что отклонение держателя зонда остается постоянным. В соответствии с перемещениями образца строится контур поверхности. В отличие от РТМ атомно-силовой микроскоп позволяет получать изображения поверхности диэлектрических образцов.



ПОЛИМЕРНЫЕ ЦЕПИ аминокислоты аланина придают поверхности предметного стекла микроскопа волнистый характер в тех местах, где произошло высыхание раствора, содержащего полимер. На этом изображении, полученном П. Хансмой в Калифорнийском университете в Санта-Барбаре с помощью АСМ, каждый бугорок представляет собой отдельную аминокислоту. Изображенный участок имеет ширину три нанометра.

энергии могут повредить или разрушить исследуемое полупроводниковое устройство. Все это снижает качество растрового электронного микроскопа в качестве устройства для контроля качества выпускаемой продукции. Казалось бы, что растровые микроскопы с остриями зондами - конструктивно простые приборы, позволяющие вести прямые наблюдения и обладающие большими возможностями, - должны удовлетворять существующие потребности.

Однако для РТМ требуется, чтобы образец был проводящим, а микроэлектронные устройства помимо проводников содержат полупроводники и диэлектрики. С помощью атомно-силового микроскопа можно получить изображения материалов с гораздо большим диапазоном свойств, однако даже усовершенствованные конструкции АСМ, обеспечивающие более «мягкий» контакт с исследуемым образцом, оказывают все же достаточно большое давление на последний, что может привести к загрязнению или повреждению чувствительных элементов схем. Учитывая это обстоятельство, мы разработали новое семейство растровых микроскопов с остриями зондами, которые позволяют получать профили электронных устройств независимо от их «состава» и не прикасаясь к их поверхности.

Основной среди них - микроскоп, Принцип действия которого основан на использовании сил, регистрируемых с помощью лазера, - лазерный силовой микроскоп (ЛСМ), изобретенный в сотрудничестве с И. Мартином и К. Уильямсом. «Сила», которую чувствует микроскоп, - это малая сила притяжения между исследуемой поверхностью и зондом, находящимся от нее на расстоянии от 2 до 20 нм. Это гораздо больший зазор, чем у РТМ или АСМ. В случае когда исследуемым материалом являются полупроводники и диэлектрики, сила возникает в основном из-за поверхностного натяжения воды, конденсирующейся между острием и образцом, но свой вклад вносит и взаимодействие Ван-дер-Ваальса (слабое обменное притяжение между атомами или молекулами).

Притягивающая сила очень мала - в 1000 раз меньше, чем межатомное отталкивание, регистрируемое в АСМ. ЛСМ регистрирует силу по ее воздействию на динамику вибрирующего зонда - заостренной вольфрамовой проволоочки длиной 0,5 мм, кончик которой загнут вниз и имеет диаметр не более 50 нм, полученный путем травления (Недавно были применены зонды из кремния с острием атомных размеров). Пьезоэлектрический преобразователь, сое-

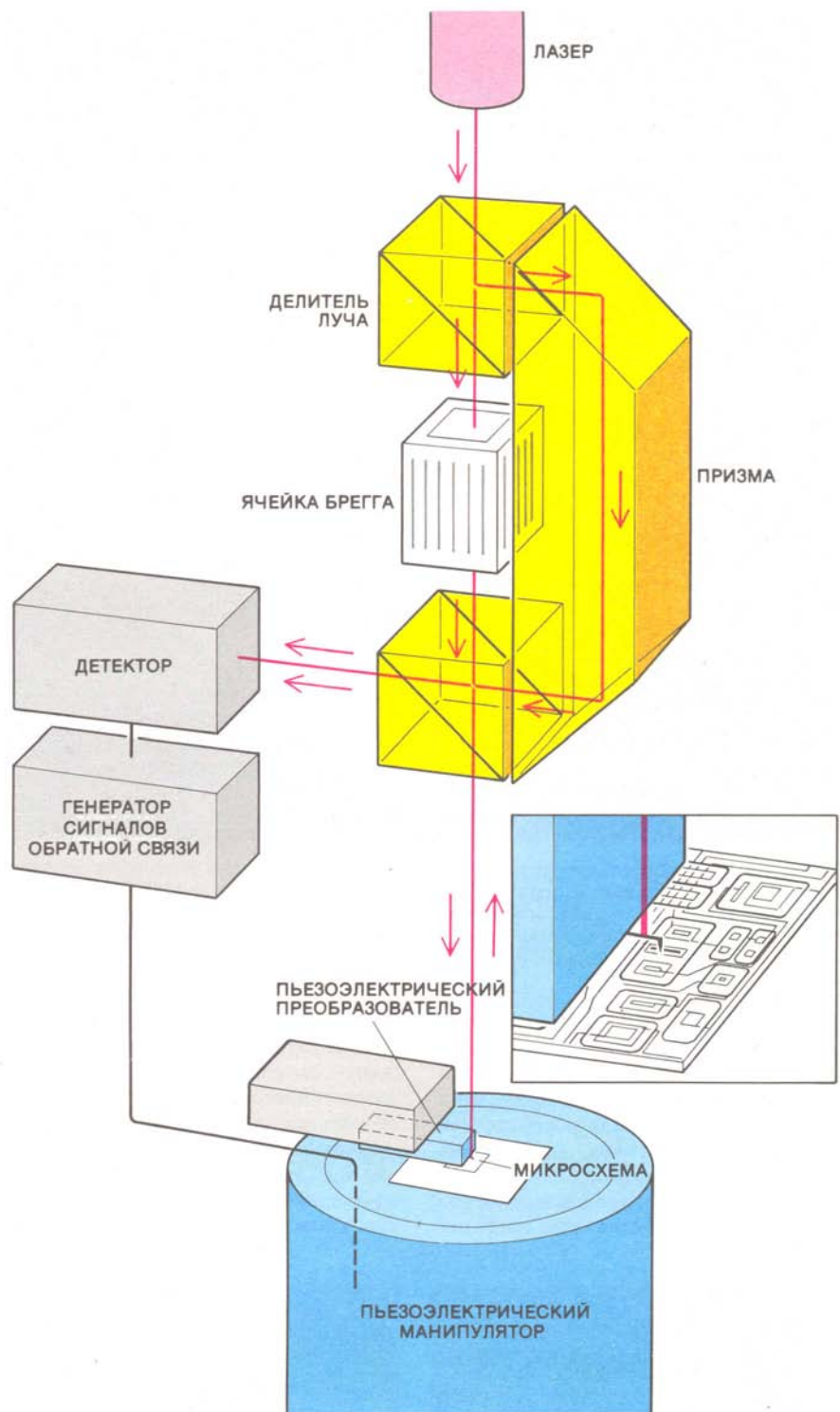
диненный с основанием проволочки, преобразует переменное напряжение в механическую вибрацию. Рабочая частота приложенного к преобразователю напряжения несколько выше наименьшей частоты механического резонанса проволочки (типичное значение - около 50 кГц).

Из-за того что проволочка вибрирует на частоте близкой к резонансной, как язычок в музыкальном инструменте, она усиливает вынужденные колебания. Кончик может совершать колебания в пределах 0,5 нм, тогда как преобразователь на другом конце проволочки совершает смещения всего на сотую долю нанометра. Однако, когда вибрирующий кончик приближается к образцу, слабые притягивающие силы, действие которых он испытывает, делают проволочку «мягче» - снижают частоту ее резонанса. Частота вынужденных колебаний теперь отстоит дальше от резонансной частоты, поэтому амплитуда колебаний уменьшается.

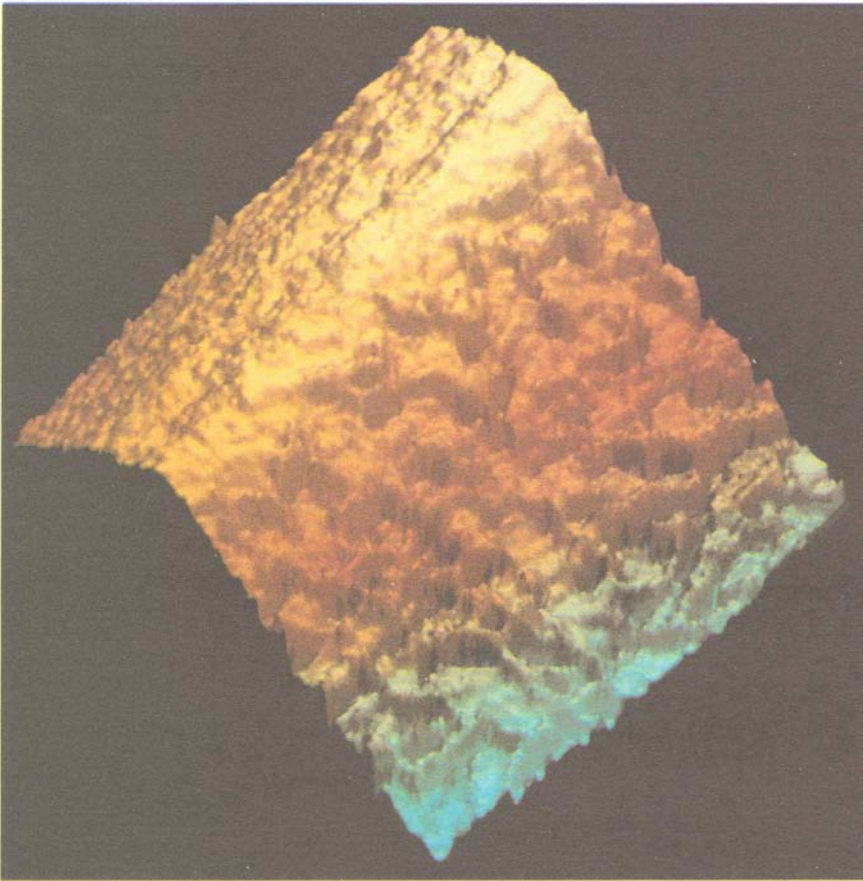
Сенсорное устройство на лазере измеряет изменение амплитуды. Для этого используется интерферометрическая аппаратура, широко применяемая, например, в астрономии и геофизике для точного измерения расстояний. Лазерный луч расщепляют на два: луч сравнения, который отражается от стационарного зеркала или призмы, и луч-зонд, отражаемый обратной стороной острия. Отраженные лучи смешивают и в результате их интерференции образуется луч, фаза которого чувствительна к изменению длины пути, пройденного лучом-зондом. С каждым колебанием острия фаза сдвигается назад и вперед; величина этого смещения характеризует амплитуду колебания острия. Таким образом интерферометр может детектировать столь малые изменения амплитуды как 10^{-5} нм.

Амплитуда стремится уменьшиться над возвышенностями топографической картины и увеличиться над углублениями. Как и в других растровых микроскопах с острийными зондами, механизм обратной связи реагирует на изменения в поведении острия, изменяя напряжение, приложенное к пьезоэлектрическому Z-манипулятору, с тем чтобы стабилизировать амплитуду вибрации, а следовательно, и зазор между зондом и поверхностью. Изменения напряжения на пьезоэлементе преобразуются в изображение профиля поверхности.

Рассмотренный принцип позволяет ЛСМ регистрировать малые неровности рельефа поверхности величиной в 5 нм (порядка 25 атомных слоев), а поскольку прибор чувствует топографию с расстояния, то он может обследовать особенности поверхности



ЛАЗЕРНЫЙ СИЛОВОЙ МИКРОСКОП регистрирует топографию поверхности образца (обычно это элемент микроэлектронной схемы) с помощью перемещаемого вдоль исследуемой поверхности вольфрамового или кремниевго зонда, находящегося над поверхностью на высоте нескольких нанометров. Острие вибрирует на частоте близкой к резонансной. Силы притяжения (силы Ван-дер-Ваальса) и силы поверхностного натяжения воды, конденсирующейся в зазоре между острием и образцом, притягивают острие зонда к образцу, вследствие чего его резонансная частота изменяется, что ведет к уменьшению амплитуды вибрации. Изменение величины сил, а следовательно и характера движения, выявляет рельеф поверхности. Лазерный зонд отслеживает движение острия с помощью луча, расщепленного на два. Один из лучей отражается с помощью неподвижной призмы, тогда как другой проходит через ячейку Брегга (устройство которое сдвигает частоту луча) и отражается от обратной стороны зонда. Два луча складываются и их интерференция порождает сигнал (на частоте ячейки Брегга), который измеряет амплитуду вибрации кончика острия.



БОРОЗДЫ нанометрового размера придают неровность одной стороне канавки шириной не более микрометра, вытравленной на поверхности кремния. П. Леви, работавший на фирме ИВМ в Йорктаун-Хейтсе, получил это изображение с помощью лазерного силового микроскопа, который позволяет получать профили как с низким, так и с высоким разрешением.

внутри глубоких узких расщелин. Не исключено, что данный микроскоп окажется полезным не только для обследования готовых микросхем, но и для контроля качества поверхностей кремниевых заготовок, на которых создаются микросхемы.

По мере того как детали микросхем «сжимаются» до нескольких сотен на-

нометров в ширину и десятков нанометров в толщину, поверхность подложки, которая отличается от идеально гладкой более чем на толщину нескольких атомов, может оказаться непригодной. Точно так же повышение плотности записи информации на магнитных дисках означает, что данные должны записываться и считываться

с меньшей площади и меньшими головками, перемещающимися на меньших расстояниях от дисков. Чтобы избежать соприкосновения, и диски, и головки должны быть настолько гладкими, что неровности на их поверхностях не могут превышать нескольких диаметров атомов.

РАЗНОВИДНОСТЬ ЛСМ магнитно-силовой микроскоп (МСМ) позволяет «разглядеть» реальные характеристики таких головок: точность их изготовления, а также однородность и напряженность создаваемого или магнитного поля. Вместо вольфрамового или кремниевоег острия в МСМ имеется намагниченный никелевый или железный зонд. Когда вибрирующий зонд подносится к исследуемому образцу - магнетику, на кончик острия воздействует сила, которая изменяет его резонансную частоту и, следовательно, амплитуду колебаний. МСМ позволяет исследовать магнитное поле, создаваемое записывающей головкой, с разрешением лучше 25 нм. С помощью этого устройства можно изучать структуру магнитных битов, посредством которых данные записываются на диски и другие носители путем непосредственного контроля качества самой головки и среды, в которой производится запись.

И. Мартин и Д. Абрахам при моем участии разработали другую модификацию лазерного силового микроскопа - специализированный электростатический силовой микроскоп, который в отличие от МСМ призван сыграть иную роль в процессе конструирования и изготовления микроэлектронных схем. В этом микроскопе вибрирующий зонд несет электрический заряд, а амплитуда его вибраций зависит от электростатических сил, возникающих в результате взаимодействия с зарядами на поверхности образ-



БИТЫ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ шириной 1-2 мкм выглядят как кратеры на изображениях, полученных с помощью магнитно-силового микроскопа, который снабжен зондом из намагниченного железа или никеля. Такой зонд делает микроскоп чувствительным к градиентам магнитных сил. Биты, с помощью которых записывают информацию на магнитных оптических дисках, были сформированы воздействием магнитного поля на диск; при этом остросфоку-

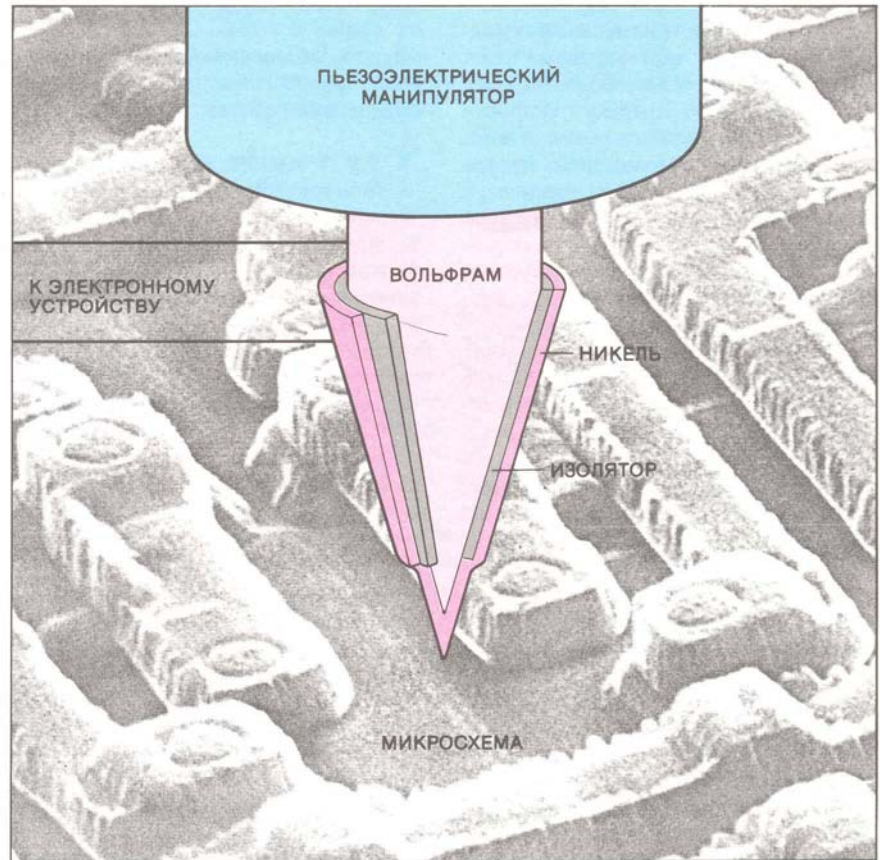
сированный лазерный луч нагревал поверхность, позволяя магнитным доменам на нагретом участке переориентироваться. На трех изображениях, полученных И. Мартином из ИВМ в Йорктаун-Хейтсе, сравниваются магнитные структуры нормального бита (*слева*) с битами, записанными при пониженной мощности лазера (*в середине*) и необычно слабым магнитным полем (*справа*).

ца. С помощью этого микроскопа можно картографировать электрические свойства микросхем с очень высоким разрешением.

Пусть например в кремний вводится небольшое количество атомов примеси (легирующая добавка), чтобы изменить его свойства; эти примесные атомы создают в кремнии либо свободные электроны, либо положительно заряженные дырки; и те и другие могут свободно перемещаться по кристаллической решетке. Распределение и концентрация легирующих атомов играет решающую роль в функционировании микросхем. Один из способов картографирования распределения этих легирующих атомов заключается в том, что к зазору между зондом электростатического силового микроскопа и исследуемой поверхностью прикладывается напряжение, которое смещает электроны проводимости или дырки под зондом, оставляя там заряженную область, электростатически взаимодействующую с острием. Последовательные перемещения острия зонда позволяют точно и с высоким разрешением измерить величину заряда, а следовательно, и количество смещенных электронов или дырок, соответствующее концентрации легирующих атомов.

МАГНИТНО-СИЛОВЫЕ микроскопы и электростатические силовые микроскопы - это два прибора из семейства растровых устройств с острыми зондами, которые были разработаны для картографирования не топографических, а иных свойств поверхности. Другим таким прибором является разработанный мною совместно с Уильямсом растровый термический микроскоп. Зонд этого микроскопа, пожалуй, является самым крошечным в мире термометром: он может измерять поверхностные изменения температуры в десяти тысячную долю градуса на длине несколько десятков нанометров. Зонд представляет собой вольфрамовую проволочку, заостренную до 30 нм в поперечнике. Проволочка покрывается вторым металлом - никелем, который отделен от вольфрама слоем изолятора везде, кроме самого кончика зонда. Вольфрамово-никелевый контакт работает как термопара, генерируя напряжение, пропорциональное его температуре.

Мы разработали растровый термический микроскоп на раннем этапе поиска путей профилирования микроэлектронных устройств еще до появления и АСМ, и ЛСМ. В ходе первых экспериментов в 1985 г. мы пришли к выводу, что этот микроскоп может действительно работать в качестве



ТЕРМИЧЕСКИЙ ЗОНД может регистрировать изменения температуры всего в десяти тысячную долю градуса на расстояниях несколько десятков нанометров. Зонд имеет вольфрамовую сердцевину, покрытую слоем диэлектрика от вольфрама везде, кроме самого кончика шириной 30 нм. Таким образом, контакт двух металлов образует термопару, на которой появляется напряжение пропорциональное температуре контакта. Прибор может записывать профиль рельефа поверхности, регистрируя изменение тепловых потерь нагретым зондом, сканирующим вдоль поверхности.

быстродействующего растрового прибора для картографирования профиля поверхности. Через кончик острия вначале пропускается прямой ток, чтобы нагреть зонд; когда энергетические потери в виде тепла, передаваемого воздуху, становятся равными энергии, поставляемой электрическим током, температура кончика стабилизируется - обычно на несколько градусов выше температуры окружающей среды.

Когда нагретый кончик зонда приближается к исследуемому образцу, который (поскольку он твердотельный) является значительно лучшим проводником тепла, чем воздух, тепловые потери кончика острия возрастают. Он охлаждается и по падению напряжения на термопаре можно измерить ширину зазора между кончиком зонда и образцом. На практике, для того чтобы снизить чувствительность системы к случайным флуктуациям температуры, мы заставляли кончик вибрировать с амплитудой меньше

1 нм на частоте около 1 кГц. Напряжение термопары падает каждый раз, когда кончик приближается к образцу, и увеличивается, когда он удаляется; амплитуда колебаний напряжения увеличивается, когда средняя величина зазора между вибрирующим острием и образцом уменьшается. Таким образом, потери тепла выявляют топографию исследуемой поверхности точно так же, как туннельный ток, силы межатомного отталкивания или силы притяжения Ван-дер-Ваальса выполняют ту же роль в других растровых микроскопах с острыми зондами.

Кончик термопары нельзя сделать значительно тоньше 30 нм, и это ограничивает разрешение контуров поверхности, получаемых с помощью растрового термического микроскопа. Изобретение лазерного силового микроскопа, обладающего значительно большим разрешением, высвободило термический зонд для применения в особых, специальных слу-

чаях. Он может быть применен для картографирования изменений температуры в живых клетках, давая ключ к разгадке картины метаболизма; с его помощью можно измерять скорость истечения очень слабых потоков жидкости или газа по изменению потерь тепла разогретого острия, вводимого в поток. С помощью термического зонда разрешение аналитической техники, называемой фототермической абсорбционной спектроскопией, становится беспрецедентно высоким.

Фототермическая абсорбционная спектроскопия базируется на свойстве специфических структур наиболее интенсивно поглощать свет на определенных частотах. В этом методе луч перестраиваемого лазера направляется на образец. Температура образца меняется по мере изменения частоты лазера; резкое увеличение температуры на определенной длине волны указывает на интенсивное поглощение. Полный набор длин волн поглощения может выявить состав образца. На основе использования термического зонда можно будет реализовать спектроскопический метод с высоким пространственным разрешением, что позволит производить картографирование мелкомасштабных изменений состава поверхности.

Сотрудникам возглавляемой мною исследовательской группы недавно удалось еще более увеличить пространственное разрешение этого метода - до уровня отдельных атомов. Для этого мы отказались от термометрического зонда и вернулись к ничем не покрытому вольфрамовому острию атомарного размера, которое используется в РТМ. Кончик острия выполняет роль одного из металлов термометрического перехода, а сам образец (если это металл) или металлический электрод, на котором он расположен, служит вторым элементом термодпары. Вначале прибор работает как туннельный микроскоп. Между кончиком острия и металлом создается разность потенциалов. Кончик острия перемещают в направлении к поверхности до тех пор, пока не начнет течь туннельный ток.

После этого ток выключают, а поверхность нагревают излучением перестраиваемого лазера. Крошечная термодпара, образованная нагретой поверхностью и зондом (который разогревается из-за близости к поверхности), генерирует напряжение, пропорциональное температуре. Эта температура в свою очередь показывает, какое количество энергии было поглощено атомом, над которым находится зонд.

Интенсивностью поглощения можно управлять, последовательно пере-

ходя на каждой длине волны лазера от атома к атому. Так при наличии метода, обеспечивающего самое высокое разрешение, решается задача определения состава образца.

НА ПРИМЕРЕ только этих разработок, произведенных недавно в возглавляемой мною лаборатории, можно представить, насколько универсален метод растровой микроскопии с острийными зондами. Однако имеются и другие разработки подобных микроскопов, сделанные в других лабораториях. Так, в Элмейденском исследовательском центре фирмы ИВМ в Сан-Джоузе (шт. Калифорния) группа специалистов во главе с Г. Мак-Клелландом модифицировала АСМ для измерения трения на атомарном уровне. Острие зонда этого микроскопа сканируют боком вдоль поверхности, а лазерный интерферометр одновременно измеряет отклонение держателя, сделанного из фольги. С помощью этого прибора удалось, например, измерить сопротивление, оказываемое атомными неровностями на поверхности графита. Есть надежда, что в дальнейшем можно будет определить и характер влияния трения, создаваемого отдельными атомами, на объемные свойства материалов.

В это же время Хансма с сотрудниками разработали растровый микроскоп на ионной проводимости, в котором сканирование образца осуществляет не металлическое или алмазное острие, а стеклянная микропипетка, содержащая крошечный электрод. Образец и пипетку погружают в ванночку с электролитом (скажем, в раствор соли) и устанавливают разность потенциалов между электродом в пипетке и другим электродом, находящимся в ванночке. Ток ионов стремится течь между электродами через отверстие в пипетке, но, когда пипетка приближается к поверхности образца, ток ослабевает. Когда сканирующая пипетка касается образца, который при этом перекрывает отверстие пипетки, ток совсем исчезает.

Поскольку микроскоп на ионной проводимости снабжен механизмом обратной связи, с помощью которого ионный ток, протекающий через отверстие, поддерживается постоянным, прибор способен выявлять профиль топографии поверхности. Размеры миниатюрной пипетки являются фактором, ограничивающим разрешение на уровне около 0,2 мкм (возможно, что в дальнейшем удастся достичь 10 нм). Поэтому данный прибор более чем какой-либо другой подходит для специальных применений - например, для изучения роли

электрического тока в поведении живых клеток. Когда клетка возбуждается, так называемые ионные каналы в ее мембране открываются и закрываются, позволяя протекать очень слабым токам ионов. Хансма надеется обнаружить отдельные ионные каналы и изучить их поведение, как только удастся улучшить разрешение микроскопа на ионных токах.

Другой микроскоп со сканирующей микропипеткой представляет собой не что иное, как возврат к исходным принципам растровой микроскопии ближнего поля. Три десятилетия назад О'Кифи сформулировал стратегию преодоления предела Аббе с тем, чтобы увеличить разрешение оптических микроскопов, но в то время отсутствовали технические средства, с помощью которых можно было осуществить сканирование образца с точностью до долей длины волны света. Средства, обеспечивающие перемещение зонда с точностью в нанометр, впервые были применены в растровом туннельном микроскопе и открыли путь к разработке оптического микроскопа сверхвысокого разрешения, возможность создания которого предвидел О'Кифи.

Две группы исследователей - одна под руководством Д. Поля в Исследовательском центре фирмы ИВМ в Цюрихе и другая, которой руководил М. Изааксон из Корнеллского университета, - создали растровые оптические микроскопы ближнего поля. В микроскопе одна сторона очень тонкого образца освещается, а микропипетка, стенки которой покрыты непрозрачной пленкой алюминия, осуществляет сканирование поверхности другой стороны. Фотодиод на верхнем конце пипетки измеряет интенсивность света на кончике пипетки. Таким образом удалось получить микроизображения в проходящем свете, разрешение которых (ограниченное диаметром пипетки) приблизительно составило 50 нм, что соответствовало примерно одной десятой длины волны. Более тонкие пипетки в конечном итоге могут позволить получить разрешение в 10 нм. По сравнению с разрешением лучших моделей обычных оптических микроскопов оно будет в 25 раз лучше.

Не претендуя на то, чтобы вытеснить оптическую микроскопию, техника сканирующих зондов обещает расширить ее возможности. Специалисты в области микроскопии сейчас готовы к тому, чтобы перенести усовершенствования, достигнутые за последние 100 лет - методы усиления контраста, получение особых световых эффектов, таких как поляризационный контраст, иммунофлюорес-

ценция и фазовый контраст, - в технику оптической микроскопии ближнего поля. Существующие растровые микроскопы с острейшими зондами позволяют нам с разрешением в несколько нанометров «увидеть» мир

молекул и микросхем. Будучи применена в совокупности со средствами оптической микроскопии, эта же техника, по-видимому, раскроет перед нами этот мир в привычных для нас свете, тени и цвете.

Используя данные спутниковых и наземных измерений и анализируя распределение ветра, ученые смогли проследить за перемещением от «дыры» крупных «полос» обедненного озона воздуха. Одна полоса пересекла южную часть Новой Зеландии и Австралии, другая задела южную часть Африки и Южную Америку. Как пишут авторы, проведенная ими «слежка» позволяет с уверенностью предположить, что именно обедненный озон воздуха из «дыры» частично объясняет рекордно низкий (на 70% ниже нормального) уровень озона над пятью крупными городами в Австралии, Новой Зеландии и на о. Тасмании.

Наука и общество

Внезапный приступ

ВОТ еще новость, вызывающая беспокойство: в самом начале развития сердечного заболевания, когда еще нет явных симптомов, риск умереть от внезапного сердечного приступа выше, чем на более поздних стадиях болезни.

В журнале «The New England Journal of Medicine» опубликовано сообщение, которое связывает этот поразительный, но печальный факт со сложной реакцией организма на сердечное заболевание. Обычно нарушения деятельности сердца начинаются, когда на внутренних стенках венечных артерий появляются так называемые атеросклеротические бляшки, из-за которых сужается просвет сосудов. В конце концов это приводит к ухудшению кровоснабжения сердца, называемому ишемией. Однако у многих людей по мере усугубления ишемической болезни коллатеральные артерии, питающие сердце кровью, увеличиваются в диаметре, что в некоторой степени компенсирует уменьшение емкости основных венечных артерий.

Больные на этой стадии обладают двумя преимуществами. Во-первых, болезнь легко выявить, например при помощи кардиограммы или на основании субъективных ощущений (характерных стенокардических болей в груди), и можно вовремя приступить к лечению. Во-вторых, если внезапно блокируется главная венечная артерия, то благодаря расширенности коллатеральных сосудов смягчается сердечный приступ.

И наоборот, когда ишемическая болезнь не зашла так далеко, чтобы расширился просвет коллатеральных артерий, опасность двойная: нет симптомов неблагополучия и соответственно нет повода прибегать к лечению. И если произойдет закупорка главной венечной артерии, то весьма вероятно, что последствия будут катастрофическими, поскольку коллатеральные сосуды не обеспечат компенсации. Вот почему при проверке населения на нарушения сердечной деятельности оказывается, что общая

смертность за определенный промежуток времени среди лиц без симптомов значительно больше, чем среди лиц с явными признаками ишемии сердца. Таково мнение авторов сообщения - С. Эпстайна, А. Скьюми и Р. Бонау из Национального института сердца, легких и крови в Бетезде (шт. Мэриленд). Они считают практически невозможным в отсутствие симптомов установить угрозу внезапного сердечного приступа, с тем чтобы заранее начать лечение. Риск можно снизить только путем профилактики: чтобы избежать сердечных заболеваний, следует вести здоровый образ жизни, в частности правильно питаться.

«Дыра» расползается

КАЖДЫЙ год в октябре над Антарктикой в озоновом слое стратосферы образуется «дыра» и нужно благодарить небо, что под этой прорехой размером с целый континент почти никто не живет. Однако проведенные недавно исследования, результаты которых были опубликованы в журнале «Nature», подтвердили подозрения, высказываемые некоторыми учеными: обедненный озон воздух уносится ветрами из озоновой дыры в декабре, когда она достигает наибольшего размера, и «разбавляет» озон над удаленными населенными районами. Исследователи опасаются, что такое разрежение озонового слоя может привести к увеличению интенсивности солнечного ультрафиолетового излучения, достигающего поверхности Земли, именно в те сезоны, когда люди принимают солнечные ванны, т. е. в разгар лета Южного полушария.

Р. Аткинсон из Австралийского метеорологического бюро, Р. Пламб из Массачусетского технологического института и их коллеги изучили процессы переноса воздуха в Южном полушарии в декабре 1987 г., спустя несколько месяцев после того, как над Антарктикой образовалась самая большая из известных озоновых дыр.

Расчеты П. Ньюмена, работающего в группе исследователей из Годдардовского центра космических полетов НАСА, показывают, что 7%-ное уменьшение содержания озона должно было привести к 14%-ному увеличению интенсивности солнечного ультрафиолета у поверхности Земли. Даже в течение всего одного месяца такой эффект должен быть «очень существенным». Таково мнение Дж. Лонгстрета из Clement Associates, консультативной фирмы по вопросам окружающей среды в Фэйрфаксе (шт. Виргиния). Лонгстрет предполагает, что в результате должно было возрасти облучение кожи загорающих, а следовательно, и вероятность возникновения меланомы - одного из агрессивных раковых заболеваний кожи. Фирма Sunsol, Inc., расположенная в Питтсбурге, намерена продать портативные детекторы ультрафиолетового излучения школам Австралии, чтобы учителя могли предупредить детей о необходимости оставаться дома в дни высокой интенсивности ультрафиолетового излучения.

В другой статье, опубликованной также в журнале «Nature», Д. Хоффман из Университета шт. Вайоминг и его коллеги сообщают о связи между утончением озонового слоя и полярными стратосферными облаками в Арктике (аналогичная связь наблюдается в Антарктике). Такие облака играют существенную роль в разрушении озонового слоя. Обычно в Арктике недостаточно холодно, чтобы эти облака образовывались в большом количестве, но в этом году температура в стратосфере Северного полушария была самой низкой за последние 25 лет. Снижение концентрации озона, зарегистрированное Хоффманом и его коллегами в январе (измерения выполнялись с помощью шаров-зондов, запущенных в северной части Швеции), оказалось небольшим по сравнению с тем, что наблюдалось в Антарктике: 3 и 50% соответственно.

Происхождение индоевропейских языков

Почти все европейские языки принадлежат к одной семье. По мнению автора, распространение этих языков было связано не с завоеваниями, как принято считать, а смирным процессом распространения земледелия

КАЛИН РЕН ФРЮ

ОДИН из самых спорных вопросов, стоящих перед историками и археологами, изучающими доисторический период, заключается в следующем: чем объяснить тот факт, что почти все европейские языки, многие из языков, на которых говорят народы Индии и Пакистана, а также некоторых других стран, поразительным образом связаны друг с другом. Уже более двух столетий известно, что «индоевропейские» языки связаны родственными отношениями, однако каким доисторическим процессом обусловлены эти связи? Как эти языки распространились на столь обширной территории? Как их распространение отразилось на развитии Европы? (Здесь следует иметь в виду и то, что в результате колониальной экспансии XVI - XIX вв. индоевропейские языки по степени своего распространения превзошли все другие.)

Согласно традиционному взгляду на распространение индоевропейских языков, их предшественником был так называемый праязык, на котором разговаривали кочующие на лошадях племена, жившие в самом начале бронзового века в западной части Северного Причерноморья (ныне территория СССР). Захватывая все новые земли, эти воинственные племена покоряли местное население и навязывали ему свой протоиндоевропейский язык. На протяжении многих последующих столетий он эволюционировал в известные нам теперь европейские языки.

Однако в последнее время многих ученых, в частности археологов, перестало удовлетворять такое объяснение. Я проанализировал доводы сторонников общепринятой точки зрения и нашел их неубедительными. В настоящей статье я предлагаю иной взгляд на происхождение и развитие индоевропейских языков, согласно которому распространение этих языков обходилось без завоеваний. На-

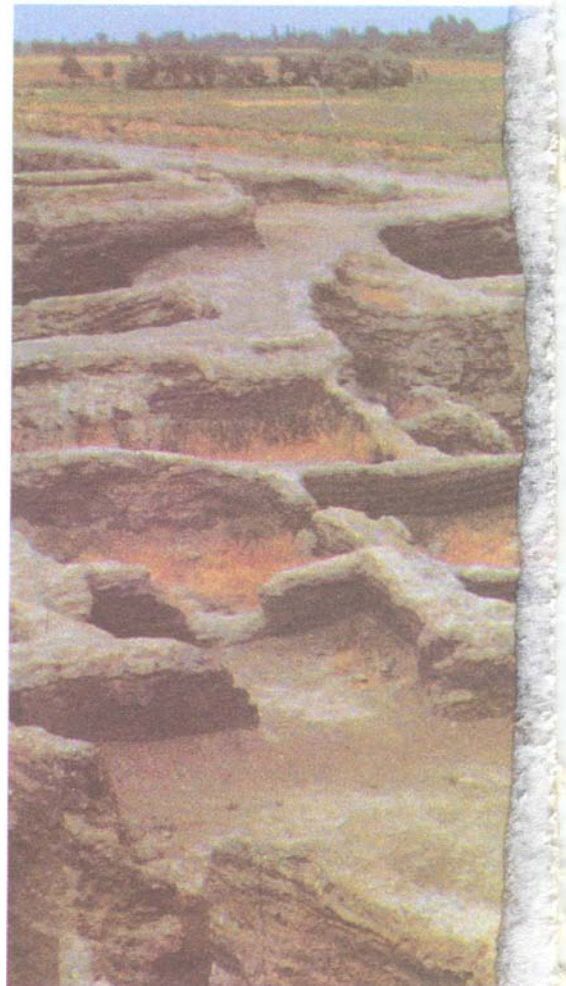
против, этот процесс, скорее всего, был мирным и связан с распространением земледелия и скотоводства с момента их возникновения в Анатолии и на Ближнем Востоке. Предлагаемое решение проблемы, существенно отличающееся от принятых взглядов, имеет глубокое значение для понимания доисторического периода развития европейских культур и лингвистических исследований индоевропейских языков.

ИСХОДНЫМИ в решении вопроса о происхождении индоевропейских языков являются не археологические, а лингвистические данные. Лингвисты, начинающие изучать европейские языки, быстро приходят к заключению, что это родственные языки. Общие черты проявляются в их словарном составе, грамматике и Фонологии (звуковых особенностях). Для иллюстрации словарных связей достаточно сравнить обозначения чисел от 1 до 10 в нескольких индоевропейских языках (см. таблицу на с. 75). Такое сравнение позволяет выявить значительное сходство между многими европейскими языками, а также санскритом - языком, на котором написаны древнейшие литературные тексты Индии. Одновременно становится очевидным, что такие языки, как китайский или японский, не относятся к этой языковой семье.

Более детальное сравнение позволяет лингвистам подразделить европейские языки на отдельные группы. Древнейшая семья романских языков, которые, как известно, восходят к латинскому языку, включает французский, итальянский, испанский, португальский и румынский языки. К славянским языкам относятся: русский, польский, чешский, словацкий, сербохорватский и болгарский, а к германским - немецкий, норвежский, датский и шведский. Эти группы, объединяющие наиболее близкие друг к другу языки, составляют более обшир-

ную семью индоевропейских языков. В эту семью не входят лишь несколько европейских языков, таких как венгерский, финский и баскский.

Как возникло столь сложное образование? Для ответа на этот вопрос впервые в качестве модели была взята



ЧАТААЛ-ХЮЮК - одно из древнейших земледельческих поселений на Центрально-Анатолийской равнине в

семья романских языков. Любому человеку, даже не знающему латыни, сходство этих языков позволило бы предположить, что у них был общий предок. Если допустить, что общие особенности этих языков обусловлены происхождением от одного источника, а различия между ними возникли позже, то появляется возможность восстановить многие особенности исходного протоязыка. Понятно, что таким образом могут быть исследованы ветви индоевропейской языковой семьи и построено гипотетическое генеалогическое древо, берущее начало от общего предка - протоиндоевропейского языка.

Этот подход, опирающийся на принцип родословного древа, был впервые предложен немецким филологом Августом Шлейхером в начале 1860-х годов. Он лег в основу тех построений, которые большинство лингвистов до сих пор используют при изучении развития языковых семей. Основной процесс в модели ро-

дословного древа - это расхождение: изоляция языков сопровождается возрастанием различий между ними, появлением диалектов и, наконец, самостоятельных языков.

Расхождение вовсе не единственная форма эволюции языков. Всего через 10 лет после того, как Шлейхер предложил свой метод, другим немецким лингвистом, Иоганнесом Шмидтом, была предложена «волновая» модель, согласно которой языковые изменения распространяются подобно волнам, которые в конечном счете приводят к сближению первоначально сильно отличавшихся друг от друга языков. В опубликованной в 1939 г. работе русского лингвиста Н.С. Трубецкого было высказано предположение, что общие черты, характерные для индоевропейских языков, обусловлены именно этим процессом. В наши дни, однако, большинство лингвистов не разделяют точку зрения Трубецкого и опираются в основном на модель родословного древа.

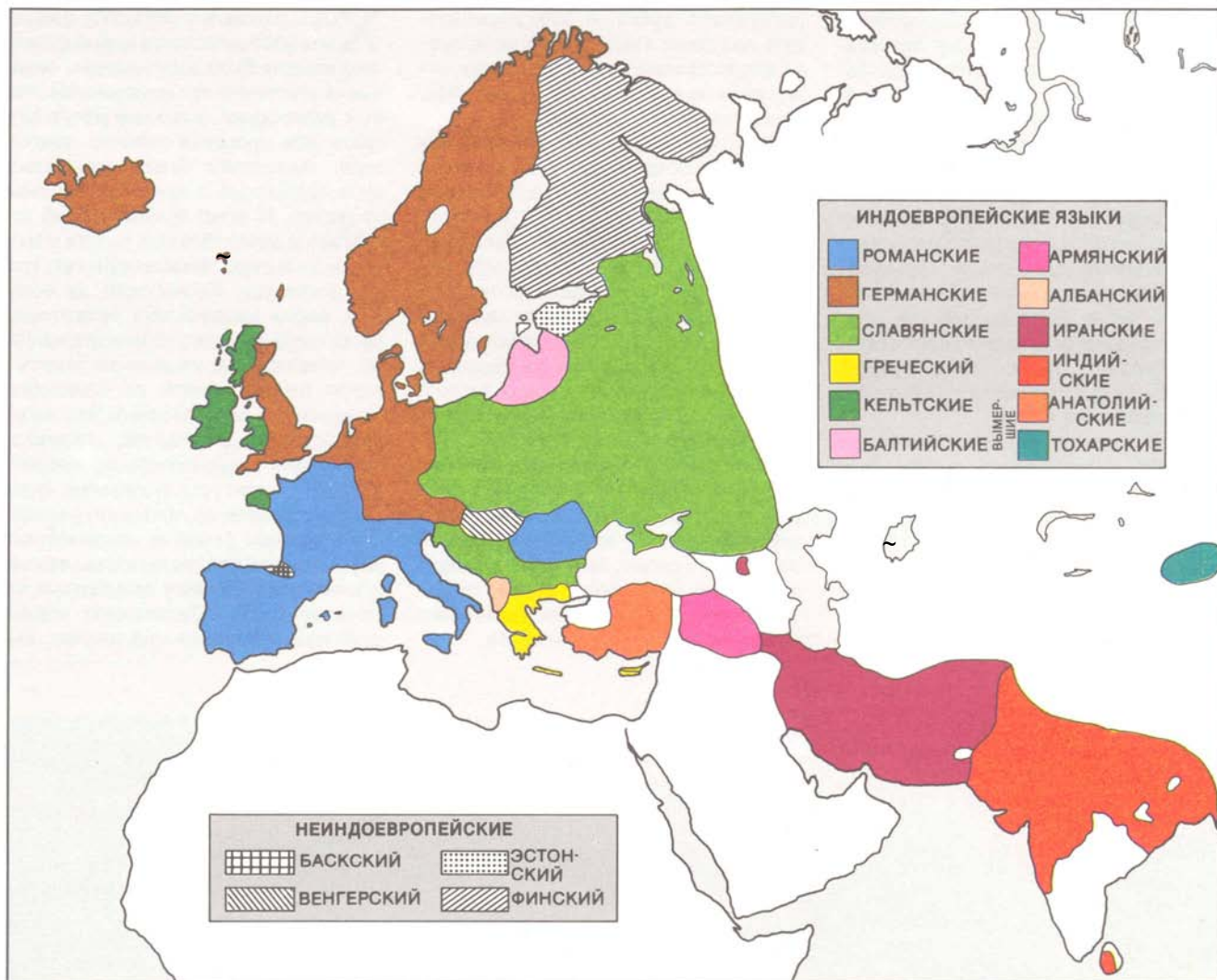
ХОТЯ основой в изучении проблемы происхождения индоевропейских языков была лингвистика, решение ее предполагает привлечение данных археологии, которые могут служить для проверки гипотез лингвистов. Археологи стали заниматься этой проблемой в начале нынешнего столетия. К тому времени были достигнуты значительные успехи в изучении культуры древних римлян, греков и кельтов. Кроме того, на большей части европейской территории были сделаны археологические находки, позволившие ученым заглянуть в глубь веков, вплоть до палеолита (древнего каменного века). Эти материальные свидетельства, казалось, открывали возможность проследить историю культуры носителей европейских языков до самых истоков.

На раннем этапе археологических исследований предполагалось, что наиболее существенные культурные изменения были обусловлены миграцией целых народов или племен. На-



Турции. Появление земледелия и скотоводства здесь, а также в соседних районах, относится примерно к 7 тысячелетию до н. э. Вскоре после этого новая форма хозяй-

ствования начала распространяться на север, в Европу. По мнению автора, этот процесс сопровождался распространением протоиндоевропейского языка.



ИНДОЕВРОПЕЙСКИЕ ЯЗЫКИ распространены от Ирландии до Индии. В эту семью входят почти все европейские

языки. Исключение составляют финно-угорская группа и язык басков, изолированный от всех других языков.

правления миграции, считали ученые, можно проследить по таким характерным предметам, как оружие, орудия труда и керамика, которые оставались на путях миграции. Предполагалось также, что специфический набор артефактов (то, что археологи обозначают общим понятием «культура») способен дать представление о том или ином племени и его языке. Тем самым пути миграции племен, установленные по археологическим данным, давали бы общую картину распространения ранних индоевропейских языков, а проблема в целом сводилась к нахождению «прародины» индоевропейцев и прослеживанию путей их миграции на основе археологических данных.

Результаты такого поиска, однако, оказались противоречивыми, а само обсуждение этого вопроса не всегда имело чисто научное значение. На протяжении большей части нашего

столетия немецкие ученые были склонны считать, что родина индоевропейцев находилась в Северной Европе. Некоторые работы этих ученых были использованы нацистами в их попытках доказать, что на изначальном индоевропейском языке разговаривала в Германии некая высшая раса «арийцев». Семитские же языки, образующие отдельную семью, приписывались низшей расе. Искаженные таким образом лингвистические и антропологические данные были использованы авторами той пресловутой теории, которая пыталась обосновать правомерность существования третьего рейха. Неудивительно поэтому, что в последующие годы ученые проявляли сдержанность в этой области или же вообще предпочитали не касаться ее.

В то же время следует отметить, что в научных кругах представление о северо-европейской родине индоевро-

пейцев не было доминирующим. В 1926 г. В. Гордон Чайлд из Королевского антропологического института в Лондоне опубликовал книгу «Арийцы», в которой родину индоевропейцев он помещал в степных районах Северного Причерноморья (ныне территория СССР) и относил ее ко времени между поздним неолитом и ранним бронзовым веком. Этот период хорошо идентифицирован в некоторых частях Европы и отнесен к третьему тысячелетию до н. э.

В своей книге Чайлд привел как археологические, так и лингвистические аргументы, причем последние были особенно убедительными. Автор опирался на успехи лингвистов в выявлении основного словарного состава, общего для многих индоевропейских языков. Этот основной словарный состав, как полагают, сохранился от протоязыка, на котором индоевропейцы разговаривали на своей праро-

дине. С помощью слов, обозначающих растения и животных, была составлена картина среды обитания ранних носителей протоязыка. Остальные слова были использованы для датировки Формирования этого языка. В основном словарном составе отсутствовали слова, обозначающие железо или бронзу, однако были слова «лошадь» и «колесо». Поэтому можно было сделать вывод о том, что первоначальное расселение индоевропейцев, должно быть, происходило до начала наступления бронзового века, но уже после одомашнивания лошадей и появления повозок.

ЧАЙЛД связал эти лингвистические представления с археологическими данными. Особое внимание он обратил на шнутовую керамику (керамические изделия, украшенные орнаментом из углубленных линий, которые получали вдавливанием веревки в сырую глину). Такие изделия часто находят на стоянках, датированных началом бронзового века. На севере и востоке Европы шнутовую керамику нередко находят вместе с каменными топорами в земляных холмах (в России их называют курганами), возвышавшихся над захоронениями знатных людей. По мнению Чайлда, все эти предметы представляют собой остатки предметов материальной культуры, принадлежавших группам скотоводов, которые кочевали на лошадях и были вооружены. В начале бронзового века началась миграция этих групп из Северного Причерноморья, где находилась их родина. Это-то и были индоевропейцы.

В последние годы это представление получило дальнейшее развитие в работах Марии Гимбутас из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе. Используя свидетельства, описанные Чайлдом, и подкрепляя их новейшими данными, она восстановила картину нескольких последовательных «курганных вторжений» на запад из районов Северного Причерноморья. В настоящее время такой взгляд широко принят в исторической лингвистике. Его разделяют также и многие археологи, которые теперь часто приводят свои археологические данные в соответствие с гипотезой о «курганных вторжениях». Однако, по-моему, этот взгляд отнюдь не безупречен.

Моя точка зрения основана на нескольких соображениях. Во-первых, археологические данные, относящиеся к этой проблеме, не выглядят убедительными. Сегодня многие археологи рассматривают захоронения со шнутовой керамикой как местное явление, для которого было характерно

помещение «престижных предметов» в могилы людей, принадлежавших кругу местной знати, уже обозначившемуся в то время. Не убедителен также и аргумент относительно слов, принадлежавших основному словарному составу. Значение некоторых из этих слов, обозначающих растения и животных, могло с течением времени измениться. В любом случае они не обязательно характерны для конкретного географического района. Вызывают сомнение и слова, служащие для датировки. Роберт Коулмен из Кембриджского университета высказывает сомнение в том, что слова, обозначающие «колесо» и «лошадь», были частью «протолексикона» до начала его распространения.

Вероятно, самым сильным возражением является то, что картина «курганных вторжений» неубедительна сама по себе. Действительно, почему вдруг орды конных воинов в конце неолита двинулись на запад, покоря обитателей Европы и навязывая им свой протоиндоевропейский язык? Что за невероятный «демографический взрыв» заставил степные народы сняться с места? И хотя указанная картина выглядит «ИЗЯЩНОЙ», она вряд ли может быть истинной.

Я полагаю, одна из основных проблем заключается в том, что недостаточное внимание уделяется следующему вопросу: каким образом изменения в языке могут быть действительно отражены в археологических данных. Как отмечалось выше, многие

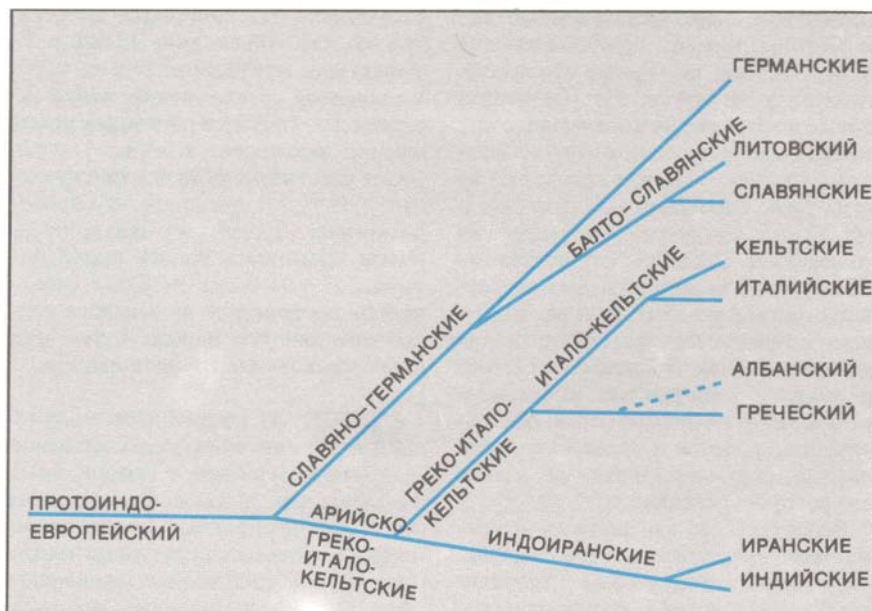
сторонники традиционных аргументов обычно относят данный набор артефактов к предположительно четко выделенной группе людей, например к племени. Однако в настоящее время именно археологи, которым приходится идентифицировать археологические культуры, признают, что проводимая ими корреляция с предполагаемыми племенами весьма проблематична. И тем более не будет сколь-нибудь достоверной дальнейшая корреляция данного народа с тем или иным языком или группой языков.

Я СЧИТАЮ, следует избегать соотносить какой-то стиль керамики, например шнутовой, с тем или иным народом или языком. Вместо этого внимание необходимо концентрировать на процессах культурной эволюции. Какие социальные, экономические и демографические процессы можно соотнести с изменениями языка? Найдя ответ на этот вопрос, можно затем выяснить, каким образом археологические данные отражают эти изменения. Однако, прежде чем обратиться к таким данным, необходимо построить убедительные модели того, как происходят языковые изменения.

Существует четыре основных класса таких моделей. Я рассмотрю здесь их лишь вкратце. Первый класс моделей основан на процессе первоначальной колонизации, в ходе которой люди заселяют необитаемую землю. Естественно, что на этой земле «ут-

| АНГЛИЙСКИЙ | ДРЕВНИЙ НЕМЕЦКИЙ | ЛАТИНСКИЙ | ГРЕЧЕСКИЙ | САНСКРИТ | ЯПОНСКИЙ |
|------------|------------------|-----------|-----------|----------|-----------|
| ONE | AINS | UNUS | HEIS | EKAS | HIITOTSU |
| TWO | TWAI | DUO | DUO | DVA | FUTATSU |
| THREE | THRIJA | TRES | TREIS | TRYAS | MITTSU |
| FOUR | FIDWOR | QUATTUOR | TETTARES | CATVARAS | YOTTSU |
| FIVE | FIMF | QUINQUE | PENTE | PANCA | ITSUTSU |
| SIX | SAIHS | SEX | HEKS | SAT | MUTTSU |
| SEVEN | SIBUM | SEPTEM | HEPTA | SAPTA | NANATSU |
| EIGHT | AHTAU | OCTO | OKTO | ASTA | YATTSU |
| NINE | NIUN | NOVEM | ENNEA | NAVA | KOKONOTSU |
| TEN | TAIHUM | DECEM | DEKA | DASA | TO |

СЛОВА, ОБОЗНАЧАЮЩИЕ ЧИСЛА ОТ 1 ДО 10, иллюстрируют связи между индоевропейскими языками и наряду с этим отличие от них японского языка, который не входит в эту семью. Общие черты индоевропейских языков стимулировали интерес к проблеме их происхождения.



ГЕНЕАЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ происхождения индоевропейских языков основана на их происхождении от общего корня - протоиндоевропейского языка. Схема была составлена в 1860-х годах немецким лингвистом Августом Шлейхером.

верждается» тот язык, на котором говорили пришельцы. Второй класс исходит из процессов расхождения языков, например в результате их разделения или изоляции, о чем я говорил выше в связи с ранними моделями происхождения индоевропейских языков. Третий класс моделей основан на процессах лингвистического схождения. В качестве одного из примеров можно привести волюновую модель, сформулированную Шмидтом в 1870-х годах, хотя, как я отмечал выше, модели схождения не получили широкой поддержки лингвистов.

Медленный и довольно статичный характер этих процессов осложняется еще одним фактором - языковым замещением. Этот фактор лежит в основе четвертого класса моделей. Во многих частях мира языки, на которых вначале говорило местное население, были полностью или частично вытеснены языками пришельцев. Не будь этого сложного фактора, лингвистическую историю мира можно было бы достоверно описать на основе первоначального расселения *Homo sapiens sapiens*, сопровождавшегося постепенными и длительными процессами расхождения и схождения языков.

На мой взгляд, языковое замещение должно играть ключевую роль в объяснении происхождения индоевропейских языков. Согласно археологическим данным, заселение Европы происходило непрерывно, начиная с самых ранних этапов древнего каменного века. Поэтому модель на основе

первоначальной колонизации вряд ли во многом прояснит интересующий нас вопрос. Невозможно объяснить сложный характер отношений между европейскими языками на основе одной лишь концепции расхождения языков. Предположение Трубецкого о языковой общности, обусловленной схождением языков, отвергается большинством исследователей. Как видим, необходима новая модель. Такой моделью может стать та, которая основана на процессе языкового замещения. Модель «курганного вторжения» соответствует концепции замещения, однако, как я уже говорил, эту модель нельзя считать полностью удовлетворительной. Каковы же другие возможности?

СУЩЕСТВУЕТ несколько способов замещения одного языка другим в конкретном регионе. Первый из них связан главным образом с демографическими и экономическими процессами. К моменту появления пришельцев население данного региона обычно уже имеет хорошо налаженную систему хозяйствования. Лежит ли в ее основе охота и собирательство или же земледелие, в любом случае она уже достаточно развита, чтобы удовлетворять собственные нужды. Если пришельцы хотят утвердиться в новом регионе мирным путем, их способы ведения хозяйства должны позволить им освоить другую экологическую нишу, или же успешно конкурировать с местным населением в одной экологической нише. Только в этом случае приток

мигрантов приведет к тому, что их язык станет преобладающим.

Возможны и другие пути замещения языка. Если группа переселенцев хорошо организована и обладает более совершенными военными средствами, она способна подчинить себе существующую социальную систему и утвердить свое господство силой оружия. В этом случае новая правящая элита может навязать свой собственный язык. Однако такое господство требует выполнения нескольких условий. Одно из них - наличие военного превосходства, а другое - достаточно высокая степень социальной организации как местного населения, так и завоевателей. Группа завоевателей и местное население должны быть хорошо организованными - первые для утверждения своего господства, вторые - для того чтобы «быть завоеванным» (поскольку в противном случае не может идти речи о завоевании).

«Курганное вторжение» могло бы послужить хорошим примером модели элитарного господства, если бы было доказано, что приведенные выше условия были выполнены. Однако это вряд ли возможно. Предполагаемое военное превосходство (передвижение на лошадях) «курганного завоевателя» представляется гипотетическим, поскольку факт существования в то время конницы не доказан. Пока не доказано и то, что завоеватели и жители Европы к началу бронзового века уже были достаточно хорошо социально организованы, чтобы был осуществлен процесс языкового замещения. Вполне вероятно, что сколько-нибудь заметное расслоение обществ произошло в Европе лишь с наступлением бронзового века, в предшествующий же неолитический период большинство обществ было, скорее всего, эгалитарным.

Следует, хотя бы вскользь, упомянуть еще о двух формах замещения. При распаде общества с высокой степенью централизации народы, которые ранее находились под властью этого общества, могли воспользоваться «вакуумом» власти и вторгнуться на территорию завоевателей, что и произошло с Римской империей на закате ее могущества. При этом язык вторгшихся «варваров» способен вытеснить язык имперского центра.

Нередко бывает и так, что при разрыве в эгалитарном обществе торговли с другими обществами, удаленными на большие расстояния, возникает смешанный, торговый язык. Примером может служить язык «пиджин» - упрощенный вариант перенесенного на данную территорию языка. Когда язык пиджин ста-

новится для части коренного населения родным, можно говорить о возникновении так называемого креольского языка (креолизация). В настоящее время такой тип замещения рассматривается как один из важных аспектов языкового развития.

Учитывая все эти формы языкового замещения - демографические изменения, элитарное господство, распад общества и появление смешанного языка - в истории (включая доисторический период) Европы, мы гораздо ближе подходим к поставленной цели. Для форм замещения, обусловленных элитарным господством и распадом общества, необходима определенная степень социальной организации, которая к началу бронзового века, вероятно, отсутствовала. И вряд ли какая-либо из европейских торговых систем была столь развитой в ту эпоху, чтобы мог появиться торговый язык. Таким образом, остаются демографическая и экономическая модели. При изучении древнейшей истории Европы обращает на себя внимание событие, широкие мас-

штабы и последствия которого представляют самым внимательным образом проанализировать вопрос в рамках именно экономической модели. Имеется в виду возникновение земледелия и скотоводства.

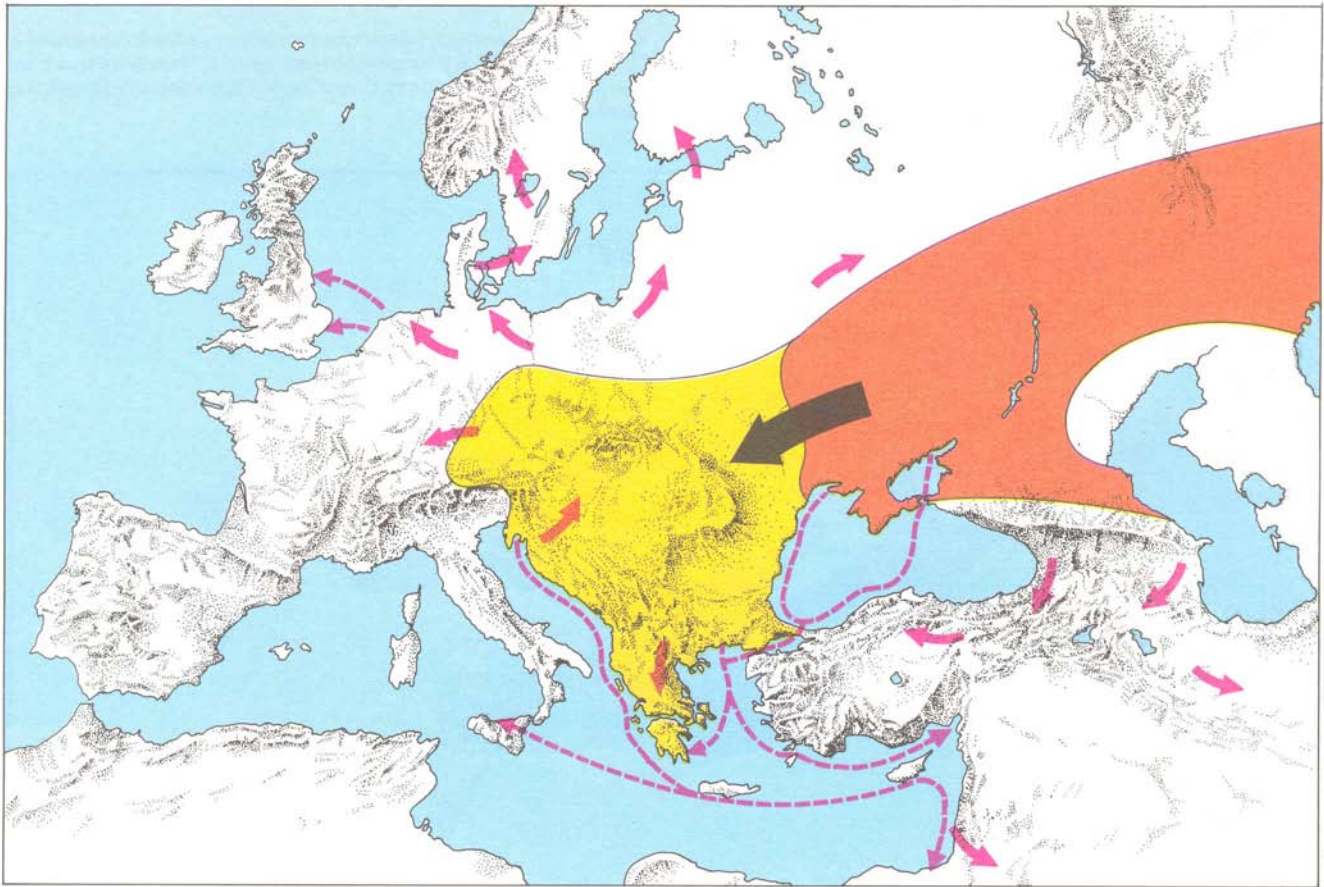
В СЕДЬМОМ тысячелетии до н. э. в Европе начала распространяться новая форма хозяйствования, основанная на выращивании пшеницы и ячменя, а также разведении баранов и коз. В диком состоянии эти животные отсутствовали в Европе, они были завезены в нее из других мест. Ближайшим к Европе регионом, в котором существовали дикие предки этих животных, является Центральная Анатолия, которая сейчас входит в состав Турции. Вообще же бараны и козы были, вероятно, одомашнены примерно в одно и то же время в нескольких частях Ближнего Востока, прилегающих к Европе, однако в нее они попали именно из Анатолии.

Каков был демографический характер этого процесса? Альберт Дж. Аммерман и Лука Л. Кавалли-

Сфорца из Станфордского университета предложили оригинальный ответ на этот вопрос в форме модели, которую они называли «волновое распространение». Согласно этой модели, распространение сельскохозяйственной экономики происходило путем «локальной» миграции земледельцев и их потомков.

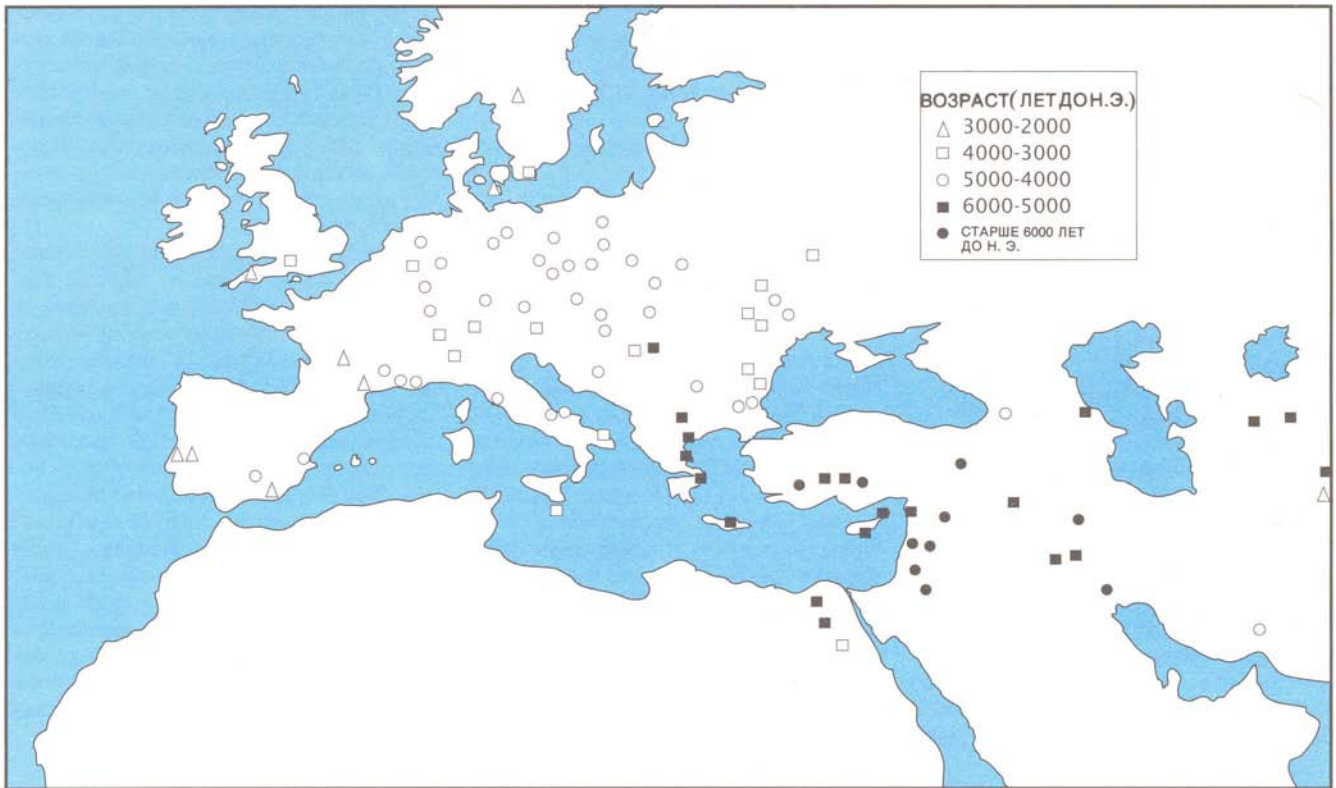
Появление земледелия и скотоводства в том или ином районе должно было неизбежно приводить к быстрому увеличению в этом районе плотности населения. По оценкам обоих исследователей, она могла возрасти в 50 раз. Ранее, в период охоты и собирательства, плотность населения составляла в среднем 1 человек на 10 кв. км. Фактор увеличения плотности населения является важнейшей особенностью рассматриваемой модели.

За одно поколение Аммерман и Кавалли-Сфорца приняли период в 25 лет. Далее они предположили, что по достижении определенного возраста молодой земледелец переселялся от родителей на новое место, удаленное на 18 км (в произвольном направ-



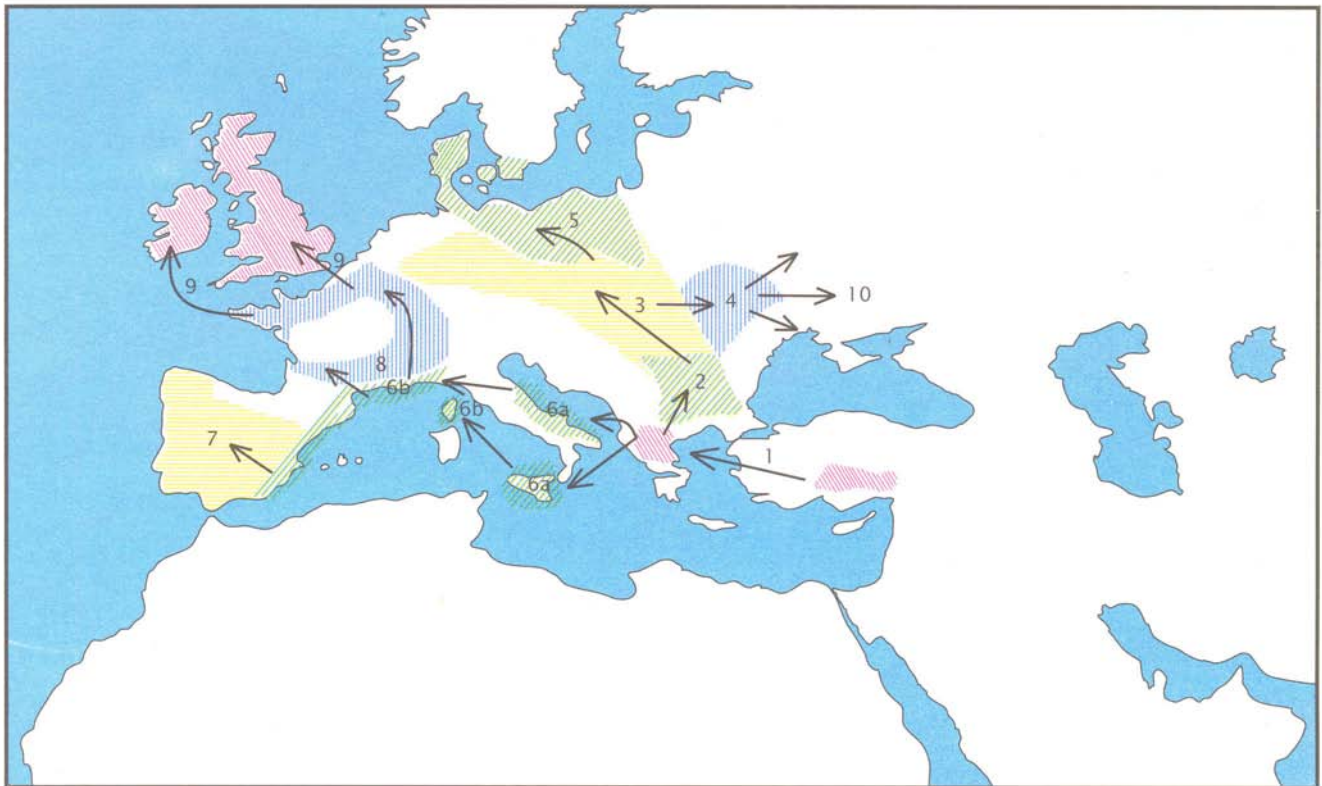
СОГЛАСНО ГИПОТЕЗЕ «КУРГАННЫХ ВТОРЖЕНИЙ», родной индоевропейцев было Северное Причерноморье (красный). Примерно в 4 тысячелетии до н. э. началось проникновение этих воинственных, кочующих на лошадях племен, в другие регионы. Эта карта составлена на основе рисунка, выполненного Марией Гимбутас из Калифорний-

ского университета в Лос-Анджелесе. Примерно в 3500 г. до н. э. первая волна вторжений достигла, согласно этой модели, Греции. Оттуда индоевропейцы распространялись на север и юг. Цветные стрелки показывают направление их передвижений в период после 2500 г. до н. э.



ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И СКОТОВОДСТВО, возникшие на Ближнем Востоке, распространились в Европе за время немногим более 2 тыс. лет. На карте отмечены места, где были найдены остатки зерновых культур, типичных для раннего зем-

леделия. Несколько раннеспелых культур было завезено в Грецию между 6 и 5 тысячелетием до н. э. Через 1000 лет такие культуры распространились на территориях Польши и Германии.



ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ языковых изменений, связанных с распространением земледелия и скотоводства. Первоначальное изменение (1) было обусловлено распространением ранней земледельческой культуры из Анатолии, роди-

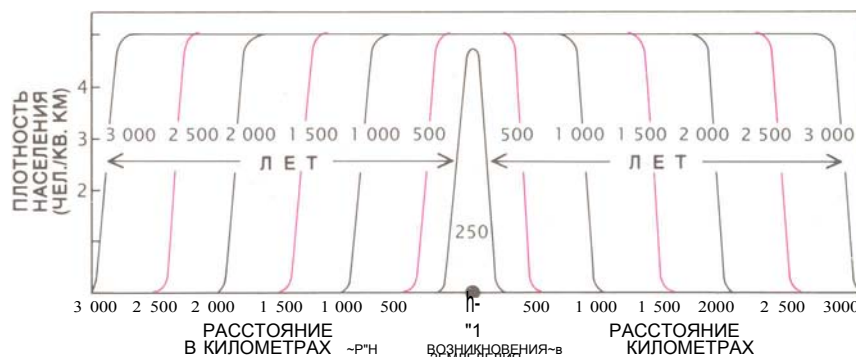
ны протоиндоевропейского языка, до Центральной Греции, где позднее появился предок греческого языка. Каждое последующее изменение, в свою очередь, приводило к формированию нового языка или языковой группы.

лении), чтобы вести там собственное хозяйство. Исходя из этих предположений, послуживших основой для расчетов, они показали, что новая форма хозяйствования - земледелие и скотоводство - волнообразно распространялась в Европе со средней скоростью 1 км в год. В соответствии с этой моделью примерно через 1500 лет земледельческая экономика из Анатолии достигла Северной Европы, что вполне согласуется с имеющимися археологическими данными.

НПОДЛЕЖИТ сомнению, что одна модель не способна адекватно описать столь сложный процесс, как распространение в Европе земледелия и скотоводства. Из-за неравномерности географических, климатических и других условий реальная картина будет существенно отличаться от модели. Кроме того, модель «волнового распространения» вовсе не является единственно возможной, на что указывают археолог Марек Звелебил из Шеффилдского университета (Великобритания) и его отец Камил Звелебил, лингвист чешского происхождения, который в настоящее время работает в Нидерландах. Например, если местное население, занимавшееся охотой и собирательством, перенимало земледелие и скотоводство от своих соседей, то эта форма хозяйствования должна была распространяться несколько медленнее и без языкового замещения, поскольку земледелием и скотоводством занималось бы местное население, перешедшее к новой экономике, а не пришельцы со своим собственным, новым для данной территории, языком.

В действительности, скорее всего, имело место взаимодействие обоих этих процессов. Земледелие вполне могло быть принесено переселенцами в Грецию, а оттуда на Балканы, в Центральную Европу и Южную Италию. Однако в других регионах его могло освоить и местное население, чем, возможно, объясняется устойчивое существование в этих регионах нескольких неиндоевропейских языков. Один из них - язык басков, сохранившийся до наших дней, а другой - этрусков в Центральной Италии, на котором говорили вплоть до возникновения Римской империи. Аналогичным образом можно объяснить существование и некоторых других языков, в том числе иберийского, на котором первоначально говорили в Испании, а также языка пиктов, докельтского языка в Шотландии.

Каковы бы ни были особенности распространения земледелия и скотоводства в тех или иных районах Европы, в целом рассматриваемый процесс, в отличие от традиционной кар-



МОДЕЛЬ «ВОЛНОВОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ», сформулированная Альбертом Дж. Аммерманом и Лукой Л. Кавалли-Сфорца из Станфордского университета, отражает влияние земледелия на плотность населения. Эта форма хозяйствования способна поддерживать гораздо более высокую плотность населения в данном регионе, чем охота и собирательство. После утверждения там земледелия даже незначительные перемещения людей на новые земли приводят к «волнообразному» распространению новой формы хозяйствования на другие территории. Кривые показывают изменения плотности населения по мере удаления от района возникновения земледелия.

тины появления в Европе индоевропейских языков, характеризуется своей последовательностью. Соответствующая этому процессу картина распространения индоевропейских языков значительно отличается от старых представлений. Согласно этой картине, иммигранты пришли не из степных районов, а из Анатолии примерно за 6,5 тыс. лет до н. э., т. е. на несколько тысячелетий раньше, чем считалось прежде. Моя гипотеза также подразумевает, что первые индоевропейцы были не вооруженными завоевателями, принадлежавшими обществу с высоким уровнем централизации, а земледельцами, чьи общества были в основном эгалитарными и которые в пределах жизни каждого поколения перемещались от своих земель не более чем на несколько километров.

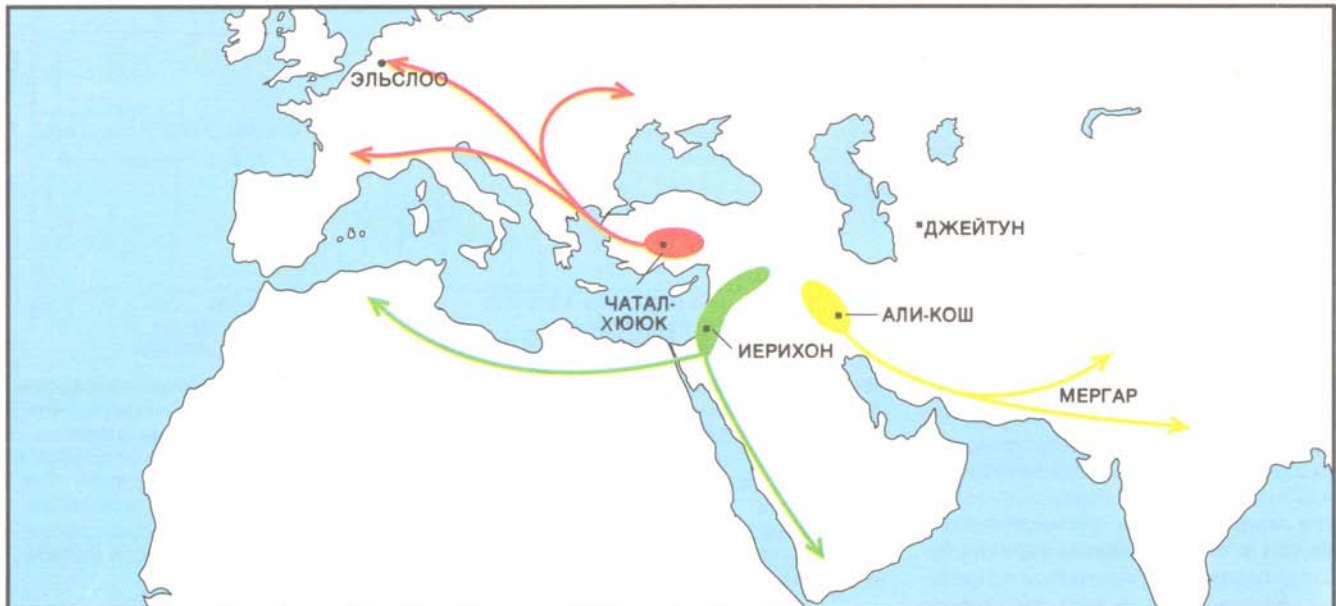
ИЗ ЭТОЙ гипотезы вытекают некоторые важные следствия относительно доисторического периода в истории степных районов России и Европы в целом. Действительно, в отличие от картины Чайлда и Гимбутас, моя модель изменяет направление влияния между степными районами и Западной Европой на противоположное. Согласно этой модели, земледелие и первоначальный индоевропейский язык достигли степных земель с запада, а не наоборот. Это подтверждается результатами археологических исследований первых поселений земледельцев на Украине. Найденные там культуры пшеницы и ячменя почти наверняка имеют западное происхождение; видимо, они распространились с Балкан, куда в свою очередь попали из Греции через Анатолию. Таким образом, первые носители протоиндоевропейского языка разговаривали в степных районах, ве-

роятно, на языке анатолийского происхождения, который, до того, как достигнуть Северного Причерноморья, уже распространился в Греции и на Балканах.

В более широком смысле если появление индоевропейского языка в Европе отодвигается вплоть до 6,5 тыс. лет до н. э., то весь доисторический период в истории Европы приобретает гораздо более последовательный и непрерывный характер. Исчезает внезапный «разрыв» в начале бронзового века, якобы обусловленный «приходом индоевропейцев», о чем говорится во многих учебниках древнейшей истории. То же самое относится и к железному веку, «разрыв» в котором, как нередко считали, был обусловлен приходом в Северную Европу кельтов. Их язык должен был развиваться в западной части Европы на индоевропейской основе. Кроме того, люди, воздвигнувшие мегалитические памятники в Стоунхендже и других местах Европы, пришли не откуда-то со стороны (а затем будто бы были уничтожены индоевропейцами), а сами были индоевропейцами и говорили на разновидности индоевропейского языка, являющейся предком современных кельтских языков.

В свете этих идей весь доисторический период в истории Европы может быть представлен как последовательная цепь изменений и эволюционной адаптации общей протоиндоевропейской основы с некоторыми неиндоевропейскими «включениями». В основе этой картины лежит не миграция народов извне, а сложная цепь взаимодействий в самой Европе, которая уже была в основном земледельческой по экономике и индоевропейской по языку.

До сих пор в своем анализе я ограничивался Европой, хотя представле-



РАЙОН ВОЗНИКНОВЕНИЯ земледелия имеет три «очага», каждый из которых мог быть местом зарождения большой языковой семьи. Анатолийский «очаг» (Чатал-Хююк) был, возможно, колыбелью индоевропейских языков. Второй «очаг» (Иерихон) мог быть родиной языков Египта и Северной Африки, а третий (Али-Кош) — родиной группы языков в Индии и Пакистане, позже вытесненных языками индо-

европейской группы. Эльслоо, Джейтун и Мергар — места раннего земледелия на этих трех великих путях распространения новой формы хозяйствования. Хотя обозначенные на карте пути распространения языков являются гипотетическими, они подтверждены новейшими лингвистическими и генетическими данными.

ние о том, что распространение языка связано с распространением земледелия и скотоводства, относится и к другим регионам далеко за ее пределами. Согласно археологическим свидетельствам, Анатолия была не единственным районом, где рано возникла новая форма хозяйствования. Область зарождения этой формы имела по меньшей мере два достаточно автономных других «очага». К ним относятся: Левант, полоса побережья Средиземного моря шириной 50-100 км в районе современных Иордании, Ливана, Сирии и Израиля, и область Загрос в Ираке и Иране.

МОДЕЛЬ «волнового распространения» основана, главным образом, на способности земледелия приводить к увеличению плотности населения, поэтому можно ожидать, что, утвердившись в каком-либо районе, эта форма хозяйствования должна порождать волну расселения, направленную вовне, как это было в Европе. Если взять Левант, то географические особенности этого района обуславливают движение такой волны на юг, в направлении Аравийского полуострова, и запад, к северной Африке. В случае же Загроса волновое движение, вернее всего, должно было распространяться на юго-восток и восток — в Азию.

Все больше данных свидетельствует о том, что земледелие и скотовод-

ство пришли в районы Африки севернее Сахары вскоре после его появления в Европе. Думаю, что их распространение в Африке сопровождалось расселением людей, подобно тому как это происходило в Европе. Каков лингвистический аспект этого процесса? На большей части Северной Африки преобладает афроазиатская группа языков, в которую входят древнеегипетский и берберские языки, а также семитская группа. Однако возможно, что все эти языки восходят к протоафроазиатским корням в левантском «очаге» зарождения земледелия и скотоводства.

Что касается Загроса, то можно предположить, что земледельческая экономика распространилась из этого «очага» на восток через Южный Иран вплоть до Пакистана. В этой связи интересно отметить, что по новейшим данным Дэвида Макальпина, лингвиста из Лондонского университета, язык древнего государства Элам (сейчас это часть Хузистана в Юго-Западном Иране) связан с дравидскими языками Индии. Возможно, что волна распространения в юго-восточном направлении донесла предка эламского языка, а также дравидские языки до Индии и Пакистана. Позднее протодравидский язык мог быть вытеснен индоевропейскими языками, на которых сейчас говорят в Индии.

Этот несколько расширенный вариант модели «волнового распростра-

нения» позволяет расположить места возникновения исходных языков индоевропейской, афроазиатской и дравидских групп достаточно близко друг от друга на карте Ближнего Востока и датировать их приблизительно десятым тысячелетием до н. э. Несмотря на гипотетичность такой картины, она тем не менее подтверждается результатами последних работ в области лингвистики и генетики.

Более 20 лет назад советские лингвисты Владислав Иллич-Свитыч и Арон Долгопольский высказали предположение, что несколько евразийских языковых семей, в том числе индоевропейская, афроазиатская и дравидская, относятся к единой «сверхсемье», которую они назвали ностратической. Возможность признания таких семей, что могло бы быть подлинным прорывом в лингвистике, пока считается спорной. Дело еще и в том, что работы этих двух советских ученых лишь сейчас становятся известными на Западе. Примечательно, что и они считают Анатолию родиной протоиндоевропейского языка, а поскольку при построении своей модели я не был знаком с их точкой зрения, то такое совпадение просто поразительно.

Наши общие представления подтверждаются некоторыми новыми генетическими данными, полученными исследовательскими группами Кавалли-Сфорца и Аллана Уилсона

из Калифорнийского университета в Беркли. Каждая из них использовала статистические методы для анализа групп крови представителей ныне живущих народов с тем, чтобы установить их генетическое сходство. Исследователи пришли к заключению, что существуют тесные генетические связи между людьми, говорящими на афроазиатских, индоевропейских и дравидских языках. Таким образом, эти данные согласуются с ностратической гипотезой и, возможно, с точкой зрения, согласно которой появление земледелия и скотоводства тесно связано с образованием и распространением современных языков.

Что касается разработки рассматриваемой проблемы в глобальном масштабе, то очевидно, что возможность достоверного описания отдельных языков и языковых групп вплоть до десятого тысячелетия до н. э. может в конечном счете способствовать лучшему пониманию языкового разнообразия на Земле. Большинство современных ученых считают, что значительные лингвистические способности человеческих сообществ связаны с появлением *Homo sapiens sapiens*, анатомически современной формы нашего вида. Новые находки, сделанные в Израиле и ЮАР, свиде-

тельствуют о том, что переход к *Homo sapiens sapiens* произошел примерно 100 тыс. лет назад. Вероятно, вскоре после этого люди расселились из Африки по огромным пространствам Земли. Биологическая эволюция и расселение людей являются теми факторами, которые лежат в основе разнообразия человеческих языков и их особенностей.

Было бы неправильным считать, что здесь сказано последнее слово. Хотя я завершил рассмотрение проблемы глобальными соображениями, начал я с довольно ограниченной задачи - критики общепринятых объяснений происхождения индоевропейских языков. Справедливость моего предположения об их происхождении в древней Анатолии подтверждают в определенной степени недавние лингвистические и генетические исследования. Окончательная картина, несомненно, будет более сложной, чем та, которую я нарисовал, включив в нее несколько исторических эпизодов и ряд теоретических моделей. И тем не менее я предвижу, что с углублением знаний в этой области процесс распространения земледелия и скотоводства из Анатолии в Европу окажется важной частью будущей общей картины.

Беркли, это может быть следствием того, что обеспеченные женщины больше обращают внимание на свои недомогания и чаще обращаются к врачу, чем малоимущие, которые порой не делают этого даже в случае необходимости. По мнению С. Вулфа из Исследовательской группы общественного здравоохранения, представляющей интересы потребителей, вывод совершенно ясен: врачи больше занимаются осложнениями у беременных с хорошим доходом и часто предписывают им кесарево сечение, поскольку эта хирургическая операция стоит дороже, чем роды через естественные родовые пути. Он обвиняет в алчности врачей и клиники и считает, что главным образом они несут ответственность за то, что с 1970 г. число кесаревых сечений в США увеличилось вчетверо. Оперировать малообеспеченных женщин менее «интересно», потому что оплата в этом случае обычно ниже.

М. Розен, возглавляющий отделение акушерства и гинекологии в Пресвитерианском медицинском центре им. Христофора Колумба в Нью-Йорке согласен с Вулфом, что кесарево сечение излишне часто предлагается обеспеченным женщинам, но считает, что за этим стоит не жадность, а другие факторы. Он указывает, что, в то время как малоимущим женщинам оказывает помощь любое лицо, оказавшееся на дежурстве в момент, когда их доставляют в больницу, обеспеченные часто пользуются услугами частных акушеров. Такие врачи, по мнению Розена, связаны со своими пациентками более теплыми человеческими отношениями и больше рискуют подвергнуться судебному преследованию в случае каких-либо ошибок. (Как правило, в этих случаях акушеры выплачивают более высокий процент страховки, чем большинство врачей другого профиля.) Как говорит Розен, частные акушеры склонны преувеличивать опасность осложнений во время родов и родовспоможения, а потому предпочитают рекомендовать хирургические меры.

Итак, женщинам, обладающим хорошим доходом, делают кесарево сечение слишком часто. Можно ли сказать, что плохо обеспеченные прибегают к этой операции слишком редко? Розен говорит, что случаи, когда кесарево сечение безусловно показано (например, когда влагалищное родоразрешение могло бы привести к повреждению мозга младенца), но не делается, довольно редки. По иронии судьбы, малоимущие женщины, как видно, могут рассчитывать на более адекватную помощь, по крайней мере, когда речь заходит о родах.

Наука и общество

Роды и доходы

В СОВЕРШЕННОМ обществе все его члены должны быть обеспечены равным медицинским обслуживанием безотнositельно индивидуальному экономическому положению. Исследование, описанное в журнале «The New England Journal of Medicine», показывает, что, когда речь заходит о деторождении, действительность весьма далека от этого идеала.

Обследовались 245854 женщины, которые произвели на свет детей в Лос-Анджелесском округе в 1982 - 1983 гг. Из них 17,5% подвергались первичному (т. е. первому в жизни) кесареву сечению. (Из обследования были исключены те, кому делали кесарево сечение прежде, потому что обычно им предписываются и последующие роды путем кесарева сечения; впрочем некоторые акушеры полагают, что это не всегда необходимо.)

Воспользовавшись свидетельствами о рождении, историями болезней и статистическими данными, полученными путем опроса населения, иссле-

дователи установили, что частота кесаревых сечений находилась в зависимости от доходов пациенток. В семьях со средним доходом менее 11 тыс. долл. только 13,2% женщин делали кесарево сечение, в то время как среди тех, чей доход превышал 30 тыс. ДОЛЛ., этой операции подвергалось 22,9%. Это соотношение не зависело от других потенциально существенных факторов - возраста матери, этнической среды, веса плода и предшествующего индивидуального опыта деторождения.

Исследователи предполагали, что женщины с низким доходом чаще страдают от осложнений - например, симптомов неблагополучия плода или затяжных родов, т. е. того, что делает кесарево сечение必要ностью. Ведь малоимущим много сложнее пользоваться должным наблюдением и уходом до родов, чем обеспеченным. Но истории болезни свидетельствовали, что среди первых осложнения регистрируются реже, чем среди вторых. Как считают Дж. ГУЛД, Б. Дэви и Р. Стаффорд из Калифорнийского университета в

Наука вокруг нас

Как изготовить ячейку Геле-Шоу, чтобы наблюдать за игрой пузырьков в вязкой жидкости



ДЖИРЛ УОЛКЕР

ВОЗДУШНЫЕ пузырьки, всплывающие в вязкой жидкости, принимают иногда любопытные формы, соединяются и взаимодействуют друг с другом самым неожиданным образом. Зачастую все это остается скрытым от наших глаз, потому что в обычных сосудах, особенно когда жидкость не прозрачна, пузырьки наблюдать трудно. Один из способов улучшить видимость - налить жидкость в ячейку Геле-Шоу - устройство, названное в честь английского инженера Генри С. Геле-Шоу, который изобрел его на рубеже XIX и XX вв.

Ячейка состоит из двух параллель-

ных прозрачных пластин, которые отделены друг от друга тонкой прокладкой, проходящей вдоль краев; это прокладка не дает жидкости вытекать. Пузырьки воздуха попадают в ячейку через отверстие в прокладке. Жидкость можно заставить течь через ячейку, нагнетая или отсасывая ее при помощи насоса, подсоединенного к другим отверстиям. Саму ячейку можно просто прислонить к стене (в наклонном положении) или закрепить вертикально, чтобы жидкость и пузырьки двигались под действием выталкивающей силы.

Наиболее очевидным достоинством ячейки Геле-Шоу является то, что

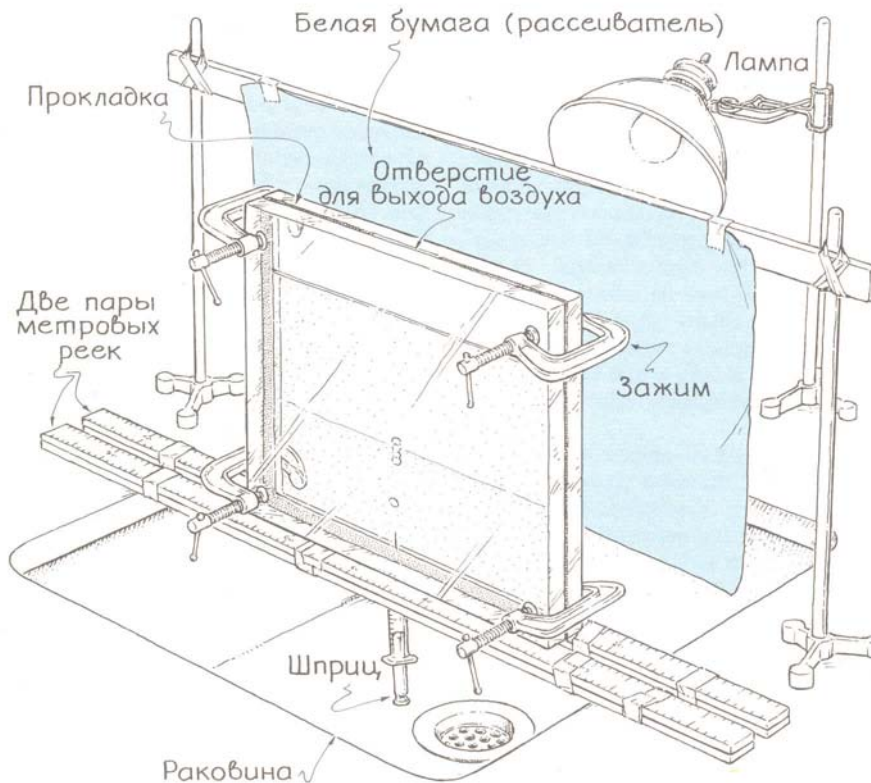
в ней пузырьки всегда хорошо видны. Даже если жидкость в массе своей не прозрачна, тонкий слой ее чаще всего прозрачен, поскольку поглощает мало света. Кроме того, течение в ячейке практически двумерно и его легче анализировать, чем трехмерное течение в объемном сосуде.

Ячейка Геле-Шоу широко использовалась для исследования различных свойств жидкостей и образования пузырьков, однако некоторые весьма любопытные свойства пузырьков были замечены лишь сравнительно недавно. В 1986 г. Тони Максурти из Южно-Каролинского университета заметил, что если впускать поочередно пузырьки в вязкое силиконовое масло, то они выстраиваются друг за другом и гуськом движутся вверх по жидкости подобно железнодорожному составу. Очень часто эта «сцепка», как назвал ее Максурти, становится неустойчивой, и первый пузырек расщепляется надвое. По мере того как сцепка продолжает подниматься, развитие неустойчивости и процесс расщепления распространяется вниз, пока не образуются две отдельные сцепки.

В последующих экспериментах Максурти и несколько других исследователей изучали формы, принимаемые воздушными пузырьками при их движении через глицерин и другие вязкие жидкости. На первый взгляд может показаться, что силы поверхностного натяжения должны всегда поддерживать у пузырьков круглую или слегка овальную форму, однако в действительности стабильными оказываются и несколько других, довольно необычных форм.

Читая статью Максурти, я подумал, нельзя ли наблюдать эти необычные формы и цепочки пузырьков в самодельной ячейке Геле-Шоу? В местном магазинчике, специализирующемся на продаже пластмассовых изделий, я приобрел два квадратных акриловых листа со стороной около 40 см и толщиной 2 см. В качестве прокладки я взял тонкие полоски из синтетического материала, которые используют для герметизации оконных рам. Одна сторона у такой полоски липкая и она хорошо приклеивается к акрилу. Я приклеил эти полоски к краям одного из листов с трех сторон; к четвертому краю я приклеил две более короткие полоски, чтобы между ними оставалось широкое отверстие для выхода воздуха.

Затем я положил этот лист акрила на бумажное полотенце и осторожно налил жидкость внутрь так, чтобы она покрывала приблизительно половину площади, ограниченной прокладками. Сверху я наложил второй



Экспериментальная установка с ячейкой Геле-Шоу

лист, стараясь аккуратно совместить края, и скрепил их с помощью четырех зажимов по углам. Теперь зазор между пластинами составлял менее 1 мм, хотя и менялся от места к месту из-за давления, оказываемого жидкостью. В результате жидкость заполнила большую часть ячейки.

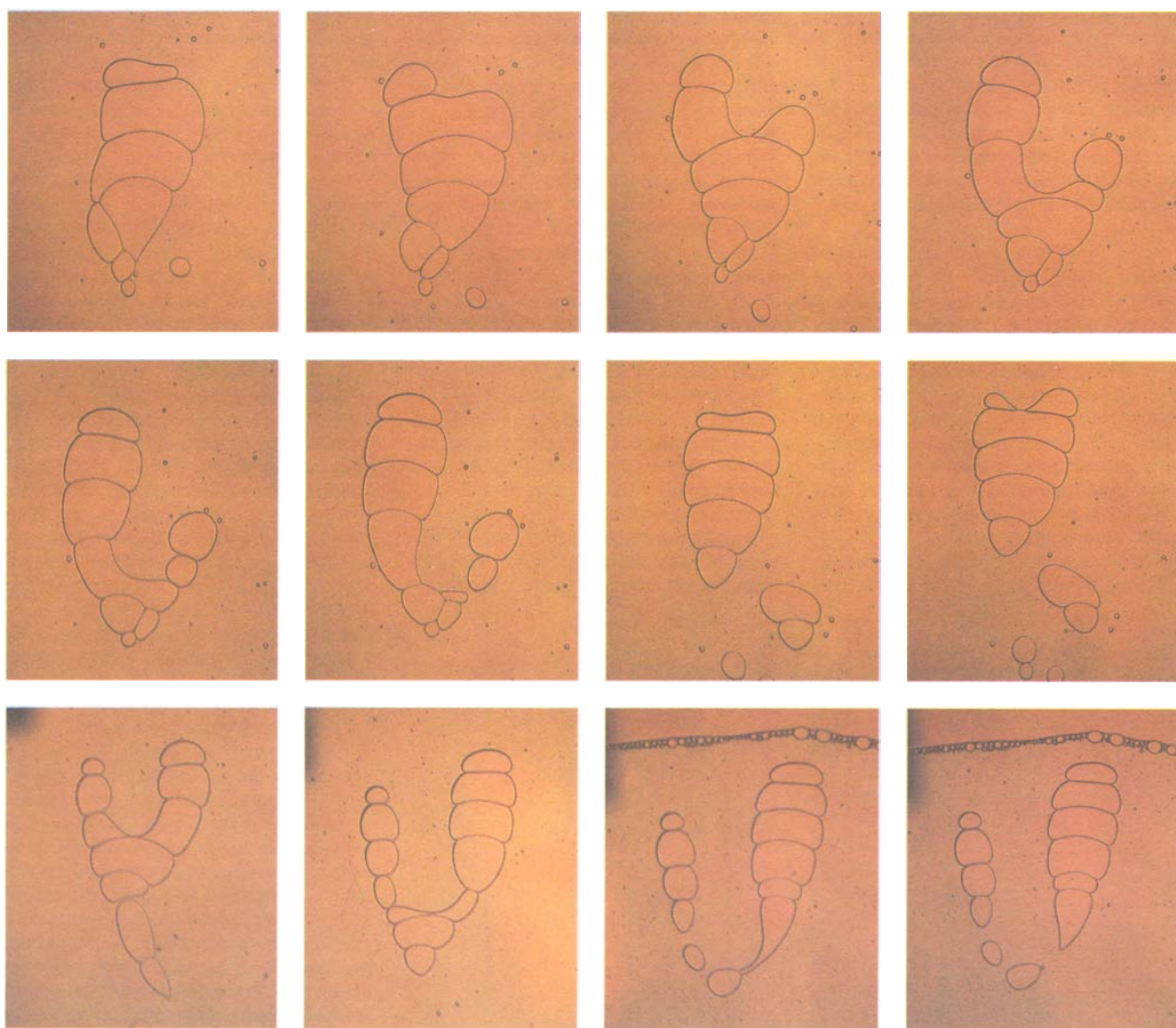
По моему замыслу, пузырьки должны были свободно подниматься в жидкости, поэтому я поставил ячейку вертикально так, чтобы отверстие для выхода воздуха находилось сверху. Поскольку некоторые жидкости просачивались через нижнюю полоску уплотнителя, я смастерил специальный сток. Чтобы закрепить ячейку, я соорудил мостик из четырех реек: связал их попарно с помощью широкой липкой ленты и уложил поперек раковины, оставив между ними небольшой зазор. Ячейку я установил

на мостике из двух «балок» так, чтобы нижняя полоска уплотнителя попала в зазор между балками (см. рисунок на с. 82). По другую сторону раковины я установил лампочку с отражателем, прикрепив ее к лабораторному штативу, а чтобы сделать освещение рассеянным, между лампой и ячейкой подвесил лист белой бумаги.

Когда я ставил ячейку на мостик, в жидкости уже было какое-то количество пузырьков, попавших в нее, когда я скреплял пластинки между собой. Каждый пузырек был четко очерчен темной линией, в то время как внутренняя область пузырька и жидкость имели одинаковую яркость. Темная граница пузырька образовывалась в результате преломления света при прохождении через искривленную поверхность пузырька. Преломляясь, лучи уходили из поля зрения, и грани-

ца пузырька выглядела темнее других областей. Пузырьки так резко выделялись, что казалось, будто они нарисованы карандашом.

Чтобы можно было «запускать» другие пузырьки, я пропустил иглу шприца между балками мостика и затем осторожно проткнул ею нижнюю прокладку в ячейке. Нажимая на поршень, можно было вводить небольшое количество воздуха в жидкость. Пузырьки отделялись от иглы и начинали медленно подниматься. Впустить крупный пузырек было просто, маленький - значительно труднее: из-за сопротивления жидкости приходилось с силой нажимать на поршень, при этом жидкость внезапно уступала и в результате пузырек часто оказывался больше, чем я рассчитывал. Потом я обнаружил, что, если немножко оттянуть поршень назад, до того как



Последовательность фотографий (слева направо) «сцепки» пузырьков, которая расщепляется и соединяется вновь

пузырек отделится от кончика иглы, можно удалить из него какое-то количество воздуха и тем самым уменьшить его размеры.

Чтобы фотографировать пузырьки, я увеличивал их изображение с помощью трех линз - насадок к моему фотоаппарату с 35-мм пленкой. Во время фотографирования я выключал свет в комнате, так чтобы ячейка освещалась только рассеянным светом от установленной рядом с ней лампы. Вязкость жидкости обычно бывала довольно высока, а зазор между пластинами достаточно мал, поэтому пузырьки двигались медленно, позволяя мне навести объектив на резкость и сделать снимок, прежде чем они успевали переместиться на значительное расстояние. (Из-за медленного движения пузырьков каждый опыт продолжался около часа, а иногда значительно дольше.) В некоторых случаях я пользовался фотопленкой, подобранной по цветовым характеристикам к условиям освещения в ячейке, однако часто в ход шла пленка, которую было проще найти и которая не очень подходила к этим условиям; в результате получались фотографии с неестественными оттенками, в чем можно убедиться, глядя на некоторые из приведенных здесь фотографий.

Для опытов я отобрал несколько жидкостей. Первым мне попался на глаза глицерин, а затем я обследовал полки в аптеке и нескольких продовольственных магазинах в поисках других подходящих жидкостей. Если жидкость была в прозрачном сосуде, то я переворачивал сосуд вверх дном и наблюдал, как поднимаются пузырьки воздуха. Если пузырьки поднимались медленно, это означало, что жидкость вязкая, и я добавлял ее к своей коллекции.

Прежде чем перейти к описанию моих попыток воспроизвести сцепки,

замеченные Максурти, я расскажу еще немного о том, что наблюдал этот исследователь, экспериментируя с силиконовым маслом. Когда в его опытах пузырьки догоняли друг друга, образуя сцепку, каждый пузырек был отделен от соседнего тонкой пленкой масла. Иногда пленка лопалась и два пузырька сливались: их бока с видимым усилием раздвигались, принимая форму нового пузырька, больших размеров.

Если такая сцепка пузырьков не сливалась в один пузырь, то она иногда становилась неустойчивой в верхней части первого пузырька, как правило выпуклой. При развитии этой неустойчивости верхняя граница пузырька распрямилась, а затем начала погружаться внутрь пузырька. Неустойчивость объяснялась тем фактом, что более плотная жидкость (масло) располагалась над менее плотной (воздухом) у верха пузырька. Если силы поверхностного натяжения какое-то время позволяли поверхности пузырька оставаться выпуклой, то эта поверхность препятствовала погружению масла внутрь пузырька. Однако по мере подъема пузырька у его верха возникали крошечные волны. Одна из волн могла вырасти настолько, что нарушала кривизну поверхности в верхней части пузырька и тогда эта поверхность начинала коллапсировать (разрушаться). Разрушение могло начаться и в том случае, когда эта поверхность оказывалась у маленького почти неподвижного пузырька. При приближении такой поверхности к маленькому пузырьку давление жидкости между ними возрастало и могло стать достаточно большим, чтобы нарушить кривизну поверхности и вызвать ее коллапс.

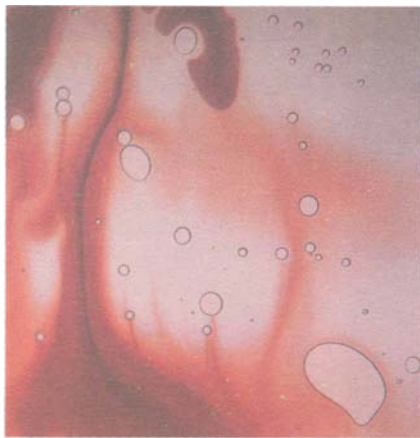
Если коллапс достигал нижней поверхности первого пузырька, тот расщеплялся пополам. Процесс коллапса

и расщепления распространялся затем на остальные пузырьки сцепки, «раскалывая» ее на две части. Сцепка больших размеров испытывала большую выталкивающую силу и поднималась быстрее маленькой. Если хвост большей сцепки проходил мимо первого пузырька меньшей, тот захватывался сцепкой и меньшая сцепка пристраивалась в хвост большей. Однажды Максурти наблюдал, как коллапс и расщепление начались с верхней части второго пузырька и распространились вниз по всей сцепке, однако образовавшиеся две сцепки не разделились, так как «прикреплялись» к одному пузырьку.

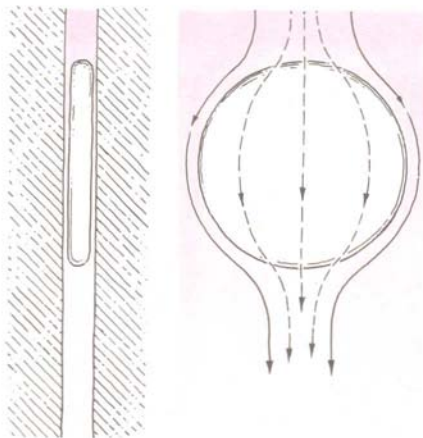
Среди моей коллекции жидкостей я стал искать такую, в которой можно было бы наблюдать образование и расщепление снопков. В кукурузном масле, глицерине и нескольких шампунях пузырьки отказывались соединяться. Правда, они сближались друг с другом, но через несколько секунд после встречи тонкая пленка между ними лопалась и они сливались.

С некоторыми другими шампунями мне повезло больше. Лучшим из них оказался продукт под названием «гель для душа», состоявший из пропилен-гликоля, глицерина, растворимого коллагена и нескольких других ингредиентов. Серия фотографий на с. 83 показывает поведение одной из сцепки пузырьков. Верхний пузырек сложной сцепки сначала оказался неустойчивым, но затем восстановил свою форму на левой стороне сцепки. Тем временем неустойчивость затронула второй пузырек и он расщепился. Волна расщепления прокатилась затем вниз через всю сцепку, пока справа не осталась в конце концов сцепка из двух пузырьков. Затем начала расщепляться более длинная левая сцепка. По мере того как она поднималась, более короткая сцепка притягивалась к его хвостовой части, но в конечном итоге подверглась коллапсу и расщеплению. Наблюдая за этой игрой пузырьков в полумраке комнаты, я представлял себе трилобитов, играющих в салочки.

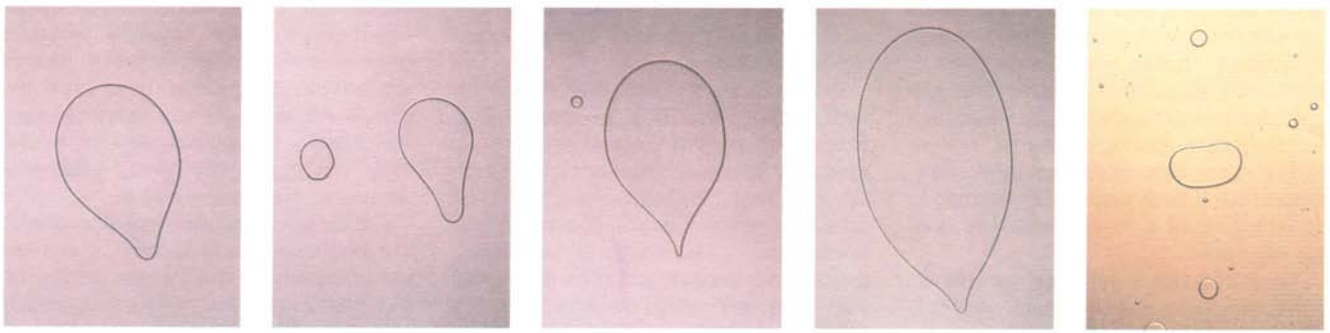
Отдельные крупные пузырьки также были неустойчивыми, расщепляясь иногда без всякой видимой причины. Иногда коллапс был обусловлен маленьким пузырьком, с которым сталкивался крупный пузырь на пути вверх. Обычно, когда сцепка встречалась с маленьким одиночным пузырьком, она отталкивала его немного в сторону и проплывала мимо него. Маленький пузырек в таких случаях делал вмятину в боку у сцепки, в ближайшей к нему зоне. Иногда вмятина оказывалась настолько большой, что боковая сторона сцепки коллапсиро-



Следы, оставляемые пузырьками



Образование следа



ФОРМЫ, которые принимают пузырьки в глицерине и (справа) в шампуне

вала, и ее пузырьки начинали расщепляться.

Сцепки, как правило, минуют маленькие, почти неподвижные пузырьки, но притягиваются к более крупным движущимся. В нескольких случаях я был свидетелем того, как большая сцепка отклонялась от своего пути вверх, чтобы перехватить отдельные пузырьки, находившиеся немного в стороне; сцепка обычно прибавляла в скорости и пускалась в погоню за пузырьком. Во время погони некоторые пузырьки в сцепке вытягивались и утончались, их бока слева и справа распрямлялись или даже становились вогнутыми.

Чтобы сделать отдельные пузырьки более заметными, я открывал ячейку, впрыскивал обыкновенный пищевой краситель в виде поперечных полосок в «гель для душа» и снова скреплял пластины. В результате этой процедуры в ячейку попадали воздушные пузырьки. Когда они проходили через пищевой краситель, их след становился видимым. Когда пузырек начинал свое движение из бесцветного геля, он оставлял прозрачный след в окрашенной зоне; когда же движение начиналось из окрашенной зоны, пузырек оставлял цветной след, проходя через бесцветную зону. Этот эффект заметен на фотографии слева на с. 84. Обычно длина такого следа в несколько раз превосходила диаметр пузырька, который его породил.

Я полагаю, что след образуется жидкостью, медленно выделяющейся из тонкого слоя, прилегающего к пузырьку. Рассмотрим вертикальное сечение пузырька поперек плоскости ячейки (см. схему на с. 84). Воздух в пузырьке отделен от каждой стенки ячейки промежуточным слоем жидкости. Это слой настолько тонкий, что во время подъема пузырька жидкость может протекать через них лишь очень медленно. По мере того как свежие порции жидкости поступают в верхнюю часть слоя, жидкость из нижней его части выделяется под пу-

зырьком. Теперь рассмотрим вертикальное сечение пузырька в плоскости ячейки. Проходящая слева и справа от всплывающего пузырька жидкость сходится под пузырьком. При этом жидкость, выделяющаяся из тонких слоев, затягивается в область под пузырьком.

Предположим, пузырек движется из бесцветного геля в окрашенную область. Жидкость, оказывающаяся слева и справа, окрашена, однако в течение некоторого времени небольшое количество жидкости, выделяющейся из тонких слоев, остается бесцветной. Течение окрашенного геля под пузырьком сжимает бесцветную жидкость из тонких слоев в четкий прозрачный след, пролегающий вдоль пути, по которому двигался пузырек. Аналогичная картина наблюдается и тогда, когда пузырек, выходящий из окрашенного слоя, оставляет цветной след в бесцветном геле.

Несколько исследователей заметили, что пузырек,двигающийся в вязкой жидкости, может принимать различные формы, в зависимости от определенных факторов. Баланс противоборствующих сил - поверхностного натяжения, гидростатического выталкивания и давления жидкости - поддерживает пузырек в форме сферы или эллипсоида, однако его поверхность может быть и плоской (как спереди, так и сзади) или принимать грушевидную форму (в этом случае впереди пузырек значительно шире, чем сзади). Плоская и грушевидная форма обычно наблюдаются, когда ячейка расположена горизонтально и жидкость проталкивается через нее при помощи насоса.

В прошлом году Э. Р. Кофф-Силл и Д. М. Хомси из Станфордского университета проанализировали теоретические модели, объясняющие форму пузырьков, и провели эксперименты, в ходе которых наблюдали новые, еще более любопытные формы. Они обнаружили пузырьки с хвостами, причем в одних случаях хвосты были короткими и округлыми, а в

других - значительно длиннее диаметра основной части пузырька и с маленьким шариком на конце. Кофф-Силл и Хомси были также первыми, кому удалось наблюдать теоретически предсказанную форму, когда задняя граница пузырька плоская, а передняя слегка вогнута.

Я провел опыты со всеми жидкостями, имевшимися в моем распоряжении, в поисках тех форм, о которых сообщили исследователи. Очень маленькие пузырьки в глицерине, кленовом сиропе, кукурузном масле, «геле для душа» и еще двух шампунях были круглыми. Пузырьки несколько больших размеров имели форму эллипсоида с вертикальной большой осью.

В одном случае, работая с шампунем, я заметил, как мне показалось, пузырек с вогнутым передним краем, однако мое внимание было привлечено в этот момент к другим пузырькам, поэтому у меня нет уверенности, что пузырек просто не был растянут и искажен под воздействием более крупного пузырька, проходившего поблизости. В сиропе, кукурузном масле и глицерине у крупных пузырьков, после того как они начинали двигаться, часто вырастали короткие хвосты. Хвосты были стабильными, но слегка шевелились. Их отделяла еле заметная граница, которая, казалось, замыкала общий овальный контур пузырька.

В конце концов я сосредоточил внимание на пузырьках в глицерине. Когда один пузырек догонял другой, пленка между ними существовала лишь несколько секунд, прежде чем воздух прорывался сквозь нее. В области разрыва оставались неглубокие, искривленные гребни глицерина, вплотную примыкавшие к обеим стенкам ячейки. По мере того как вновь образованный пузырек поднимался, эти гребни опускались и их левый и правый концы заметно искажали форму пузырька, делая ее грушевидной.

Иногда внутри пузырька появлялось крошечное пятнышко глицери-

на. Возможно, оно было подцеплено мелкой соринкой, прилипшей к одной из стенок ячейки или плававшей в жидкости. Когда такое пятнышко достигало нижнего края пузырька, оно выталкивало часть границы вовне. Когда хвост пузырька был приблизительно на одной высоте с соринкой, он отклонялся в ее направлении, как бы «виляя».

Хотя обычно я работал с ячейкой, установленной вертикально, иногда, желая замедлить подъем пузырьков, я несколько наклонял ее. Для этого я раскладывал на столе большой лист белой бумаги, клал ячейку нижним краем на бумагу, а верхний край подпираю двумя коробками. Отражатель лампочки я направлял так, чтобы ее свет, рассеиваясь на бумаге, проходил вверх через ячейку. Нижний край ячей-

ки находился у самого края стола, что позволяло мне вводить в ячейку воздух через шприц.

Если вы смастерите свою собственную ячейку Геле-Шоу, то, возможно, захотите поэкспериментировать с другими вязкими жидкостями, такими как мед, желатиновые десерты или машинное масло. (Одно предупреждение относительно особенно вязких смазочных материалов: мало того что они могут перепачкать все вокруг, их очень трудно очистить со стенок ячейки после того, как вы закончите эксперимент.) Если под рукой не окажется шприца, то вы можете «затолкнуть» воздушные пузырьки в жидкость, просто приподняв верхнюю пластину и быстро хлопнув ее опять, прежде чем жидкость успеет вылиться.

Наука и общество

Первые впечатления

ЭКСПЕРИМЕНТЫ и клинические наблюдения заставляют пересмотреть один из основных постулатов менделевской генетики: идеи о том, что в организме животного гены, унаследованные им от матери и от отца, равнозначны.

Еще в 1959 г. Дж. Спиффорд из Чикагского университета обнаружила у дрозофилы ген, эффект которого варьировал в зависимости от того, получен ли он потомством от самки или от самца. Подобно открытиям самого Менделя, это наблюдение особого внимания не привлекло. Нынешние исследования вновь поднимают старую тему. Показано, что у мыши, человека и других видов происходит избирательная инактивация некоторых генов, создающая своего рода отпечаток пола: определенные гены неактивны, если они перешли к потомству от родителя одного пола, и активны, если принадлежали родителю другого пола. Неактивное состояние гена может поддерживаться в течение всей жизни данного индивида, но при передаче следующему поколению гены утрачивают имевшийся отпечаток и приобретают новый. Возможно, именно в механизме отпечатков находится ключ к некоторым загадкам, связанным с наследственными болезнями и злокачественными новообразованиями у человека.

Один из основных фактов был установлен при изучении мышинных эмбрионов, содержащих двойной набор

только материнских или только отцовских хромосом. Такие эмбрионы, которые могут быть получены путем трансплантации ядер оплодотворенных яйцеклеток, всегда лишены способности развиваться. Однако эта неспособность выражается по-разному в зависимости от того, чьи у эмбриона хромосомы - отца или матери. Последнее обстоятельство указывает на различие между материнской и отцовской ДНК по роли в эмбриогенезе.

Два года назад К. Сапиенца из Людвиговского онкологического института в Монреале независимо М. Сурани из Института физиологии и генетики животных в Кембридже (Великобритания) показали, что у мышей степень метилирования чужеродного гена, введенного в геном путем генетической инженерии, определяется полом организма, которому этот ген принадлежал. (Метилирование гена - это химическая модификация, состоящая в присоединении метильной - СН₃ - группы к определенным компонентам ДНК.) Иными словами, гены от одного родителя метилируются больше, чем гены от другого родителя. Метилирование - основной механизм регуляции генов, поэтому его избирательность могла бы объяснить возникновение отпечатка, несмотря на то что о самом этом процессе известно немного.

В последнее время благодаря ряду новых методов проблема различной роли материнских и отцовских генов, похоже, стала актуальной не только для генетики, но и для клинической

медицины. Сапиенца и другие исследователи изучали опухоль Вильмса (рак почки), клетки которой имеют характерный признак - в них отсутствует целиком или частично хромосома 11. Оказалось, что утрачивается обычно хромосома, унаследованная от матери.

Сапиенца и его коллеги располагают данными в пользу того, что отпечаток имеет значение и при других видах рака, включая рабдомиосаркому (опухоль мышечной ткани) и некоторые случаи ретинобластомы (опухоль глаза). По словам Сапиенцы, при ретинобластоме первичный дефект может зависеть не от известного генетического локуса, обуславливающего ретинобластому, а от совершенно иного регуляторного гена, отвечающего за образование отпечатков на других генах. Как он предполагает, «наследуется не что иное, как искаженный механизм Формирования отпечатка».

Дж. Холл из Университета пров. Британская Колумбия (Канада) нашла в литературе о генетических болезнях мышей и человека массу примеров родительского эффекта. Она убеждена, что многие из них можно объяснить в рамках концепции отпечатка. Например, тот факт, что у людей, унаследовавших ген, обуславливающий болезнь Хантингтона, от отца, иногда развивается более тяжелая форма этого заболевания и в более раннем возрасте, чем у тех, кто получил данный ген от матери. Обратная ситуация имеет место в случае митохондрической дистрофии. Н. Векслер из Колумбийского университета, являющаяся президентом Фонда наследственных болезней, в настоящее время изучает родословные людей, страдающих болезнью Хантингтона, с целью получить данные об отпечатках.

«Отпечаток пола на ДНК - это истине чудо, между тем оно до сих пор не описано как следует», - комментирует В. Маккьюзик из Университета Джонса Гопкинса, считающийся одним из самых крупных авторитетов в области изучения генетических болезней человека, - «Однако я не хотел бы создать впечатление, что открытие отпечатков опровергает Менделя или является чем-то революционным; это феномен, объясняющий некоторые аспекты передачи генов из поколения в поколение».

Поименные страсти

С ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ точки зрения - это настоящее сокровище», - говорит Ш. Пенленд из Геологической службы шт. Луизиана.

Для обывателя же это просто рукав реки: дощатые временки, сочные пастбища, обширные поля молодого сахарного тростника и мутная Миссисипи, ограниченная дамбой высотой без малого 4 м. Когда мы поднимались по реке, Пенленд, который занимается проблемами побережий, объяснял, что, задерживая ил и воды Миссисипи, дамбы лишают пойменные земли южной части Луизианы «питания» - ила, который в обычных условиях способствует восстановлению поймы; это одна из причин, по которой дельта Миссисипи площадью 2 млн. га быстро превращается в часть Мексиканского залива.

Геологи, которые, как и Пенленд, специализируются на изучении эрозии побережий и потерь пойменных земель, еще острее чувствуют быстрое течение времени. Минувшим летом государственные законодательные органы создали механизм финансирования работ по защите и восстановлению пойменных земель, который предусматривает выделение 25 млн. долл. на следующий год; учреждена также должность в ранге члена правительства штата для распределения средств и координации усилий местных и федеральных учреждений в данной области. Этот шаг был отчасти ответом на возросшее беспокойство избирателей, а отчасти - попыткой убедить федеральные власти, что штату не безразлична судьба его собственных земель: конгресс рассматривает вопрос о выделении штату 150 млн. долл в год на меры по защите и восстановлению пойменных земель.

На Луизиану, где располагается 40% всех прибрежных намывных земель США, приходится 80070 их потерь. Баталия, начавшаяся в этом штате, может иметь последствия в местах, далеких от страны каянов*. Грядущее повышение уровня Мирового океана в результате парникового эффекта, а также осознание ценности пойменных земель (как мест обитания диких животных, источника грунтовых вод и площадей, принимающих на себя паводки) должны поднять вопрос бедственного положения пойменных земель и дельты на уровень национальных проблем. В январе Агентство по охране окружающей среды США (ЕРА) приняло решение о необходимости предупреждения потерь пойменных земель в континентальной части США. Президент Буш подтвердил обещание «нет - разру-

шению», прозвучавшее в его февральском послании конгрессу по вопросам бюджета и поручил Комиссии по внутренней политике определить, как можно выполнить данное обещание.

Цель может быть достигнута несколькими различными способами. Наиболее радикальный способ, хотя и малопримлемый - это полное прекращение экономического развития на пойменных землях и около них; другой допускает разрушение естественной среды дельты, компенсируемое созданием новых намывных земель. Ответственность за выбор решений лежит в основном на Инженерном корпусе армии США - ведомстве, выдающем разрешения на хозяйственное использование морских и речных побережий (ежегодно сюда поступает 15 тысяч заявок). ЕРА разрабатывает критерии, в соответствии с которыми Инженерный корпус рассматривает данные просьбы, и имеет право налагать вето на его решения. Руководители ЕРА утверждают, что они обращают большее внимание на сохранение уже существующих земель, что является предметом разногласий между двумя ведомствами.

«Когда вы разрушаете ныне существующие пойменные земли, вы разрушаете и лучшее из имеющихся «руководств» по созданию новых намывных земель», - говорит Джон А. Каслер, исполнительный директор Ассоциации управляющих пойменными землями и соавтор доклада ЕРА о научных основах создания и восстановления пойменных земель и дельт. Такое руководство поистине драгоценно: имеющиеся проекты восстановления основаны на эмпирических соображениях и, по словам Д. Каслера, почти половина из них оказалась несостоятельной в том или ином отношении. «Проблема состоит в том, что существует много различных типов намывных пойменных земель и они могут быть использованы для большого числа различных целей», - говорит он. Несмотря на то что некоторые из его коллег рассмотрели более 200 Проектов восстановления, по мнению Каслера, «имеется очень мало экспертов по вопросам восстановления пойм».

Из-за того что условия в каждой пойме практически неповторимы, опыт освоения одной из них необязательно помогает в освоении другой. Поросшие лесом участки более трудны для освоения, чем болотистые, а территории вдали от морского берега обычно более сложны структурно, чем прибрежные. Различные стратегии освоения способствуют процветанию лишь отдельных видов растений, рыб или птиц. Нельзя предсказать на-

сколько флора и фауна поймы и дельты могут быть чувствительны к кислородному обмену, круговороту питательных веществ, наклону поверхности и количеству солнечной радиации; Каслер утверждает, что важными могут быть и другие параметры, до сих пор не учитываемые.

Данные наблюдений свидетельствуют о том, что пойменные земли южной Луизианы находятся под угрозой. До того как 60 лет назад Миссисипи была обнесена дамбой, река пополняла намывные земли дельты осадочными породами в количестве 200 млн. тонн ежегодно, компенсируя размывание грунта в этих районах. Теперь река уносит взвешенный материал за границу континентального шельфа, и в некоторых местах размывание берегов достигает двух сантиметров в год. Разрушение донного грунта при добыче нефти и газа на шельфе также вносит свой вклад в разрушение дельты.

Барьерные острова, находящиеся в нескольких милях от побережья, мигрируют на запад, оставляя дельту незащищенной от волн, идущих прямо из Мексиканского залива. Судоходные каналы, прорытые в дельте нефтяными и газовыми компаниями, несут соленую воду во внутренние, удаленные от моря участки и губят деревья и траву, корни которых препятствуют размыванию берегов реки. Некоторые эксперты по вопросам побережья даже обвиняют нутрий, которые были завезены из Южной Америки, чтобы ограничить распространение водного гиацинта (см. статью: «Нашествие водных сорняков» С. Барретта на с. 52); в результате нутрии стали поедать не только гиацинты но и другую растительность.

«Нигде в США погружение и эрозия земель не идут с такой скоростью, как на побережье Луизианы», - говорит Джон В. Мейер из комитета ЕРА по охране пойменных земель. Территория, равная по размеру штату Род-Айленд, разрушается за 20 лет, в год размывается 125 км² земель, каждые 15 мин. тонет участок величиной с футбольное поле. Однако в свете последних шагов законодателей апокалиптические настроения ослабли. «Мы будем развивать береговую защитную и восстановительную индустрию, которая пригодится повсюду в мире, когда повысится уровень Мирового океана», - говорит Г. Поль Кемп, исполнительный директор «Коалиции за восстановление побережья Луизианы», в которую входят представители церкви, торговых палат и индейских племен. «Луизиана станет Меккой для береговых инженеров».

* Каяны - этническая группа, образовавшаяся в результате смешанных браков между белыми, неграми и индейцами, - Прим. перев.

Компьютер из деталей детского конструктора играет в «крестики-нолики»



А. К. ДЬЮДНИ

«Впервые с этим свойством [универсальностью вычислений] я столкнулся еще до того, как пошел в школу. Тогда не было никаких компьютеров, но у нас были детские конструкторские наборы. Один из них назывался «тинкертой» ... Удивительно, но его палочек и катушек хватало на то, чтобы построить что УГОДНО.»

Марвин Минский

МНОГИЕ ЛИ из нас помнят конструкторы «тинкертой» - наборы цветных деревянных палочек и катушек с отверстиями? Глядя на сооружения в виде башен и кранов, многие ли из нас задумывались тогда в детстве, до каких пределов простираются возможности тинкертой? Представляли ли мы себе сооружения высотой до потолка? Возможно, но на такие постройки у нас не хватало ни

деталей в наборе, ни времени. Однако несколько лет назад нашу былую фантазию реализовали студенты из Массачусетского технологического института (МТИ), построив компьютер, целиком (точнее, почти целиком) состоящий из деталей тинкертой.

Издали компьютер из тинкертой выглядит как плод необузданной детской фантазии или, по замечанию одного из студентов, как палочно-катушечный вариант космической научной лаборатории из кинофильма «Космическая Одиссея: 2001 Г.». В отличие от лаборатории инопланетян компьютер, собранный из палочек и катушек, играет в крестики-нолики. Спереди сооружения, пощелкивая и как бы на ощупь вниз, перемещается конструкция, называемая головкой чтения. В какой-то момент щелканье прекращается, наступает таинственная тишина; начинает вращаться де-

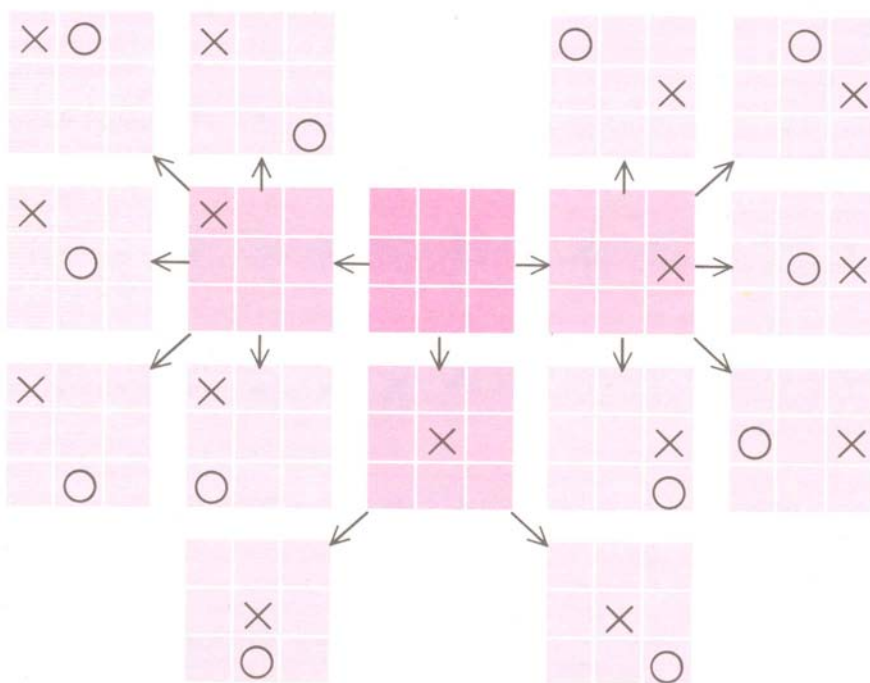
таль, называемая «сердечником», затем вращение завершается другим странным звуком, и в движение приходит «выходная уточка» - конструкция, по форме напоминающая птицу; она наклоняется вперед со своего носста, так что ее клюв указывает на число, определяющее следующий ход, который делает компьютер по ходу игры в крестики-нолики.

Что же конкретно просматривает головка чтения, когда она, ощупывая сооружение, перемещается вниз? Она проходит вдоль 48 рядов «запоминающих валиков», кодирующих все важнейшие комбинации крестиков и ноликов, которые могут возникнуть во время игры (см. рисунок на с. 89). Каждый валик представляет собой последовательность гладких катушек, соединенных на оси палочками и разбитых на 9 групп, по 3 в каждой группе, так что на каждый квадрат игровой доски приходится по одной группе. Присутствие или отсутствие катушки в группе указывает на то, что соответствующая клетка игровой доски свободна или занята одним из знаков - крестиком или ноликом.

Компьютер из тинкертой не полностью автоматизирован: оператор должен перемещать головку чтения и осуществлять ввод «данных». После того как человек, играющий с компьютером, делает ход, оператор подходит к машине, чтобы установить соответствующим образом сердечник внутри головки чтения, регистрируя таким образом сделанный ход. Затем оператор тянет за шнурок, чтобы взвести механизм сердечника перед тем, как он начнет поиск ответа. Когда компьютер находит запоминающий валик, состояние которого идентично положению в игре, сердечник поворачивается и компьютер указывает свой ответный ход.

Понять, как работает машина, наверное, будет проще, если рассказать историю ее создания. Машину построили студенты МТИ Э. Джи, Э. Хардебек, Д. Хиллис, М. Мински и братья Барри и Брайен Силвермен. Теперь большинство из них уже закончили институт и работают в различных областях информатики и вычислительной техники. Наибольшую известность приобрел, пожалуй, Хиллис. Он был «движущей силой» в компании Thinking Machines, Inc., создавшей широко известный параллельный суперкомпьютер, так называемую коммутационную машину Connection Machine. (Видимо, конструктор тинкертой может кое-чему научить.)

В 1975 г. Хиллис и Брайен Силвермен, когда они были еще второкурсниками, приняли участие в учебном



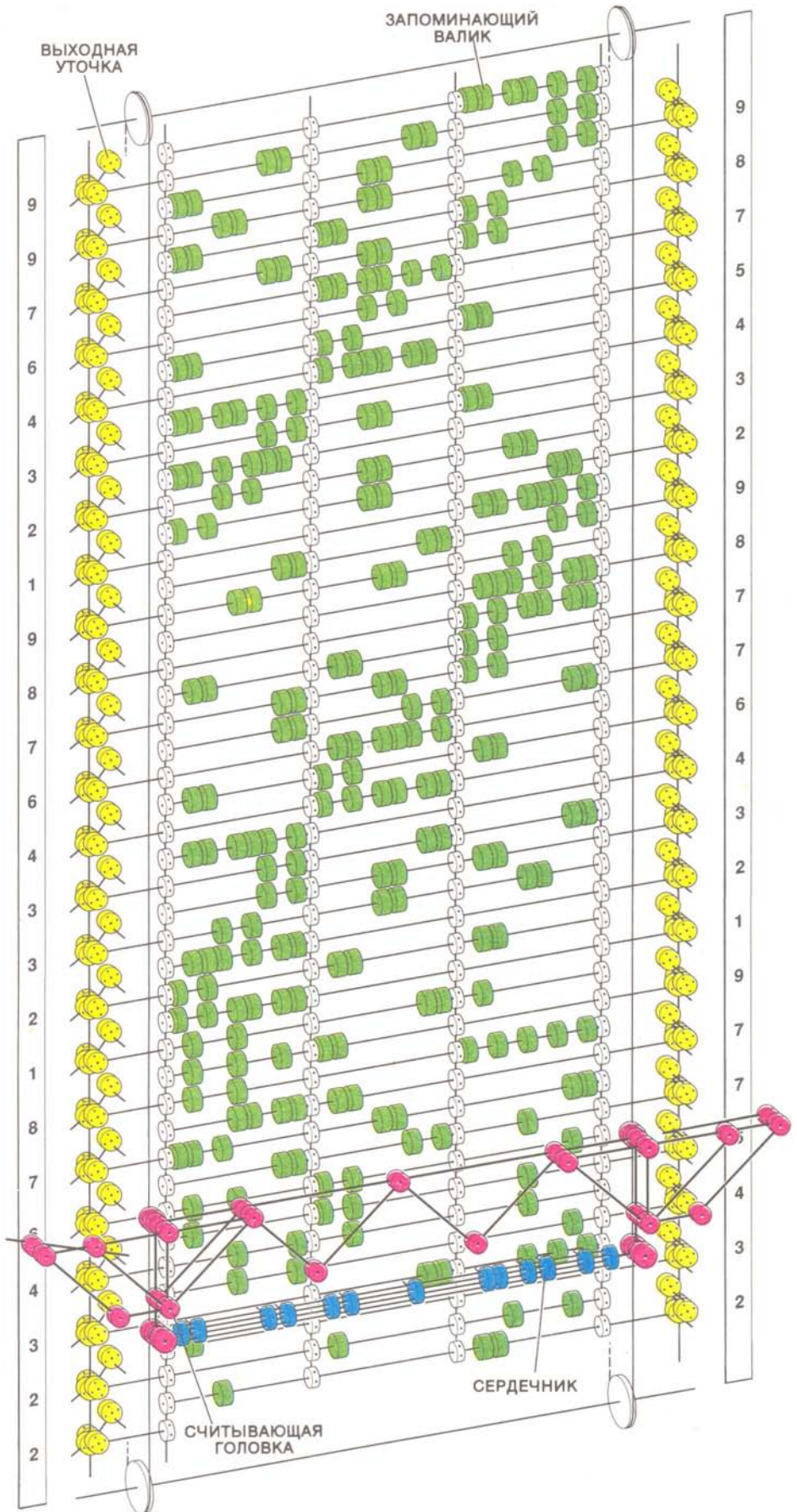
Первые три уровня дерева игры «крестики-нолики»

проекте, целью которого было построить какое-нибудь цифровое устройство из тинкертоя. Студенты с удовольствием занялись этой игрой. Один из них сделал инвертер, логическое устройство, преобразующее двоичные сигналы - 1 в 0 и наоборот. Другой сделал вентиль ИЛИ: если один из входов этого устройства равен 1, то выход всегда будет также равен 1. Студенты быстро поняли, что конструктор тинкертой обладал свойством «универсальности вычислений» - этот теоретический термин характеризует набор компонентов, из которых можно собрать полностью программируемую вычислительную машину. Однако теоретическая возможность - это одно, а практика, которая требует и времени и средств, - совсем другое.

Эти потребности были удовлетворены окольным путем благодаря интересу Хиллиса к роботам и его стремлению создать один из них, о чем он время от времени говорил со своими друзьями. Слухи о его мечтах каким-то образом достигли Х. Лаукса, бывшего в то время директором Среднеамериканского центра в Хот-Спрингсе (шт. Арканзас). Не хотят ли студенты построить робота для витрины музея, принадлежавшего центру? Студенты согласились, но проект оказался слишком сложным. Тогда и всплыла старая мечта о машине из деталей тинкертоя. Может быть, вместо робота центр не против приобрести компьютер, собранный из тинкертоев?

Хиллис и его коллеги принялись за постройку первого компьютера на тинкертоях в лаборатории МТИ. Первая модель в отличие от последующей была довольно громоздкой и имела форму куба со стороной около метра. Конструкция выглядела весьма сложной. Набитая до отказа логическими схемами, сделанными целиком из деревянных палочек и катушек, машина указывала свои ходы, вращая девять флажков, расположенных в верхней части сооружения. Перед отправкой в Хот-Спрингс прототип компьютера пришлось разобрать, но после того, как его снова собрали на месте, компьютер уже так никогда и не заработал как следует. Тем не менее он все же был интригующим экспонатом. (В настоящее время он демонстрируется в Музее вычислительной техники в Бостоне.)

В 1979 г. Лаукс снова обратился к студентам. Не смогут ли они сделать новый компьютер из тинкертоев, который бы работал по-настоящему? В то время Силвермен жил и работал в Оттаве, а Хиллис - в Бостоне. Переговариваясь по телефону, Хиллис и



Компьютер из тинкертоев всегда готов сразиться в «крестики-нолики»

Силвермен разработали более совершенную конструкцию. Она должна была быть надежной, а значит, и простой. Они решили выставить все возможные комбинации игры «крестики-нолики» в ряд последовательностей и придумать какой-нибудь считывающий механизм, который передвигался бы по этому ряду от последовательности к последовательности и находил бы позицию, соответствующую положению в игре на данный момент. Само узнавание этой позиции непосредственно вызвало бы появление заранее заготовленного ответа.

Пока Хиллис обдумывал способы представления позиций игры «крестики-нолики» в цифровых компонентах тинкертоя, Силвермен занимался анализом самой игры. Чтобы получить представление о сложности этой детской игры, читатели могут взглянуть на игровое дерево, приведенное на с. 88. В середине дерева располагается исходная позиция - решетка из квадратных клеток 3 x 3, на которой пока нет ни крестиков, ни ноликов. Из этой исходной позиции могут возникнуть 9 первых ситуаций, в зависимости от того, в какую клетку будет поставлен первый крестик. На рисунке показаны лишь три варианта; остальные 6 можно получить вращением этих трех. Каждый их трех вариантов на втором уровне порождает другие возможные позиции. Например, вариант, в котором «крестики» делают первый ход на центральную клетку, а затем ставится «НОЛЬ», приводит к двум различным ситуациям. Два других варианта на втором уровне порождают по пять новых позиций на третьем уровне.

Из соображений симметрии многие ветви игрового дерева усечены: исключенные ветви являются результатом вращения или зеркальным отражением оставленных вариантов. Люди легко обнаруживают симметрию, в то время как компьютер должен быть для этого специально запрограммирован или сконструирован. В

мире конструкций из тинкертоев достижение симметрии возможно при очень сложной конструкции.

Силвермен, конечно, имел дело с деревом, во много раз большим того фрагмента, который представлен здесь на рисунке. Однако, как говорится, терпение и труд все перетрут; Силвермен обнаружил, что многие позиции можно слить в одну, когда необходимо сделать вынужденный ход. Предположим, что две клетки в каком-то ряду уже содержат нолики, а третья свободна. Тогда содержимое двух остальных рядов уже не имеет значения, поскольку в данном случае крестики должны заполнить эту третью клетку, и если они этого не сделают, то проиграют.

Силвермен был в восторге, когда ему удалось свести число возможных позиций к 48. Для каждой из них он заготовил правильный ход. Оказавшийся удивительно коротким список возможных позиций на доске обрадовал и Хиллиса. Когда группа собралась в Хот-Спрингсе, сказал Силвермен, «у нас был лишь список из 48 позиций, и мы очень смутно представляли себе, каким образом их можно интерпретировать механически».

Читатели с фанатичной склонностью к исследованию игр (или просто застрявшие на аэровокзале) могут ПО~развлечься, построив полное дерево игры на нескольких листах бумаги. Интересно, сколько времени потребуется, чтобы нарисовать 48 позиций, возникающих в игре «крестики-нолики»? Разобраться с этим вопросом помогут четыре символа X, O, пробел и тире, означающее «безразлично».

Обосновавшись в Хот-Спрингсе, члены группы приобрели необходимый «строительный» материал для палочко-катушечной Одиссеи: 30 коробок тинкертоев, по 250 деталей в каждой. Затем они занялись сборкой опорной фермы, к которой должны были крепиться все 48 валиков памяти. Чтобы точно объяснить устрои-

ство этих валиков, придется немного отвлечься и изложить правила, принятые группой для кодирования позиций игры.

Во-первых, клетки игрового поля были пронумерованы следующим образом:

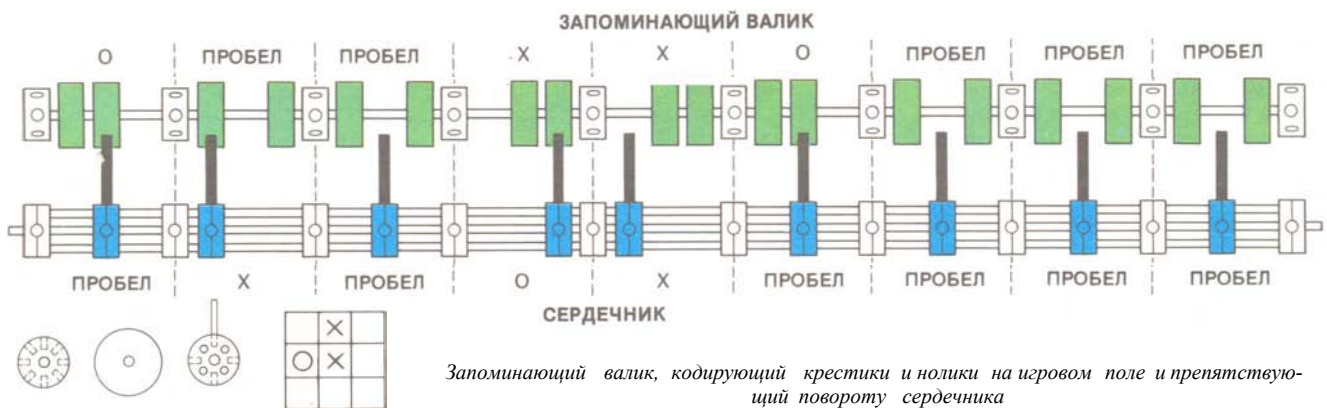
123
456
789

Далее, запоминающий валик делился на девять последовательных участков, в которых хранилась информация о состоянии каждой клетки, слева направо.

Каждый участок в свою очередь подразделялся на три равные секции, по одной на каждый возможный элемент, заполняющий данную клетку: X, O или пробел. Каждый вариант кодировался отсутствием соответствующей катушки. Например, если в данной клетке находился крестик, то запоминающий валик не содержал катушки в первой секции, но содержал их во второй и третьей секциях. Аналогичным образом отсутствие катушки во второй секции означало незанятую клетку, а отсутствие катушки в третьей секции - нолик. Наконец, если отсутствовали все три катушки, это означало, что содержимое данной клетки не имело значения.

Говоря о запоминающих валиках, нельзя не упомянуть и о сердечнике - детали пальцевидной формы. Здесь уместно сказать о том, что английское слово digital имеет два основных значения: пальцеобразный и цифровой. Оно происходит от латинского слова digitus (палец). Общность корней этих двух слов не случайна: люди, как известно, сначала научились считать на пальцах, а затем перешли на цифры. Поэтому сердечник, о котором идет речь и который по внешнему виду напоминает клешню с девятью пальцами, по-английски называется digital cog. Сердечник и запоминающий валик показаны на рисунке, приведенном внизу.

Сердечник состоял из девяти рав-



Запоминающий валик, кодирующий крестики и нолики на игровом поле и препятствующий повороту сердечника

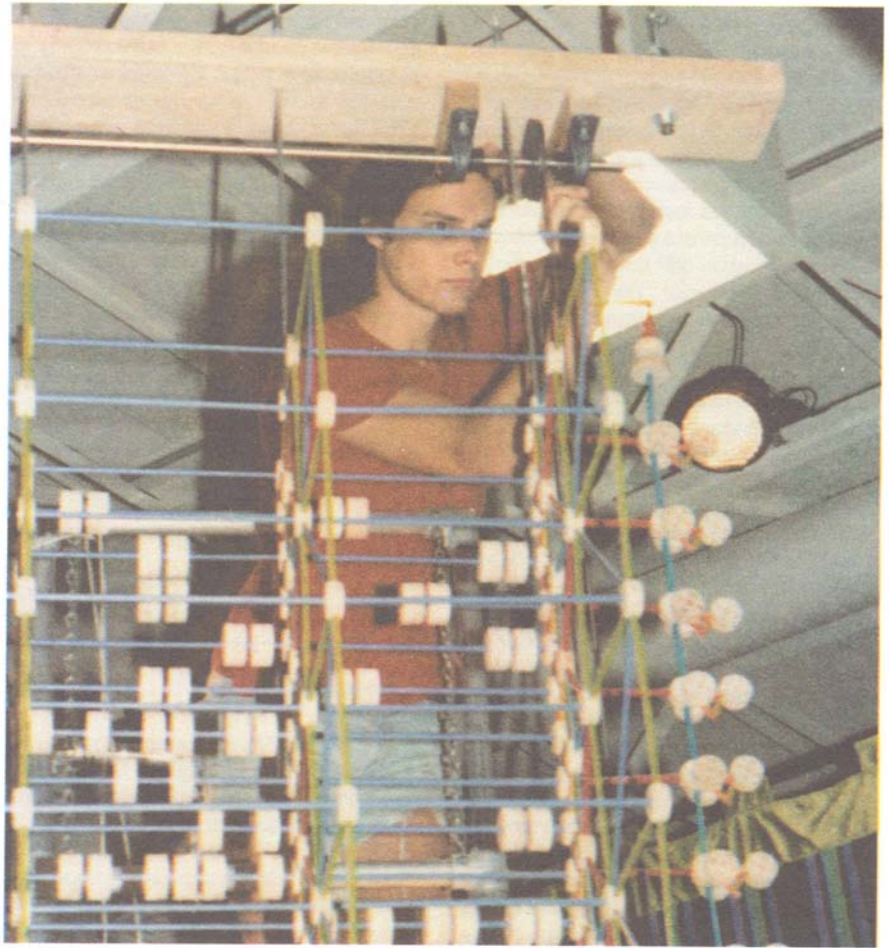
ных секций. У каждой из них был свой палец - короткий стержень, торчащий из ободка скользящей катушки. В каждой секции палец мог перемещаться вдоль оси сердечника и занимать одно из трех положений: одно для X, одно для O и одно для пробела. Таким образом, сердечник мог представлять любую из возможных позиций на игровом поле, закодированную положениями девяти пальцев, устанавливаемых оператором после каждого очередного хода. На рисунке на с. 90 положение пальцев (последовательно 2, 1, 2, 3, 1, 2, 2, 2, 2) соответствует позиции, изображенной там же.

Но если сложившаяся на данный момент ситуация на игровом поле хранится в сердечнике, то нужна ли компьютеру из тинкертоя еще какая-нибудь память? Нельзя ли построить такую систему из палочно-катушечных логических элементов, чтобы компьютер мог «подумать» над позицией и выдать ответный ход? В принципе это возможно, но подобный компьютер на тинкертоях был бы слишком сложным и имел бы колоссальные размеры. Запоминающие валики почти полностью исключили необходимость в размышлении. Значительную часть этой работы выполнял другой компьютер, запрограммированный Силверменом с целью анализа игры «крестики-нолики». А все функции механического компьютера сводились просто к поиску сложившейся позиции на запоминающих валиках. Единственная же цель этого поиска, конечно, заключалась в том, чтобы выбрать правильный ход.

На рисунке, приведенном на с. 89, видно, что каждому запоминающему валику соответствовало определенное число, записанное на бумажной полоске, висящей рядом с его выходной уточкой. Эти числа обозначали ответные ходы машины. В то время как головка чтения щелкает, продвигаясь вдоль ряда валиков, сердечник пытается повернуться, но не может до тех пор, пока хоть одна катушка запоминающего валика блокирует один из девяти пальцев сердечника. Только когда головка чтения прилегает к валику, отражающему сложившуюся позицию на игровом поле, все девять пальцев оказываются свободными, и сердечник проворачивается.

При помощи хитроумного механизма стержень, торчащий из одного конца сердечника, зацепляет другой стержень, соединенный с выходной уточкой. Таким образом, вращающийся сердечник сталкивает уточку с насестом и она указывает своим клювом на число, написанное на бумажной полоске.

Сторонники «настоящих» компью-



Э. Хардебек собирает компьютер из тинкертоев

теров, наверное, усомнятся в том, что сооружение из тинкертоев действительно заслуживает названия «компьютер». Безусловно оно не является машиной, программируемой в обычном смысле слова: здесь нельзя сесть за клавиатуру и набрать на ней программу, которую должна выполнить машина. Но, с другой стороны, можно изменить содержимое запоминающих валиков и таким образом перепрограммировать компьютер на другие игры. Представьте себе устройство из деталей тинкертоев, играющее в «го-моку нарабе» (игра с полем 11x 11 клеток, в которой один игрок пытается выстроить пять черных фишек в ряд, одновременно пытаясь помешать другому игроку создать такую же комбинацию из пяти белых фишек). Компьютер из тинкертоев, запрограммированный на эту игру, возвышался бы, наверное, до стратосферы.

Главный урок, которому может нас научить компьютер на тинкертоях, заключен в удивительном свойстве цифровых вычислений: в основе всякого вычисления лежит просто определенный поток информации. Мате-

риальная часть самого компьютера может принимать разнообразные формы и иметь различные конструкции. Можно построить безукоризненно действующие компьютеры не только из тинкертоев, но также из бамбуковых стержней, веревок и блоков (см. статью в рубрике «Занимательный компьютер» в июньском номере журнала за 1988 г.), пластмассовых трубок с водой и даже, как это ни удивительно, из электронных компонентов. Последние, конечно, предпочтительнее ввиду их высокого быстродействия. Не следует с иронией воспринимать компьютер, сделанный из тинкертоев, только потому, что он не электронный. В конце концов и провода с электрическим током, по-видимому, не являются наилучшим средством для быстродействующих компьютеров. Фотоны и оптические волокна начинают все больше вытеснять их, поскольку обеспечивают более высокое быстродействие.

На самом деле, детали тинкертоя хорошо подходят для цифровых вычислений. Например, в запоминающих валиках используется двоичный ПРИНЦИПприсутствие или отсутствие

катушек обозначает состояние данной клетки на поле «крестиков-ноликов». В работе сердечника также присутствует цифровая логика: он может повернуться лишь в том случае, когда ни один из его пальцев не блокируется соответствующими катушками на запоминающем валике. Здесь работает логическая операция И. Проследить за логикой работы сердечника можно по рисунку на с. 90: если первая катушка отсутствует в первой секции запоминающего валика И, вторая катушка отсутствует во второй секции И, третья катушка отсутствует в третьей секции И и т. д. - только если все 9 условий выполняются одновременно, сердечник может повернуться. Достоинство компьютера на тинкертоях не только в его остроумной механике, но и в тонкой логике.

Поклонники тинкертоя будут рады узнать, что студенты МТИ лишь за несколькими исключениями использовали в своей конструкции только деревянные палочки и катушки. Кое-где ферму укрепляют алюминиевые трубки. Два проволочных кабеля, ось и кривошип сообщают машине потенциальную механическую энергию, необходимую для выбора следующего хода. Наконец, места соединений между палочками и катушками были укреплены клеем и специальными шпильками, при помощи которых обычно прикрепляют к стене мемориальные доски. Создатели компьютера из деталей тинкертоя вставляли эти шпильки в отверстия, просверленные в ободке катушки, в ее центральное отверстие и пропускали через вставленную палочку - задачу, которую нужно было повторить более 1000 раз. (Когда Хиллис зашел в магазин, чтобы закупить несколько тысяч таких шпилек, продавец пришел в изумление. «Дело в том, - невозмутимо сказал Хиллис, - что нам нужно установить очень много мемориальных досок»~.)

Компьютер из тинкертоя разделил участь большинства музейных экспонатов. Его разобрали на части и сложили в ящики. Он находится в хранилище Среднеамериканского центра в ожидании, быть может, новой славы. Кто знает, возможно, когда-нибудь он снова будет, пошелкивая, идти от победы к победе - этот монумент детской мечте, машина из тинкертоя.

ВОТ УЖЕ шестой год я веду рубрику «Занимательный компьютер» и могу с сожалением констатировать, что есть многие вещи, которые выходят за рамки возможностей этой рубрики. Из-за недостатка места и времени мы не можем, например, нау-

чить читателей программированию, не можем упомянуть о сотнях увлекательных программ и о многих присылаемых читателями занятых историях и идеях, касающихся компьютеров. Потребовалось шесть лет, чтобы найти наконец способ, как удовлетворить эти и другие потребности: издание периодического бюллетеня новостей. Называется он «Алгоритм: бюллетень по персональному программированию» (Algorithm: The Personal Programming Newsletter); его первый номер уже поступил в продажу.

Бюллетень будет выходить раз в два месяца, и мы попытаемся его сде-

лать интересным и содержательным. Два раздела в бюллетене будут отданы любителям программировать. Один - для начинающих, другой - для более опытных программистов. В конце журнала будут регулярно появляться первые публикации «подпольных» программ со всех концов света. Письма, обзорные статьи и различные мнения специалистов - все это призвано открыть перед читателем неизведанный мир. Я с удовольствием вышлю экземпляр первого номера бюллетеня бесплатно всем, кто напишет мне на адрес журнала «Scientific American».

Наука и общество

Странное поле

НЕЙТРОНЫ, ядерные частицы, не имеющие заряда, и электроны, элементарные носители отрицательного заряда, взаимодействуют таким странным способом, что даже Майкл Фарадей, отец электродинамики, почувствовал бы себя не в своей тарелке, если бы узнал об этом. Недавно ученые из Университета шт. Миссури в Колумбии и Мельбурнского университета в Австралии провели эксперимент, показавший, что нейтрон может «чувствовать» присутствие электрона на расстоянии, не испытывая воздействия, обусловленного электрическим или магнитным полем нейтрона.

Чтобы поверить в существование этого слабого эффекта, необходимо сначала ознакомиться с элегантною теоретической работой Я. Ааронова и А. Кашера из Тель-Авивского университета. Эти ученые утверждают, что такое взаимодействие возможно, поскольку электрон создает так называемое потенциальное поле (потенциал), которое может приводить к появлению электрических и магнитных полей (см. статью: Дж. Имри, Р. Уэбб. Квантовая интерференция и эффект Ааронова-Бома, «В мире науки», 1989, № 6). Потенциальное поле появилось вначале в работах по квантовой механике и теории относительности как удобное с математической точки зрения понятие, но никакая физическая сущность с ним не связывалась. Однако теперь физики начали использовать его не только для формальных расчетов. Именно потенциальное поле в чистом виде - такое, которое не проявляется как магнит-

ное или электрическое, - может влиять на поведение нейтрона.

Каким образом нейтрон «чувствует» это потенциальное поле? Нейтрон обладает магнитным моментом (создает магнитную напряженность, ориентированную в определенном направлении), который легко обнаруживается каждый раз, когда нейтрон попадает в магнитное поле. Например, в магнитном поле Земли вектор магнитного поля нейтрона прецессирует с частотой 1000 с⁻¹. Ааронов и Кашер обосновали возможность еще более «эфемерного» эффекта: взаимодействия нейтрона и чистого потенциального поля.

Обнаружить эффект Ааронова-Кашера решила группа экспериментаторов, возглавляемых А. Чиммино, Дж. Опатом и Э. Клейном из Мельбурнского университета, а также Г. Кайзер и С. Вернер из Университета шт. Миссури. В статье, опубликованной в журнале «Physical Review Letters», эти ученые сообщают, что они направляли пучок нейтронов на электрод так, что каждый нейтрон мог пройти либо выше, либо ниже него. Об элементарных частицах нельзя заранее сказать, какой путь - «нижний» или «верхний» - выберет частица. Нейтрон можно представить в виде волны, в которой закодирована информация о вероятности его обнаружения по ту или другую сторону электрода в данный момент времени. Можно считать, что нейтронная волна расщепляется и проходит одновременно и выше и ниже электрода.

«Верхняя» и «нижняя» волны направлялись затем на кристалл кремния, где они интерферировали. Если волны усиливают друг друга, то шанс

обнаружить нейтрон был большой, если же волны гасят друг друга, то этот шанс был небольшой.

С помощью двух детекторов физики подсчитывали нейтроны, наблюдаемые когда электрод был заряжен отрицательно и когда он был заряжен положительно. Поскольку в каждом состоянии электрод генерирует разное потенциальное поле, «верхняя» волна смещается относительно «нижней» волны. Эти смещения вызывали небольшие изменения в интерференции волн и, следовательно, влияли на число детектируемых нейтронов.

В течение нескольких месяцев экспериментаторы наблюдали примерно 50 млн. нейтронов; при этом они обнаружили, что изменение отсчетов составляет 1 на 1000 при переключении полярности электрода. Они считают, что этот результат не может быть объяснен в рамках обычных представлений о магнитном или электрическом полях и что он согласуется с предсказаниями Ааронова и Кашера.

Осторожно: давление

НЕСКОЛЬКО лет назад один из менеджеров компании Global Divers Contractors, Inc. К. Граббс по прозвищу «Белый», которого считают отцом подводной сварки, решил, что он уже сыт по горло попытками научить водолазов сварке и лучше учить сварщиков водолазной технике. «Все думают, что я рехнулся», - признается он. Прошедшим летом Граббс обучил 42 сварщиков из фирмы Chicago Bridge Iron Company и направил их ремонтировать буровые вышки в Мексиканском заливе. «Я потерял только двоих», - заявил он. - «Что значит «потерял»? Одного рабочего стали мучить сильные головные боли при декомпрессии, хотя электроэнцефалограмма не выявляла никаких нарушений. Другой сорвался с вышки, на которой вел сварку. Благодаря страховочному концу падение прекратилось, однако, по словам Граббса, злополучный водолаз так сильно испугался, что вряд ли теперь будет заниматься подводными работами.

Такими историями изобилует водолазное дело. Однако риск можно в некоторой степени уменьшить. Долгие годы в медицинских исследованиях пытались выяснить, приводит ли многократное воздействие давления на человеческий организм к кумулятивному негативному эффекту в органах и тканях. Сотрудник кафедры анестезиологии Медицинского центра Университета Дьюка Р. Мун, изучающий нарушения, связанные с погруже-

нием под воду, резюмировал нынешний уровень знаний в этой области следующим образом: «Судить с определенностью все еще ни о чем нельзя».

В США среди миллионов людей, совершающих подводные погружения, те, кто зарабатывает этим деньги, составляют очень небольшую долю. Но любой из них может стать жертвой обычных проблем погружения - газовой эмболии и кессонной болезни. Газовая эмболия (закупорка сосудов пузырьками воздуха) возникает, когда воздух в легких расширяется в процессе подъема из глубины на поверхность. Этого не случится, если, всплывая, выдыхать. Кессонная болезнь - результат того, что когда человек оказывается под повышенным давлением, азот растворяется в крови, а при возвращении к атмосферному давлению переходит в газообразное состояние. Пузырьки газа могут вызвать боли, паралич, судороги и даже потерю сознания.

Этих острых явлений можно избежать, если подниматься на поверхность медленно или с помощью водолазного колокола, в котором поддерживается нужное давление вплоть до достижения поверхности, а там медленно снимается. Постепенная декомпрессия позволяет человеку выдыхать газы, которые были растворены в крови, но перешли в газообразное состояние. Для определения продолжительности декомпрессии пользуются таблицами, изданными Военно-морским флотом США. Например, после пребывания на глубине 30 м в течение 1 ч следует снимать давление не быстрее чем за 40 мин. Однако эти таблицы не вполне надежны. Мун отмечает, что более чем в половине случаев погружений, приведших к кессонной болезни, время декомпрессии определяли по таблицам ВМФ США.

Несколько исследовательских групп пытаются выяснить, чем обусловлены индивидуальные различия в способности переносить декомпрессию. Мун и его коллеги полагают предварительными данными, свидетельствующими о связи между тяжелыми случаями кессонной болезни и врожденной аномалией сердца, вследствие которой часть крови не протекает через легкие и тем самым содержащиеся в ней газы лишаются выхода.

Самые длительные и глубокие погружения и притом регулярные приходится совершать тем, кто обслуживает и ремонтирует нефтяные вышки на континентальном шельфе. Оплата у этих рабочих почасовая и, кроме того, им доплачивается «за глубину». На этой работе совершают до 140 по-

гружений в год на глубины до 300 м, и выгодно, чтобы декомпрессия проводилась так быстро, как только физиологически возможно.

Когда погружение очень длительное и на большую глубину, вообще нет смысла проводить декомпрессию. В таких случаях применяется насыщение крови газами, нейтрализующими действие азота (вместо воздуха используется, например, азотно-гелиевая смесь). Люди, которым предстоит погружение на долгий срок, на борту судна находятся в помещении, где создается давление, соответствующее на глубине погружения; к месту подводных работ и обратно их доставляют в водолажном колоколе. Как правило, пребывание под давлением продолжается в среднем 20 дней и все это время люди не имеют физического контакта с надводным миром.

Профессиональные заболевания, связанные с погружением, - это весьма острая медицинская проблема, по мнению К. Ван Метер из Медицинского центра Джо Элен Смит в Новом Орлеане, занимающейся лечением таких заболеваний при помощи барокамеры. Результатом неадекватной декомпрессии может быть остеонекроз (омертвление костной ткани), если газовые пузырьки блокируют кровоснабжение кости. Притом образование газовых пузырьков и закупорка капилляров в костной ткани, по-видимому, не обязательно ведут к выраженным симптомам кессонной болезни. Правда, у этих сложных и тонких эффектов могут быть и другие причины помимо декомпрессии, в том числе хронический алкоголизм; так считает Дж. Морган Уэллс, возглавляющий работы по подводным погружениям в Национальном управлении по исследованию океанов и атмосферы США.

Имеются также данные о том, что вследствие погружений могут появляться неврологические нарушения без острых симптомов. Я. Колдер и А. Палмер из Кембриджского университета провели аутопсию лиц, совершивших погружения, с целью исследовать изменения центральной нервной системы. В ряде случаев были обнаружены повреждения спинного мозга, являющиеся скорее всего следствием погружений; сейчас исследуется головной мозг. У специалистов по водолазному делу есть своя теория неврологических нарушений. Президент Ассоциации подрядчиков подводных работ А. Галерн, который занимается погружениями 40 лет, говорит: «Прежде всего, они сумасшедшие. Любой нормальный человек будет держаться подальше от этого дела».

Птицы на грани гибели; образы ледниковой эпохи; кухонная наука; динозавры во плоти



ФИЛИП MORRISON

Алан Ф. Пул. СКОПЫ: ЕСТЕСТВЕННАЯ И ИСКУССТВЕННАЯ ИСТОРИЯ. OSPREYS: A NATURAL AND UNNATURAL HISTORY, by Alan F. Poole. Cambridge University Press, 1989 (\$27.95).

БЕЗОБЛАЧНЫЙ летний день на болоте. Белогрудая хищная птица, усевшаяся на большой стопке хвоста, представляющей собой ее гнездо, время от времени издает пронзительный свист, подавая этим предупреждающий сигнал. Вскоре подлетает меньшая по размерам особь - самец, который тащит рыбку, только что выловленную на близлежащем мелководье. Эта пара скоп - супруги на всю жизнь - с нежностью растит трех недавно появившихся на свет пушистых птенцов.

Скопа - один из самых известных видов хищных птиц. Она лишь немного отличается от родственных соколов в связи с тем, что ловит рыбу в поверхностных водах. Во всех изученных популяциях рацион скоп на 99% составляет живая рыба. Эти птицы редко гнездятся дальше чем 1-2 км от края моря. Они охотятся с лета: обычно птица делает в воздухе медленные круги, высматривая добычу, и в нужный момент резко устремляется вниз с выставленными вперед когтями, совершая почти свободное падение, слегка регулируемое крыльями и хвостом. Эти живые бомбардировщики не могут последовать за рыбой в глубь воды и царят только в верхнем полуметровом слое водной толщи. Оптимальными являются мелководные местообитания - пресноводные лагуны, солоно водные заливы, эстуарии или одиночные острова в озерах и морях. Собственно, скопы живут сразу на двух экологических границах: одна - это физическая граница между водой и сушей, а другая - меняющаяся граница между территориями, занятыми дикой природой и находящимися в круге деятельности человека.

В викторианские времена в Шотландии скоп чаще всего можно было увидеть (и очистить их гнезда) в та-

ких местах, как руины заброшенного замка Лох-ан-Эйлейн. В наши дни скопы, как свидетельствуют фотографии, встречаются в разнообразных местообитаниях. Известно гнездо скоп на ажурной вышке посреди оживленной стоянки автомобилей на побережье в шт. Коннектикут. Обнаружены четыре гнезда на высоких стальных опорах высоковольтной линии электропередач, проходящей по озерному району Северо-Германской низменности. Скопы, эти независимые рыболовы, никогда не знавшие колпачка и рукавицы сокольника, замечательно приспосабливаются к новым условиям.

Немногих птиц можно назвать большими космополитами. Скопы водятся на всех материках, кроме Антарктиды. Они гнездятся от озер Швеции до коралловых островов Большого барьерного рифа. Скопы зимуют в тропиках, но едва ли гнездятся там (кроме как в Мексике, Белизе и на северном побережье Австралии). По оценке Пула, численность скоп во всем мире в целом составляет примерно 30 тыс. пар. Тысяч двадцать из них гнездятся в Северной Америке, большинство - вблизи внутренних водоемов в лесах от западной части Аляски до Атлантического побережья Канады.

Зимой там, где водоемы замерзают, рыбу неловишь. Поэтому северные популяции скоп мигрируют на зиму в тропики. В результате длившейся десятилетия работы по кольцеванию и спасению скоп (в книге Пула живо описана процедура кольцевания, которую далеко не просто осуществить с этой мускулистой своенравной птицей) установлены пути миграции скоп на юг во влажные тропики. Из Скандинавии они летят в мангровые заросли и дождевые тропические леса Западной Африки. На этом пути птицам приходится 50 часов без остановки лететь над Сахарой, разумеется, без всякой возможности подкрепиться на ходу рыбой. С востока США они летят через Карибское море, где делают только одну

остановку на острове, к дождевым лесам у рек северных районов Колумбии и Венесуэлы.

Под жарким солнцем тропиков скопам живется легче, судя по бюджету энергии во время зимовки и в период размножения. Пребывая в шт. Массачусетс, в течение зимы и лета, самец кормит помимо себя, как правило, самку и в среднем трех птенцов. Каждый день он ловит 6-8 рыб, на что уходит более трех часов, и около 60% общего количества потребленной энергии тратится на полет и охоту. А на зимовке в Сенегале птицы живут каждая сама по себе и, ничем не обремененные, ловят в среднем по две рыбы, находясь в полете около получаса за весь день. Однако скопы не размножаются на этих гостеприимных зимних квартирах. Почему-то среди многочисленных мигрирующих особей нет размножающихся.

Вообще о скопах известно немало, что отчасти связано с кризисом, который переживает этот вид. В книге Пула подробно рассказываются две истории упадка и возрождения. Как и прочих хищных птиц на Британских островах, в Шотландии скоп на протяжении столетий становилось все меньше и меньше вследствие охоты и разрушения местообитаний. Хотя, будучи рыболовами, скопы не представляют никакой опасности для крестьянских птичьих дворов, к ним относились как к вредным хищникам заодно с ястребами, коршунами и т. п. В середине XIX в. сам факт, что скопа стала редкой птицей, сыграл роль ускорителя ее исчезновения. Натуралисты-фанатики стремились заполучить яйца и чучела скоп, которые служили предметом торговли как коллекционные экспонаты. Когда скопы перевелись, один из таких ярых охотников с сожалением писал своему знакомому: «Боюсь, г-н Сент-Джон, стараниями Вашими и Вашего покорного слуги скопам пришел конец». Последнее в Шотландии гнездо скоп наблюдали в 1916 г. Но в Скандинавских странах широко занялись защитой птиц, и в 1950 г. в Шотландии появилось несколько пар скоп, вероятно прилетевших из Швеции. На этот раз натуралисты, словно раскаявшись, заняли иную позицию. В 1981 г. любитель природы, оказавшийся миллионным желающим посмотреть на скоп, был торжественно препровожден на наблюдательный пункт в заповеднике, устроенном вокруг гнезда первых вернувшихся скоп. На Северо-Шотландском нагорье скопы сделались приманкой для туристов, и местная популяция скоп быстро растет.

Вторая история произошла в прибрежном районе между Нью-Йорком и Бостоном. В 1930-е годы здесь на-

считывал ось около 1000 гнездящихся пар скоп. О том, сколько их было за сто лет до этого времени, сведений нет, но разумно полагать, что вдвое больше. Обладая более высокой численностью, американская популяция скоп пережила урон от охоты, которая погубила птиц Британских островов. Вокруг соленых болот в устье реки Коннектикут сложилось в своем роде защищенное поселение скоп. Было замечено, что гнездящиеся скопы отгоняют других хищных птиц, терроризирующих домашнюю птицу, и Фермеры нередко ставили шест с колесом от телеги, чтобы привлечь скоп для гнездования.

В 1957 г. студент Йельского университета Питер Эймс принялся исследовать устье реки Коннектикут. Вскоре он пришел к выводу, что численность скоп катастрофически падает со скоростью 30% в год. Поначалу причиной этого казалось хищничество со стороны других животных, поскольку в болотистой местности скопы гнездятся на открытой почве. Им были сделаны гнезда, недоступные для енотов, но падение численности продолжалось. Ряд исследований, включавший химический анализ и перенесение гнезд в другие места показал, что успех размножения скоп снижается из-за загрязнения среды химикатами, известным под аббревиатурой ДДТ. Соленые болота интенсивно обрабатывали им, чтобы уничтожить комаров, в результате сильно загрязненной оказалась рыба, а через нее - скопы.

Исследования, проведенные на британских островах, выявили связь между загрязненностью среды хлорорганическими пестицидами и толщиной скорлупы яйца у хищных птиц. В Швеции было проведено сравнение толщины скорлупы старинных музейных образцов яиц и собранных в начале 1970-х годов. Статистические результаты этого исследования весьма красноречивы. При истончении яичной скорлупы на 15-20% популяция скоп резко сокращается, так как хрупкие яйца бьются при высиживании. (Сейчас уже известен фермент, недостаточность которого обуславливает тонкость яичной скорлупы.) Резкие спады численности объясняются тем, что на толщине скорлупы сильнее всего сказывается появление в среде ДДТ в концентрации 5-10 X 10⁻⁶ частей, а дальнейшее увеличение концентрации уже не существенно. Теперь в США применение ДДТ запрещено, а такие факторы, как дизлдрин, полихлорбифенилы, ртуть, кислотные дожди, на скоп, похоже, не влияют.

Численность скоп, гнездящихся вдоль побережья Новой Англии, в настоящее время удваивается каждые

6-7 лет. Эти птицы здесь являются спутниками человеческих поселений, которые предоставляют им безопасные места для гнездования, например буи, сваи, шесты, столбы, не говоря уж о «птичьих приютах» - специально построенных помостах. Кроме того, скопы находят вблизи человека изобилие рыбы.

На острове Мартас-Виньярд возле жилого дома, дороги или оживленной пристани в поле зрения можно насчитать до 45 гнезд скоп. На этом маленьком острове их гнездится больше, чем на диких берегах озер, рек и заливов во всей Шотландии.

Этот вид отличается удивительной приспособляемостью. Скопы Новой Англии чувствительны к загрязнению среды пестицидами, но об интенсивности хозяйственной деятельности человека по ним ничего не скажешь. Способность скоп сосуществовать с человеком создает для них большой риск, но поскольку птицы находятся у людей на глазах, те о них не забывают, так что близость к человеческому жилью для скоп в каком-то смысле спасительна. В деле спасения скоп научные изыскания сопряжены с практическими интересами людей: бережное отношение к дикой природе - залог благополучия человечества. Вид *Homo sapiens* обладает еще большей приспособляемостью, обусловленной разумом. Если повезет, разум спасет человека, а заодно и скоп.

Автор изучает скоп вот уже пятнадцать лет. Богатое содержание его книги, захватывающая манера изложения, прекрасные рисунки (выполнены М. Ла Фарт), продуманное цитирование, доказательность утверждений - все это делает ее на редкость привлекательной для читателя. Его труд - образец научного подхода, которого порой недостает в подобного рода работах.

Поль Г. Бан, Джин Верту. Образы Ледниковой эпохи. Images of the Ice Age, by Paul G. Bahn and Jean Vertut. Facts on File, Inc., 1988 (\$ 35.00)

СВОЕЙ загадочностью и неповторимостью произведения искусства палеолита, обнаруженные в пещерах на юге Франции и в Северной Испании, привлекают к себе внимание уже не одного поколения людей. И вот вышло в свет великолепное новое издание, позволяющее читателю как бы самому познакомиться с творениями наших далеких предков.

Книга открывается кратким предисловием Роберта Бегуэна, в котором он рассказывает об авторах издания. На фамильных землях графа Бе-

гуэна были обнаружены пещеры с изображениями людей и животных. Внутри пещеры прекрасно сохранились благодаря тому, что природа замуровала входы в них еще в палеолите. Лишь в 1912 г. в эти пещеры вновь ступила нога человека. В них уцелели не только изображения на стенах и вылепленные из глины фигуры людей и животных, но и следы детских ног, кремневые орудия, а в одной из пещер - челюсти медведя, из которых ее обитатели удалили столь ценившиеся ими клыки.

В конце книги имеется приложение, в котором Александр Маршак - автор методов микроскопического анализа палеолитических изображений - рассказывает о своем друге Джине Верту - талантливом инженере, непревзойденном мастере фотографии пещерных изображений. Верту был автором большинства фотографий, которые сопровождают обширное исследование палеолитического искусства, опубликованное Андре Лерой-Гуроном в 1971 г. Сотни превосходных цветных фотографий этого художника, безвременно скончавшегося в 1985 г., вошли и в настоящее издание.

Всего в книге 8 глав; все они написаны Полом Баном - молодым археологом из Англии. Автор знакомит нас не только с историей открытий произведений первобытного искусства, но и с последними результатами их исследований. Повествование его искренне, логично и всякий раз подкрепляется фактами. Много в книге, возможно, известно читателю, но еще больше он узнает впервые. Пол Бан рассказывает о 275 местах в Европе, где обнаружены произведения первобытного искусства и о тысячах предметов, свдечествующих о верованиях и занятиях наших предков. Когда возникло первобытное искусство? Насколько сложно определить возраст наскальных изображений? Эти изображения с течением времени покрываются кальцитной коркой, которая неравномерна по толщине даже в одной пещере. Благодаря такому прозрачному у покрытию невозможно спутать изображения, созданные первобытными людьми, с более поздними изображениями, однако оно позволяет изучать эти изображения лишь качественно. Для некоторых «нестационарных» произведений первобытного искусства существуют радиоуглеродные датировки, однако большинство из них не столь древние. Построение хронологий пока осуществляется на основе стилей. Из примеров, приводимых автором, мы видим, сколь много неопределенного и субъективного заключает в себе такой подход. В пещере Альтамира (Ис-

пания) были обнаружены наскальные выгравированные изображения, схожие с изображениями на костях животного, найденных там же. Как показала радиоуглеродная датировка, возраст этих костей составляет 15 500 лет. На основании этого был сделан вывод, что и наскальные изображения головы оленя имеют такой же возраст.

Западная Европа далеко не единственное место, где обнаружены произведения первобытного искусства. Творения древних художников, созданные, по оценкам исследователей, 10-20 тыс. лет назад, найдены даже в Новом Свете - в Мексике и Бразилии. В Намибии обнаружены разукрашенные изображения носорогов и зебр. На карте палеолитических находок теперь отмечены и районы Австралии. Совсем недавно в южной части этого континента обнаружено множество изображений на стенах ям, где жили люди каменного века (в целях сохранения изображений, местонахождение этих ям пока держится в секрете). Эти сделанные пальцем замысловатые рисунки из кружков и ромбиков вряд ли можно отнести к произведениям изобразительного искусства. В настоящее время с целью датировки проводится радиометрический анализ карбонатных отложений, в которых сделаны эти рисунки. По предварительной оценке, их возраст составляет не менее 15-20 тыс. лет.

Что хотели передать в своих произведениях первобытные художники? Или ответ на этот вопрос столь же неопределенный, как и датировки изображений? Ученые, пытающиеся истолковать первобытные изображения, похожи на *робинзонов*, изучающих каждую *пятницу* ими «выдуманные» следы и делающих новые предположения. Взять хотя бы вылепленную из глины фигуру медведя без головы, обнаруженную в пещере Монтеспан (Франция). Поначалу предполагалось, что она служила для воспроизведения сцены охоты: медведь был «убит» ударами дротика (за следы этого оружия были приняты отверстия в глиняной фигуре медведя) во время ритуального танца вокруг БУДушейдобычи. Но как можно было исполнять ритуальный танец в столь стесненных условиях? - Над головой нависает потолок, всего в метре от фигуры медведя находится стена, да и «отверстия» от дротика, скорее всего, имеют естественное происхождение и обусловлены текстурой глины.

Лишь немногие из изображений «Венер», созданных в каменном веке, (их известно сейчас примерно 150) имеют понятный контекст. Большинство «Венер», видимо, были созданы

гораздо раньше крупных рисунков. Они не отличаются необычными пропорциями и по ним ничего нельзя сказать об их расе. Представление о том, что мужчины каменного века «занимались лишь охотой и любовью», выглядят сейчас слишком упрощенным. Ведь они еще и творили, и это не было праздным занятием. Все, что ими создано, имеет определенный смысл, даже расположение животных на том или ином рисунке вряд ли произвольно. В наш компьютерный век появились различные интерпретации этих изображений. Гипотез об их характере (мнемонический, мистический, космологический, отображение времен года и т. д.) высказывается немало. Некоторые из них выглядят вполне убедительно.

Мы действительно пока не знаем, как прочесть «емкие и образные послания» первобытных людей. На что вообще можно рассчитывать без «носителя языка»? Видимо, только на дальнейшее скрупулезное изучение этих посланий. И некоторые успехи здесь уже есть. Взять хотя бы две небольшие глиняные фигуры лежащих бизонов, обнаруженные в пещере Тюд д'Одубер. Мы знаем, что создавший их скульптор не жил в этой темной и узкой пещере. В том месте, где найдены эти изображения, могли находиться лишь 3-4 человека. Следы, оставленные рукой скульптора, вполне понятны. Среди них глиняные «колбаски» с углублениями от пальцев - результат «проверки качества» влажной глины, принесенной из соседней ниши. «Напротив бизона мы обнаружили лишь один выгравированный знак ... напоминающий подпись», - говорит Верту. Каково бы ни было значение этого знака, искусство наших далеких предков порождает не только гипотезы, но и чувство восхищения.

Гарольд Макги. О пище и ее приготовлении: наука и практика
Op Food and Cooking: The Science and Lore of the Kitchen, by Harold McGee. Collier Books, Macmillan Publishing Company, 1984 (\$16.95).

ВСЕ ЛЮДИ едят, а многие сами готовят. Тот, кто ищет более тонких удовольствий в поразжающем изобилии порядке, заключенном в кулинарии, будет с лихвой вознагражден буквально каждой страницей этой объемистой книги, битком набитой информацией и хорошим настроением. В ней рассматриваются природа и технология изготовления всех основных продуктов питания - от молока и сыра до шоколада и крепких спирт-

ных напитков. В завершение книги автор дает элементы физиологии пищеварения и краткое изложение физико-химических принципов кулинарии, построенное на основе теории теплопередачи в воздухе, воде и масле. Извилистым путем читатель проникает в историю идей, размышляет над экономическими проблемами растениеводства и социальными аспектами выращивания плантационных культур, знакомится с диковинными рецептами, цитируемыми по старинным источникам (в частности, по трудам Катона, который считал, например, что капуста превосходит все прочие овощи), получает представление о внушающих тревогу последствиях применения пищевых добавок.

Для иллюстраций использованы новейшие способы получения изображений; так, приводятся изображения микроструктуры домашнего многокомпонентного хлеба, масла и мороженого вплоть до уровня разрешения электронной микроскопии. Пище посвящена обширная литература, что неудивительно, коль скоро еда является важной частью хозяйственной деятельности человека. В специальной литературе содержится масса разнообразной информации о продуктах питания, и Макги широко использует ее в своей книге, ухитрившись все эти знания вместить в разумный объем. Сложность системы «кулинарной информации» вполне доступна для читателя благодаря тому, что все мы говорим о еде ежедневно и постоянно черпаем отовсюду всевозможные сведения о ней. Последние страницы книги отведены незримо - атомам, молекулам, энергии - в помощь читателю, подзабывшему атомно-молекулярные представления; этот «букварь» очень хорош, если не считать нескольких неудачных строк о взаимодействии протонов и электронов.

В книге имеется множество таблиц, в которых перечисляются различные характеристики пищевых продуктов, а также схем изготовления некоторых продуктов - сыра, соевого соуса, соевого творога, пива, вина (эти схемы представляют собой не прописи или рецепты, а скорее объяснение основных этапов производства того или иного продукта). Этот фактический материал дается в соответствующем контексте и является частью исторического обзора. Один автор ХУН в. считал шоколад (слово «шоколад» - взято из языка науатль, на котором говорили древние народы Центральной Америки, в том числе ацтеки; в настоящее время основной источник какао - Западная Африка) очень полезным для солдат, так как,

поев шоколада, человек может не спать всю ночь. Кондитерским продуктом шоколад стал только в XIX в., когда была усовершенствована технология обработки плодов какао и появился в избытке сахар.

Соя, которая сейчас в Америке среди товарных культур занимает одно из первых мест по объему производства, во всем мире служит пищей и людям, и домашним животным. С давних пор в Китае из сои делали своего рода сыр - соевый творог. Молочные сыры делаются из подвергнутого бактериальному брожению молока с добавлением животных жиров при помощи фермента, выделяемого из желудка крупного рогатого скота. А при изготовлении творога из сои растворимые белки профильтрованного соевого «молока» осаждают сернокислым кальцием. Получается белая, как снег, масса; сама по себе она безвкусна, но с приправами очень хороша (так охарактеризовал соевый творог некий странствующий монах в XVII в.)

Домашняя практика кулинарного искусства лишь изредка и, в общем, случайно отвечает научным соображениям. Взять для примера историю с рекомендацией обжигать мясо перед жарением, чтобы сохранить его соки и питательность. Эта идея принадлежит выдающемуся немецкому химику Юстусу Либиху, который в 1850 г. опубликовал труд по химии мышц; не прошло и десяти лет, как обжигание вошло в практику, по крайней мере в Англии и Америке. Однако знаменитый ученый, во многом истинный авторитет, в данном случае был совершенно неправ. На самом деле мясо не теряет своих соков при жарении, а корочка, образующаяся при обжигании, вовсе не является водонепроницаемой. Даже в долго варившихся ломтиках мяса сохраняется большая часть белков. Однако в викторианскую эпоху авторы кулинарных книг нашли обоснование (неважно, что ложное) этому приему и почти целый век - начиная за десятки лет до Фанни Фармер* и еще довольно долго после Эскофье** - руководства по кулинарии оставались верны внушавшей доверие точке зрения Либиха.

* Фанни Фармер (1857-1915) - прославленный американский кулинар. Основала в 1902 г. Кулинарную школу, в которой искусство готовить обучали не будущих шеф-поваров, а домохозяек.

** Огюст Эскофье (1846-1935) французский кулинар, знаменитый своими нововведениями; автор нескольких руководств по кулинарии, шеф-повар ряда лучших европейских ресторанов. - *Прим. ред.*

Немногочисленные повара старой школы осуждали новый метод, но только в 1930-е годы были проведены измерения, показавшие, что обожженное мясо теряет больше жидкости, чем жаренное без предварительного обжигания. На протяжении примерно одного поколения предпочтительным считался новый (собственно, старый) низкотемпературный метод. Однако это продолжалось недолго. К 1970-м годам совет обжигать мясо перед жарением опять появился в популярных кулинарных книгах. Теперь этому приему давалось другое обоснование: обжигание не герметизирует, но подрумянивает. Подрумянивание, несомненно, придает кушанью дополнительный аромат (свидетель - «гибридная» микроволновая печь, позволяющая получать корочку) и повара принялись спорить по более тонкому вопросу: что делать сначала - подрумянивать или прожаривать. Некогда известный экстракт Либиха (его получали из бульона от долго варившегося мяса, белки которого, как считалось, переходили в воду) может быть использован для приготовления прозрачных супов, но его питательная ценность сильно преувеличена. Непроверенное предложение Либиха создавать путем обжигания непроницаемый слой, удерживающий в мясе его соки, казалось убедительным, но явилось неэффективным на практике, подобно многим общепринятым теориям, родившимся за пределами кухни.

В празднике знания есть и горечь: многие растения содержат нестабильный комплекс сахара с цианидом. У всех членов семейства розоцветных - в яблоках, грушах, цитрусовых, а также в персиках и прочих косточковых плодах - семена несут этот цианидный компонент. Единичные семечки или косточки - это, конечно, не проблема, так как их обычно выплевывают. Тем не менее бывало, что люди умирали после того, как съедали несколько десятков жареных яблочных семечек. Новостью для многих, наверное, будет то, что такой вроде бы хорошо знакомый овощ, как лимская фасоль, тоже включает довольно большое количество цианидсодержащего соединения. В США выращиваются только безопасные сорта лимской фасоли, а вот на Яве или в Бирме ее можно есть лишь, приготовленную особым способом.

Р. Макнейл Александер. БИОМЕХАНИКА ДИНОЗАВРОВ И ДРУГИХ ВЫМЕРШИХ ГИГАНТОВ. Dynamics of Dinosaurs and Other Ex-

tinct Giants, by R. McNeill Alexander. Columbia University Press, 1989 (\$30.00).

НЕУЖЕЛИ высохшие кости можно оживить? Профессору Александеру из Лидсского университета - крупному специалисту по биомеханике - это удалось. Он так ловко соединил фрагменты скелета ископаемого существа, что оно прямо-таки скачет перед нашим мысленным взором. Ему понадобилось не так уж много: чуть-чуть математики, несколько пластмассовых моделей, воспоминание о виденных на равнинах Кении атилопах и жирафах и, наконец, тонкое ощущение точности физической адекватности. Свои несложные, но далеко не примитивные выкладки Александер вложил в чудесную небольшую книжку, предназначенную для всех ученых и неученых.

Метод автора отличает широта: это сравнительный инженерный анализ крупных организмов с точки зрения физической необходимости, сопрягающей структуру и функцию, и конструктивных тенденций эволюции. Читатель получает как удовольствие, так и знания. Хотите взвесить динозавра? Приобретите в Лондонском музее пластмассовые модели, сделанные в масштабе 1:40. Они довольно точно соответствуют наиболее известным экземплярам скелетов ископаемых видов, но не лишне проверить их пропорции. Объем тела животного определяют, взвешивая его модель в воде и без воды.

Какова была плотность тела у динозавров? Один английский зоолог определил плотность девяти вымерших нильских крокодилов, которые были примерно таких же размеров, как современные (крокодилы родственны древним гигантским рептилиям). Получилось, что эти животные имели плотность на 80% больше, чем плотность воды. Ныне живущие крокодилы могут и плавать, выставив над поверхностью воды только ноздри, и лежать неподвижно на дне. Они способны регулировать среднюю плотность своего тела, изменяя объем легких. Правоммерно считать, что у динозавров средняя плотность тела равнялась плотности воды. Представитель предыдущего поколения исследователей Эдвин Г. Колберт тоже определял объем и плотность вымерших рептилий, пользуясь гипсовыми моделями. В книге Александера имеется таблица, в которой приведены результаты, полученные этим методом, для десяти видов. Оценки расходятся: коренастый трицератопс весил, по Александеру, 6 т, а по Колберту - 9; длинношейй брахиозавр

(самый крупный из экземпляров, от которых остались почти полные скелеты) - 87 и 47 т соответственно. Точность этого метода зависит от проверяемого фактора, а именно как изготовитель модели оденет плотью голые кости.

Недавно три зоолога из разных стран предприняли иной подход. Они определяли размеры тела по окружности бедренной кости. Такие измерения были проделаны для ряда современных млекопитающих от мыши до слона, причем учитывалось изменение веса тела в течение жизни и использовались данные о главных костях всех четырех конечностей. Выявилась тесная корреляция: зависимость веса тела от окружности бедренной кости оказалась степенной, а в логарифмической системе координат - четко прямолинейной. Правда, были и несоответствия: по этой зависимости вес бегемота и слона в 1,5-1,6 раза отличается от реального. Этим методом вес брахиозавра получается всего 32 т. В данном случае не используются никакие модели и их недостатки не имеют значения. Однако размеры динозавров оцениваются по данным, полученным для не очень-то похожих на них животных, которые к тому же сравниваются на основании измерений всего нескольких крупных костей. Оценки согласуются, но они лишь очень приближительные.

Косвенным путем по сохранившимся следам определяют «походку» и скорость передвижения динозавров, по прочности конечностей и спинного хребта судят о положении тела, шеи и хвоста (у бегающих на двух ногах динозавров хвост был жестким и не волочился, а держался на весу), строят предположения об использовании рогов для ритуальных схваток. Для анализа движений нужна, конечно, более основательная физическая база, однако и она недалеко от тривиального опыта. Эволюционные рассуждения автора по этому поводу довольно прямолинейны.

Все эти рассуждения группируются вокруг вопроса о том, обладали ли гигантские вымершие рептилии способностью поддерживать постоянную температуру тела, генерируя тепло в процессе обмена веществ или же только согреваясь на солнце. Физические закономерности переноса тепловой энергии выходят на первый план; автор даже приводит составленную им кривую остывания печеной картошки, после того как ее вынули из печи. Но ответ ускользает; физические соображения неубедительны, а популяционные соотношения хищников и жертв слишком неопределенны, что-

бы утверждать, что численность плотоядных динозавров была как раз такой, какая должна быть у теплокровных хищников. Александра озадачивает следующее рассуждение: если у динозавров энергообмен был таким, как у млекопитающих, и если растительность была в те времена столь же обильной и быстро восстанавливающейся, как сейчас, то динозавры могли бы быть столь же многочисленными (по весовым категориям), как современные млекопитающие в пять раз меньшей массы. Вообразим равнины Восточной Африки и на фоне этого пейзажа вместо трехтонных сло-

нов - пятнадцатитонных диплодоков. Земля показалась бы, наверное, переполненной динозаврами.

Сейчас выходит в свет множество изданий, посвященных динозаврам, но читателя, несомненно, привлечет книга Александра, являющаяся простым и убедительным примером единства естественных наук. Если вам хочется узнать о водных и летающих рептилиях или о гигантской мадагаскарской птице с ногами почти как у слона, которая откладывала огромные яйца, вывод ясен: непременно надо прочесть эту книгу.

Наука и общество

Роботы приходят в дом

В 1984г. уходя на пенсию и оставляя компанию Unimation, Джозеф Ф. Энджелбергер заявил, что больше не будет заниматься роботами, и купил себе яхту. Увлечение мореплаванием длилось два месяца. Теперь человек, о котором часто говорят как об основоположнике промышленной робототехники, мечтает о том, чтобы роботы вошли в каждый дом. «Я хочу, чтобы они драили полы, готовили обед, выходили на улицу и мыли мою машину, охраняли мой дом и занимались всякими такими вещами».

Роботами Энджелбергер увлекся более 30 лет назад. В то время его идеи были встречены со скептическим безразличием; в конце 70-х годов роботы, наконец, привлекли к себе внимание, но затем интерес к ним снова пошел на убыль. Однако в последнее время американская Ассоциация по промышленной робототехнике стала предсказывать, что промышленные роботы вновь приобретут в США важное значение: за первое полугодие 1989г. объем продажи их составил почти 290 млн. ДОЛЛ., а за 1988 г. их было продано на 330 млн. долл.

Энджелбергер никогда не устает повторять, что промышленная робототехника началась с одной вечеринки, состоявшейся однажды в Уэстпорте (шт. Коннектикут) в 1956 г., во время которой изобретатель Дж. Дивол, уже имевший целый ряд патентов, охотно излагал присутствующим свои новейшие идеи о создании промышленного робота. К тому времени Дивол еще не построил ни одного робота; ему никак не удавалось

уговорить ни одну компанию вложить деньги в предлагаемую им затею. Его идеи, однако, захватили воображение Энджелбергера, служившего в то время менеджером в одной из промышленных фирм.

«Я думаю, в винных парах эта идея казалась заманчивее, чем в действительности», - вспоминает Энджелбергер. Будучи еще студентом Колумбийского университета, Энджелбергер зачитывался фантастическими рассказами Азимова о роботах. Он сразу же, что называется, попался на удочку. Специализированные автоматы для выполнения одной операции уже существовали. Дивол же говорил о создании программируемых машин, способных «брать и устанавливать» детали, т. е. выполнять множество функций.

Посетив несколько заводов, Энджелбергер и Дивол пришли к выводу, что автомобильная промышленность уже «созрела» для внедрения роботов. Сборка автомашин представляла собой монотонный процесс с применением тяжелых механизмов, и поэтому она вполне подходила для сильных, хотя и медлительных роботов с одним манипулятором. Важным было также то обстоятельство, что сборочные цеха работали в несколько смен. «Мы пытались заменить ручной труд, руководствуясь экономическими соображениями», - говорит Энджелбергер.

Примерно к 1959 г. Энджелбергер и Дивол сумели собрать достаточно средств, чтобы в 1961 г. построить первый робот для завода фирмы General Motors в шт. Нью-Джерси. «Юнимейт» - так назвал его Ди-

вол - был гидравлическим роботом, который управлял распыскивающей краску машиной. Чтобы робот «обучился» своей задаче, его тщательно провели по всему рабочему циклу, и все действия он записывал цифровым способом на магнитную ленту.

Заказов на робот поступало не много, - и часто - от самых неожиданных клиентов. Многие из первых заказов, как теперь говорит Энджелбергер, делались «неразумными покупателями» - людьми, которые проявляли любопытство к новым механизмам и которым не терпелось их опробовать в действии. В 1962 г. председатель правления вагоностроительной компании Pullman Railcars, пришедший в восторг от идеи использования роботов на производстве, вложил 3 млн. долл. в только что образованную фирму Unimation в обмен на 51070 ее акций. Первого серьезного успеха фирма добилась в 1966 г., когда General Motors купила 66 роботов, способных производить точечную сварку, и установила их на новом заводе в Янгстауне (шт. Огайо).

Хотя, как вспоминают его коллеги, Энджелбергер и вносил свой вклад в конструкцию роботов, более широкую известность он приобрел как человек, рекламировавший их. Роботы «Юнимейт» дебютировали в 1967 г. на выставке Джонни Карсона; один из них точно помещал мячик для гольфа в чашку, а другой дирижировал оркестром. «ЮнимейТЪ» появлялись даже в телевизионной рекламе пива. «В то время было очень трудно привлечь к ним внимание, - говорит Энджелбергер, - поэтому приходилось прибегать к различным выдумкам». На выставке Дина Мартина я спросил: «Будет ли у меня возможность рассказать посетителям, что в действительности могут делать роботы? И мне ответили: «Мы не можем никому давать преимуществ на нашей выставке». Поэтому роботы демонстрировали только забавные вещи, вспоминает Энджелбергер.

Энджелбергер помог также заложить фундамент японской промышленности по производству роботов. В 1967 г. японское правительство, оплатив ему билет на самолет первым классом, пригласило его в Японию прочитать курс лекций о роботах. «Если в США я с трудом набирал на такие лекции по 8-10 человек, то в Японии собиралось по 600 человек», - говорит Энджелбергер. (Аудитория состояла из инженеров и менеджеров высокой квалификации.) К концу поездки Энджелбергер согласился продать лицензию на производство роботов японской компании Kawasaki Heavy Industries. «Продажа

лицензии была хорошей идеей», - утверждает он. Дело в том, что многие в этом сомневаются, особенно сейчас, когда Япония заняла лидирующее положение в этой отрасли. Энджелбергер, однако, говорит, что японцы копировали роботы, созданные другими, мелкими американскими компаниями.

Фирме Unimation потребовалось 14 лет, прежде чем она стала получать прибыль, но к началу 80-х годов она уже завоевала более 30% рынка роботов, установив более 7000 роботов в заводских цехах. Ее роботы серии «Пума» с вращающимися «суставами», которые могут производить сборку деталей и сваривать швы, быстро завоевали хорошую репутацию. Роботы, изготовленные в США, Японии и Европе, стали быстро раскупать. Бывшие инженеры фирмы Unimation стали организовывать свои собственные компании. «Я буду весьма удивлен, если средние темпы ежегодного прироста в этой промышленности в течение следующего десятилетия окажутся меньше 35% в ГОД», - писал Энджелбергер в одной из статей, опубликованной в журнале «Промышленный робот» в 1983 г.

Но беда уже была у порога. Радужные прогнозы привлекли слишком многих к производству роботов, как говорит М. Данн, в прошлом вице-президент фирмы Unimation. По словам Энджелбергера, крупные компании, занявшие этим делом, были готовы терпеть убытки ради того, чтобы утвердиться в производстве роботов. Когда компания General Motors приняла долевое участие в финансировании предприятия GM Fanuc Robotics (совместно с японской компанией Fanuc), фирма Unimation потеряла 60% заказов, добавляет Данн.

В 1983 г. компания Westinghouse Electric купила Unimation за 107 млн. долл. Однако через год Unimation, а с ней и вся отрасль оказались в кризисном состоянии. Многие говорили, что Unimation не смогла во-время обновить устаревшую технологию; по их мнению, следовало заменить гидравлическую систему роботов «Юнимейт» электроприводами и в большей степени оснастить их средствами микроэлектроники. Энджелбергер, напротив, утверждает, что роботы «Юнимейт» первых поколений были достаточно хорошо приспособлены для выполнения многих операций, а в продукции филиала компании на западном побережье широко использовались элементы современной электроники. (Сейчас этот филиал является самостоятельной компанией и входит в число лидеров в области производства роботов для электронной



РОБОТ И ЕГО СОЗДАТЕЛЬ Джозеф Ф. Энджелбергер. Этот робот (здесь изображена его первая модель) предназначен для доставки подносов с обедом пациентам в больнице. Сейчас Энджелбергер работает над более крупными роботами, стирающими белье и орудующими пылесосом. Фото Уэйна Сорса.

промышленности.) Спустя еще шесть лет, компания Westinghouse поглотила часть фирмы Unimation, а другие ее подразделения продала.

Тем временем Энджелбергер экспериментировал с подвижными роботами, оснащенными тактильными и визуальными сенсорами. Он основал фирму Transition Research Corp. (TRC) в Дэн бери (шт. Коннектикут) и приступил к созданию роботов, способных выполнять некоторые работы по дому.

В настоящее время TRC располагает несколькими прототипами; два экспериментальных робота типа «друг-помощник» катаются по коридорам местной больницы, доставляя обед пациентам. Они даже самостоятельно пользуются лифтами. В штаб-квартире TRC аналогичный робот осуществляет уборку макета жилой комнаты, свободно орудуя пылесосом. Еще один усердно моет пол. «Перефразируя Азимова, - говорит Энджелбергер, - машина больше всего похожа на робота, когда она больше всего похожа на человека».

Стоимость капитала

ПРЕДПОЛОЖИМ, две промышленные компании, одна американская, другая - японская, обдумыв-



СТОИМОСТЬ КАПИТАЛА КОМПАНИИ определяется размерами займов и стоимостью акций. Жирными линиями показана общая стоимость капитала для США и Японии. Данные основаны на исследовании, проведенном Дж. Хатсопулосом из фирмы Thermo Electron и Стивеном Бруксом, консультантом по экономическим вопросам.

вают, стоит ли им расширять свое производство, если такое расширение обойдется каждой из них в 100 млн. ДОЛЛ., хотя и повысит их конкурентоспособность на мировом рынке. По оценкам американской компании, такая затрата окупится за 4 года, японской - за 8 лет. Американская компания приходит к выводу, что подобный шаг слишком рискованный и отказывается от капиталовложений на расширение производства, тогда как ее японский конкурент все же решает пойти на эти расходы.

Следует ли считать решение американской компании недалеким, или, наоборот, правильным? Как ни странно, но в данном случае, как любят говорить экономисты, никто не прогадал - обе компании, судя по всему, приняли разумное решение. По мнению экономистов и представителей делового мира, различие состоит в том, что компании США оценивают стоимость капитала более высоко, чем их японские конкуренты.

Почему в США стоимость капитала

оценивается выше, чем в Японии? В широком смысле стоимость капитала - это размер средств, используемых для покупки предприятия и оборудования. Более конкретный смысл в определении этого понятия вкладывают Дж. Хатсопулос, председатель правления фирмы Thermo Electron, и консультант по экономическим вопросам Стивен Брукс, которые провели совместное фундаментальное исследование этого вопроса. Они выражают стоимость капитала через норму прибыли (с учетом инфляции, обесценивания и налогов), которую компании рассчитывают иметь от данного капиталовложения.

Обычно капитал определяется двумя основными составляющими: займами, или долгом (например, банковскими ссудами и промышленными облигациями) и акциями. Изменение соотношения между займами и акциями приводит к изменению стоимости (и степени риска) проекта. По мнению менеджеров американских компаний, акции - менее «рискованная» составляющая капитала, тогда как займы - более дешевая. (В отличие от займов доходы, выплачиваемые акционерам, не облагаются налогами.) В Японии займы также обходятся дешевле, однако японские предприниматели не всегда считают финансирование на основе займов слишком рискованным.

~ Чем определяются стоимость и риск финансирования на основе займов и акций? Стоимость займов зависит от процентных ставок, которые могут повышаться и понижаться. Банковские ставки ссудного процента меняются в зависимости от экономической активности, тогда как доходы по облигациям в основном отражают то, как Уолл-стрит оценивает платежеспособность компании. В настоящее время в США главные ставки ссудного процента составляют 10,50%, а в Японии - менее 5%. Крупные промышленные облигации обеспечивают ежегодный 9%-ный доход в США и 5%-ный - в Японии. С учетом темпов инфляции (в США они сейчас составляют около 5%, а в Японии менее 3%), этот разрыв сокращается, отмечают Хатсопулос и Брукс, а также Алберт Андо и Алан Дж. Ауэрбах, экономисты из Пенсильванского университета.

Конечно, финансирование на основе займов включает в себе определенный риск: компании, которая не выплачивает займы, может быть предъявлен иск или ее могут ликвидировать. К тому же Уолл-стрит, который судит о платежеспособности компаний также по тому, как они выплачивают долг, с недоверием от-

носится к тем из них, к которым приходится применять меры воздействия.

Подсчет стоимости капитала на основе акций представляет собой еще более сложную задачу. Хотя многие фирмы выработали здесь свою методику, Хатсопулос отмечает, что часто менеджеры (включая его самого) полагаются лишь на интуицию. Они должны предварительно оценивать, какую часть прироста дивидендов требуют акционеры в будущем в ответ на уменьшение дивидендов сейчас. Размер возросших будущих дивидендов снижается за счет скидки на риск, на текущие доходы и доходы, которые могут получить вкладчики в другом месте. Таким образом, стоимость капитала на основе акций определяется размером скидки на будущие дивиденды. По оценке Хатсопулоса и Брукса, стоимость капитала на основе акций в Японии в среднем в три раза меньше, чем в США. Согласно же Андо и Ауэрбаху, которые применили другой метод, этот показатель мало отличается в обеих странах.

Как считает Хатсопулос, такое расхождение в немалой степени обусловлено усилиями американских менеджеров доводить до максимума счет капитала. Поскольку у акционеров нет гарантии, что они увидят свои деньги вновь, они требуют, чтобы их риск был оправдан возможностью высоких доходов в будущем. Менеджеры обеспокоены тем, как отреагирует финансовый рынок на их решения. Профессиональные финансовые вкладчики, владеющие крупными пенсионными фондами, вынуждены доводить стоимость до максимума. Это может привести к тому, что они будут стремиться получить краткосрочные доходы от их капиталовложений. «Менеджеры - это пленники вкладчиков», - замечает Хатсопулос.

Как объясняет Катсуми Шимизу, вице-президент компании Daiwa Bank Trust японским фирмам, в отличие от американских, не приходится реализовывать в краткосрочном порядке некоторые процентные доходы. Обычно японские компании выплачивают незначительные дивиденды держателям акций отчасти потому, что часто более половины акций компании принадлежат банку или другой компании, отмечает Шимизу.

Из двух систем финансирования - на основе акций и путем получения займов - американские менеджеры обычно прибегают к первой, тогда как их японские конкуренты - ко второй. По оценке Андо и Ауэрбаха, с 1967 по 1983 г. среднее отношение размера займов к рыночной стоимости компаний составило для американских компаний 26%, а для японских - 63%.

Наконец, как отмечают Хатсопулос и Брукс, стоимость капитала в США почти в 3 раза меньше, чем в Японии. В немалой степени это обусловлено различиями в налогах на увеличение рыночной стоимости капитала. В США вкладчики платят ту же самую часть налогов на увеличение рыночной стоимости капитала, что и на процентный доход. В Японии же вкладчики платят очень низкие налоги на увеличение рыночной стоимости капитала, а потому, в отличие от американцев, не требуют, чтобы будущие корпоративные доходы были высокими.

Аидо и Ауэрбах также приходят к заключению, что стоимость капитала в Японии ниже. Не указывая каких-либо причин, они считают, что рынки капитала не функционируют экономически рационально; возможно, что японские вкладчики не получают должной компенсации за их риск.

Для многих фирм США снижение стоимости капитала было бы, несомненно, выгодным. Но, как говорят экономисты, быстрых мер здесь не существует. Например, снижение процентных ставок в США отпугнуло бы иностранных вкладчиков.

Отношение к проблеме увеличения акционерных займов также неоднозначное. «Ничего страшного в том нет, что появляется система воздействия», - говорит Джордж Дж. Кирк, директор стратегических исследований фирмы Westinghouse Electric. Однако, по мнению Ауэрбаха, если большее число фирм США прибегнет к займам, процентные ставки по займам, несомненно, возрастут.

Ауэрбах считает, что разница в стоимости капитала может уменьшиться по мере «либерализации» рынка капитала. В последние 10 лет Япония начала смягчать ограничения на капиталовложения за рубежом. Например, в 1985 г. она разрешила некоторым крупным организациям увеличить свои капиталовложения за рубежом. В изменении относительной стоимости капитала определенную роль могут сыграть и другие тенденции. По мере увеличения числа японских предприятий за пределами Японии для фирм, владеющих этими предприятиями, займы дома могут оказаться более дорогими: если они имеют доходы в валюте, которая по курсу ниже иены, то им обойдется дороже оплачивать долг в иенах.

Как считает Хатсопулос, снижение налогов на увеличение рыночной стоимости является эффективной мерой. Однако он предупреждает, что «придется ждать 10 лет, пока финансовые рынки заставят компании создать группы дальновидных менеджеров».

Книги издательства "Мир"

НЕ СЧЕСТЬ У РОБОТА ПРОФЕССИЙ

Под редакцией П. Марша
Перевод с английского

История естествознания и техники богата примерами, свидетельствующими о неиссякаемом стремлении человека создать механизмы и устройства, подобные живым существам, которые могли бы служить либо забавными игрушками, либо надежными помощниками при выполнении сложной или опасной работы. В наши дни на смену симпатичным, но довольно неуклюжим и малоэффективным автоматам прошлого пришли более простые по конструкции и очень практичные системы - роботы и манипуляторы, появление которых вызвано прежде всего насущными потребностями производства.

Современные робототехнические устройства - это не просто усовершенствованные варианты примитивных предшественников; в их основе лежит принципиально новая технология, получившая развитие лишь во второй половине нашего столетия: информатика и вычислительная техника. В наши дни роботы проникли во все области человеческой деятельности: на производство, в сферу обслуживания, в повседневный быт человека. Неоценимую помощь они оказывают при подводных работах, на атомных станциях, в космосе. Значительные перспективы открываются перед ними и в сфере образования.

Как прообраз будущего, роботы на протяжении десятилетий живут на страницах научно-фантастических произведений, их кинематографические прототипы поражают воображение людей, особенно молодежи. Но в наше стремительное время действительность нередко опережает самые смелые полеты фантазии. Именно в этом убеждает нас яркая и красочная кни-

га, написанная группой американских и английских авторов. С ее страниц читателю открывается удивительный мир, населенный роботами, которые без усталости трудятся на конвейерах предприятий, занимаются подводными исследованиями, следят за радиационной обстановкой на атомных станциях, выполняют десятки других самых невероятных работ. Особенно поражают воображение роботы, используемые в космосе. Так, в книге рассказывается о чудо-устройстве, 11-метровой руке-манипуляторе, созданной канадской фирмой "СПАР аэро-спейс", с помощью которой удаётся снимать с орбиты спутники, вышедшие из строя или отработавшие свой век. Наделенные зрением, осязанием, СЛУХОМ, роботы становятся надежными и терпеливыми сиделками у постели больных и инвалидов, служат поводьями слепых. Поистине не счесть у робота профессий!

Прекрасные фотографии позволяют читателю буквально воочию представить себе уникальные устройства, которым в недалеком будущем суждено прочно войти в нашу жизнь.

Авторы ставят также проблемы социального и этического характера; только серьезно задумываясь над ними сейчас, мы сможем направить развитие робототехники в нужное русло, поставить роботов на службу человеку.

Книга адресована самому широкому кругу читателей: она, несомненно, заинтересует не профессионалов, немало полезного найдут в ней и специалисты. Но прежде всего она предназначена молодежи, которой предстоит жить на Земле в XXI веке.

1987, 31 л., 7 р. 50 к.

Эту книгу можно купить в Московском Доме книги
Адрес магазина: 121019 Москва, просп. Калинина, 26,
п/я 42, магазин № 200



Критический взгляд на систему образования в США



П. РОЙ ВЕЙДЖЕЛОС

ТЕ ИЗ НАС, кто был свидетелем сенсационного сообщения о запуске первого искусственного спутника Земли, помнят, как внезапно было покончено с нашей спокойной самоуверенностью. Мы вдруг узнали, что США оказались технически неподготовленными к началу космической эры. В результате советские достижения в космосе привели к принципиальному пересмотру системы американского образования и поставили вопрос о необходимости целенаправленной подготовки специалистов для науки и техники.

Сейчас, три десятилетия спустя, США вновь впали в состояние самоуспокоенности. Несмотря на наличие у нас широкой сети университетов и исследовательских центров, по-прежнему вызывающих чувство зависти у всего мира, система образования в стране, очевидно, не способна сделать молодое поколение американцев грамотными в естественных науках и математике; наша система образования такова, что даже не пробуждает у молодежи интереса к этим дисциплинам. Настало время задуматься, способна ли эта система удовлетворить требованиям, которые диктуются необходимостью удержаться за собой передовые позиции, завоеванные нашей страной в области науки и техники.

Как физик и биохимик, возглавляющий компанию, открывшую и внедрившую в практику ряд новых важных лекарств, я обеспокоен последствиями упадка научного образования в США, которые неизбежно скажутся на здоровье не только американцев, но и людей во всем мире. Из общего числа лекарственных препаратов, появившихся на американском рынке в период с 1940 по 1987 г., 62% было открыто в нашей стране. Если позиции США в этой области поколеблются, то поступательный прогресс в борьбе против всех болезней, который продолжался на протяжении последних 50 лет, вероятно, также замедлится.

Последствия упущений в образова-

нии будут обнаруживаться и в других наукоемких областях современной промышленности. В условиях предстоящей конкуренции на мировом рынке экономика будет испытывать потребность в специалистах, хорошо владеющих основами естественнонаучных и математических дисциплин. Важную роль будет также играть профессиональный уровень управляющих, которые должны быть грамотными в научных вопросах.

В демократическом обществе решение политических вопросов тоже не может обойтись без научных знаний. Поэтому вызывает тревогу тот факт, что мужчины и женщины, которые станут у государственного руководства в XXI в., не подготовлены к ТОМУ, чтобы со знанием дела относиться к проблемам охраны окружающей среды, развития энергетики, космических исследований, обороны и биотехнологии. Не менее тревожно и то обстоятельство, что подавляющее большинство нашего населения не получает образования, которое обеспечило бы достаточное понимание и поддержку технического прогресса со стороны широкой общественности. В отсутствие такой поддержки даже самые лучшие политические решения при широкой демократии окажутся бессильными.

Из множества проблем, стоящих перед образованием, одну необходимо выделить особо: квалифицированные кадры ученых и инженеров, столь нужные университетам и промышленным предприятиям, не готовятся в достаточных количествах. За последнее десятилетие в американских вузах относительное число студентов, специализирующихся в естественных науках и в технике или получающих ученые степени в этих областях, сократилось. Лишь 7 из каждой 1000 выпускников получают ученые степени технического профиля; в Японии их 40. Более половины докторских диссертаций по техническим дисциплинам, математике и физике защищаются выходцами из других

стран. В биологических науках число аспирантов (будущих докторов наук) остается на том же уровне, что и 10 лет назад, однако число специалистов, получающих степень магистра, снизилось почти на 250%, а получающих диплом об окончании университета - почти на 300%; в результате сужается база для будущей подготовки научных кадров и ведущих специалистов.

В средней школе слишком мало делается для того, чтобы вызвать у учащихся интерес к науке. Обследование, проведенное Национальной ассоциацией преподавателей научных дисциплин США в старших классах, показало, что более чем в трети американских школ не преподается физика, в каждой пятой школе среди преподаваемых предметов нет химии, в каждой десятой - биологии; почти три четверти школ не имеют в своей учебной программе наук о Земле или космическом пространстве. Другое обследование показало, что из 13 выбранных для сравнения стран старшеклассники американских школ были на девятом месте в знаниях по физике, на одиннадцатом по химии и на последнем по биологии.

Наши недостатки в преподавании научных дисциплин, проведении научных исследований и поиске сфер применения новых знаний могут привести лишь к одному результату, а именно снижению, как количественному, так и качественному, нашего технического новаторства, на котором зиждется высокий жизненный уровень.

Мне кажется, удручающе низкие показатели знаний американских школьников можно улучшить, если мы сумеем привлечь молодых американцев к науке в более раннем возрасте, а для этого преподавание научных дисциплин следует начинать по крайней мере в средних классах. Интерес к науке можно пробудить у них, в частности, через биологические дисциплины, показывающие, каким образом биомедицинские исследования способствуют тому, что особенно ценят молодые люди - физическое здоровье и хорошее самочувствие.

Из собственной переписки с учащимися мне известно, например, с каким неподдельным интересом дети 8-9 лет узнали об онхоцеркозе (слепоте, вызываемой обитающими в реках круглыми червями *Onchocerca*), об изобретенном фирмой Merck лекарстве, спасающем зрение, и о том, что мы безвозмездно поставляем его развивающимся странам, расположенным в тропиках, где эта болезнь особенно распространена. После знакомства с такими фактами некоторые

дети, возможно, захотят посвятить себя науке.

Следует отметить, что корпорации прилагают немалые усилия к тому, чтобы повысить уровень преподавания как в университетах, так и в школах. Одна только компания Merck израсходовала в прошлом году более 8 млн. долл. на подготовку научных кадров, и это далеко не единственный пример крупных вложений в решение рассматриваемой проблемы. В 1987 г. промышленные компании финансировали приблизительно 80/70 всех университетских исследований; ожидается, что вскоре этот показатель возрастет до 10-12%.

Однако кризис не удастся преодолеть лишь за счет финансовой поддержки учебных заведений со стороны корпораций или увеличения финансирования университетской науки. Правительство на всех уровнях должно принять меры к тому, чтобы усилить учебные программы по естественным наукам и математике в школах, колледжах и университетах. Страна должна мобилизовать все имеющиеся у нее резервы для того, чтобы дать необходимую подготовку преподавателям и модернизировать оборудование, на котором они учатся сами, учат других и проводят научные исследования. Наконец, нужно увеличить ассигнования на стипендии и другие виды помощи, чтобы привлечь больше одаренных студентов к научным профессиям, включая преподавательскую деятельность.

Если мы не примем этих мер, другие страны пожнут плоды завтрашних открытий и на этой основе добьются дальнейшего экономического и культурного прогресса. Если говорить о близкой мне области, то, возможно, проблемы лечения рака, психических заболеваний, остеопороза, болезни Альцгеймера и других серьезных заболеваний будут решены уже не у нас, а где-то еще.

Мой собственный опыт исследовательской и административной деятельности в науке говорит о том, что необходимым условием успеха в любой программе исследований является присутствие энтузиастов - людей, по-настоящему преданных исследуемой проблеме, полностью концентрирующих на нем свое внимание и энергию при любых обстоятельствах, готовых работать столько времени, сколько потребуется для достижения положительных результатов. Я призываю читателей с таким же энтузиазмом подключиться к решению проблемы, в каком-то смысле не менее важной, чем, скажем, нынешняя программа поиска лекарств от СПИДа, а именно повысить уровень научного образования в нашей стране.

НА ПУТИ К ТЕХНИЧЕСКОМУ ЛИДЕРСТВУ

PROFITING FROM TECHNOLOGICAL INNOVATION: IMPLICATIONS FOR INTEGRATION, COLLABORATION, LICENSING AND PUBLIC POLICY. David J. Teece in *Research Policy*, Vol. 15, No. 6, pages 285-305; December, 1986.

DOES TECHNOLOGY POLICY MATTER? Henry Ergas in *Technology and Global Industry: Companies and Nations in the World Economy*. Edited by Bruce R. Guile and Harvey Brooks. National Academy Press, 1987.

THE DEFENSE INDUSTRIAL AND TECHNOLOGY BASE, Vol. 1. Defense Science Board, Office of the Undersecretary of Defense for Acquisition, October, 1988.

INDUSTRIAL POLICY OF JAPAN. Ryutaro Komiya et al. Academic Press, Inc., 1988.

THE SOURCES OF INNOVATION. Eric von Hippel. Oxford University Press, 1988.

TECHNOLOGY POLICY AND ITS EFFECT ON THE NATIONAL ECONOMY. U.S. House of Representatives, Committee on Science, Space and Technology. Technology Policy Task Force, U.S. Government Printing Office, Serial R, December, 1988.

ORGANIZING FOR MANUFACTURABLE DESIGN. James W. Dean, Jr., and Gerald I. Susman in *Harvard Business Review*, No. 1, pages 28-36; January/February, 1989.

МИТОТИЧЕСКОЕ ВЕПЕТЕНО

BEYOND SELF-ASSEMBLY: FROM MICROTUBULES TO MORPHOGENESIS. Marc Kirschner and Tim Mitchison in *Cell*, Vol. 45, No. 3, pages 329-342; May 9, 1986.

CHANCE ENCOUNTERS AND PRECISION IN MITOSIS. R. Bruce Nicklas in *Journal of Cell Science*, Vol. 89, Part 3, pages 283-285; March, 1988.

CELL MOVEMENT, VOLUME 2: KINESIN, DYNEIN, AND MICROTUBULE DYNAMICS. Edited by Fred D. Warner and J. Richard McIntosh. Alan R. Liss, Inc., 1989.

ENZYMES FOR MICROTUBULE-DEPENDENT MOTILITY. J. Richard McIntosh and Mary E. Porter in *Journal of Biological Chemistry*, Vol. 264, No. 11, pages 6001-6004; April 15, 1989.

MITOSIS: MOLECULES AND MECHANISMS. Edited by J. S. Hyams and B. R. Brinkley. Academic Press, Inc., 1989.

ЦИРКУЛЯЦИЯ КАЛЬЦИЯ И ВНУТРИКЛЕТОЧНАЯ ПЕРЕДАЧА ВНЕШНИХ СИГНАЛОВ

CALCIUM AND cAMP AS SYN. ARCHIC MESSENGERS. Howard Rasmussen. John Wiley & Sons, Inc., 1981.

INTRACELLULAR CALCIUM: ITS UNIVERSAL ROLE AS REGULATOR. Anthony K. Campbell. John Wiley & Sons, Inc., 1983.

THE CALCIUM MESSENGER SYSTEM. Howard Rasmussen in *New England Journal of Medicine*, Vol. 314, No. 17, pages 1094-1101; April 24, 1986 and Vol. 314, No. 18, pages 1164-1170; May 1, 1986.

A SPATIAL-TEMPORAL MODEL OF CELL ACTIVATION. Daniel L. Alkon and Howard Rasmussen in *Science*, Vol. 239, No. 4843, pages 998-1005; February 26, 1988.

PHOSPHORYLATION OF CALDESMONIN ARTERIAL SMOOTH MUSCLE. Leonard P. Adam, Joe R. Haerberle and David R. Hathaway in *Journal of Biological Chemistry*, Vol. 264, No. 13, pages 7698-7703; May 5, 1989.

МОНОКСИД УГЛЕРОДА В АТМОСФЕРЕ: НЕОЖИДАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

THE CYCLE OF ATMOSPHERIC CO. W. Seiler in *Tellus*, Vol. 26, No. 116, pages 118-135; 1974.

ESTIMATES OF GROSS AND NET FLUXES OF CARBON BETWEEN THE BIOSPHERE AND THE ATMOSPHERE FROM BIOMASS BURNING. W. Seiler and P. J. Crutzen in *Climatic Change*, Vol. 2 Reidel Publishing Co., 1980.

TROPOSPHERIC CHEMISTRY: A GLOBAL PERSPECTIVE. J. A. Logan, J. Prather, S. C. Wofsy and M. B. McElroy in *Journal of Geophysical Research*, Vol. 86, No. C8, pages 7210-7254; August 20, 1981.

MIDDLE AND UPPER TROPOSPHERIC CARBON MONOXIDE MIXING RATIOS AS MEASURED BY A SATELLITE-BORNE REMOTE SENSOR DURING NOVEMBER, 1981. H. G. Reichle, Jr., V. S. Connors, J. A. Holland, W. D. Hypes, H. A. Wallio, J. C. Casas, B. B. Gormsen, M. S. Saylor and W. D. Hesketh in *Journal of Geophysical Research*, Vol. 91, No. C9, pages 10865-10887; September 20, 1986.

THE DISTRIBUTION OF MIDDLE TROPOSPHERIC CARBON MONOXIDE DURING EARLY OCTOBER, 1984. H. G. Reichle, Jr., J. C. Casas, F. P. Condon, V. S. Connors, B. B. Gormsen, J. A. Holland, W. Seiler, R. T. Sherrill and

H. A. Wallio in *Journal of Geophysical Research*, in press.

СТАНФОРДСКИЙ ЛИНЕЙНЫЙ КОЛЛАЙДЕР

PARTICLESTORAGERINGS. Gerard K. O'Neill in *Scientific American*, Vol. 215, No. 5, pages 107-116; November, 1966.

THE HIGGS BOSON. Martinus J. G. Veltman in *Scientific American*, Vol. 255, No. 5, pages 76-84; November, 1986.

Имеется перевод: Мартинус Дж. Г. Вельтман. Бозон ХИГГСА. - «В мире науки», 1987, № 1, с. 38.

INITIAL MEASUREMENTS OF THE Z BOSONRESONANCE. G. Abrams et al., in *Physical Review Letters*, Vol. 63, No. 7, pages 724-727; August 14, 1989.

НАШЕСТВИЕ ВОДНЫХ СОРНЯКОВ

TRISTYL IN *EICHHORNIA CRASSIPES* (MART.) SOLMS (WATER HYACINTH). S. C. H. Barrett in *Biotropica*, Vol. 9, No. 4, pages 230-238; December, 1977.

THE WORLD'S WORST WEEDS: DISTRIBUTION AND BIOLOGY. L. G. Holtt et al. University Press of Hawaii, 1977.

SEXUAL REPRODUCTION IN *EICHHORNIA CRASSIPES* (WATER HYACINTH). S. C. H. Barrett in *Journal of Applied Ecology*, Vol. 17, pages 101-124; 1980.

BIOLOGICAL CONTROL OF WEEDS WITH PLANT PATHOGENS. Edited by Raghavan Charudattan and H. Lynn Walker. John Wiley & Sons, Inc., 1982.

TAXONOMY AND CONTROL OF *SALVINIA MOLESTA*. P. A. Thomas and P. M. Room in *Nature*, Vol. 320, No. 6063, pages 581-584; April 17, 1986.

РАСТРОВЫЕ МИКРОСКОПЫ С ЗОНДАМИ-ОСТРИЯМИ

VACCUUMTUNNELING: A NEW TECHNIQUE FOR MICROSCOPY. Calvin F. Quate in *Physics Today*, Vol. 39, No. 8, pages 26-33; August, 1986.

TIP TECHNIQUES FOR MICROCHARACTERIZATION OF MATERIALS. Y. Martin, C. C. Williams and H. Kumar Wickramasinghe in *Scanning Microscopy*, Vol 2, No. 1, pages 3-8; March, 1988.

SCANNING TUNNELING MICROSCOPY AND ATOMIC FORCE MICROSCOPY: APPLICATION TO BIOLOGY AND TECHNOLOGY. P. K. Hansma, V. B. Elings, O. Marti and C. E. Bracker in

Science, Vol. 242, No. 4876, pages 209-216; October 14, 1988.

Кук Й., Сильверман П. РАСТРОВАЯ ТУННельНАЯ МИКРОСКОПИЯ.- Приборы для научных исследований, 1989, № 2, с. 3-22.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ИНДОЕВРОПЕЙСКИХ ЯЗЫКОВ

THE ARYANS: A STUDY OF INDO-EUROPEAN ORIGINS. V. Gordon Child. Alfred A. Knopf, Inc., 1926.

INDO-EUROPEAN AND INDO-EUROPEANS. Edited by George Cardona, Henry M. Hoenigswald and Alfred Senn. University of Pennsylvania Press, 1970.

THE NEOLITHIC TRANSITION AND THE GENETICS OF POPULATIONS IN EUROPE. Albert J. Amrutan and L. L. Cavalli-Sforza. Princeton University Press, 1984.

ARCHAEOLOGY AND LANGUAGE: THE PUZZLE OF INDO-EUROPEAN ORIGINS. A. Colin Renfrew. Cambridge University Press, 1988.

NOSTRATIC. Mark Kaiser and V. Shevoroshkin in *Annual Review of Anthropology*, Vol. 17, pages 309-329; 1988.

RECONSTRUCTING LANGUAGES AND CULTURES: ABSTRACTS AND MATERIALS FROM THE FIRST INTERNATIONAL INTERDISCIPLINARY SYMPOSIUM ON LANGUAGE AND PREHISTORY, ANN ARBOR, NOVEMBER, 8-12, 1988. Edited by Vitaly Shevoroshkin. Studienverlag Dr. Norbert Brockmeier, 1989.

IN SEARCH OF THE INDO-EUROPEANS: LANGUAGE, ARCHAEOLOGY AND MYTH. J. P. Mallory. Thames and Hudson, 1989.

Ганкредидзе Т. В., Иванов В. В. ИНДОЕВРОПЕЙСКИЙ ЯЗЫК И ИНДОЕВРОПЕЙЦЫ.- Тбилиси.: Изд-во Тбилисского университета, 1984.

Иллич-Свитыч В. М. ОПЫТ СРАВНЕНИЯ НОСТРАТИЧЕСКИХ ЯЗЫКОВ, т. 1-3.- М.: Наука, 1971-1984.

НОВОЕ В СОВРЕМЕННОЙ ИНДОЕВРОПЕИСТИКЕ. В сб. «Новое в зарубежной лингвистике», вып. 21. - М.: Прогресс, 1988.

НАУКА ВОКРУГ НАС

BUBBLE FORMATION, MOTION AND INTERACTION IN A HELE-SHAW CELL. T. Maxworthy in *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 173, pages 95-114; December, 1989.

STABILITY OF BUBBLES IN A HELE-SHAW CELL. S. Tanveer and P. G. Saffman in *Physics of Fluids*, Vol. 30, No. 9, pages 2624-2635; September, 1987.

THE AMATEUR SCIENTIST. Jearl Walker in *Scientific American*, Vol. 257, No. 5, pages 134-138; November, 1987.

Имеется перевод: Дж. Уолкер. НАУКА ВОКРУГ НАС.- «В мире науки», 1988, № 1, с. 88.

BUBBLE MOTION IN A HELE-SHAW CELL. Anne R. Kopf-Sill and G. M. Homsy in *Physics of Fluids*, Vol. 31, No. 1, pages 18-26; January, 1988.

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

CHARLES BABBAGE: ON THE PRINCIPLES AND DEVELOPMENT OF THE CALCULATOR AND OTHER SEMINAL WRITINGS. Charles Babbage et al. Edited by Philip Morrison and Eily Morrison. Dover Publications, 1961.

OPTICAL COMPUTING. Special issue edited by Sing H. Lee and Ravindra A. Athale in *Optical Engineering*, Vol. 28, No. 4; April, 1989.

«ЗНАКОМЬТЕСЬ: КОМПЬЮТЕР». Пер. с англ. Под ред. В. М. Курочкина.- М.: Мир, 1989.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 23.11.89.
По оригинал-макету. Формат 60 x 90 1/8.
Гарнитуры тайме, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 6,50 бум. л.

Бумага офсетная №1.

Усл.-печ. л. 13,0.

Уч.-изд. л. 16,79.

Уел. кр.-отт. 54,50.

Изд. № 25/6790. Заказ 1024.

Тираж 27 100 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

Госкомпечати СССР

129820, ГСП, Москва, И-Ю,

1-й Рижский пер., 2.

Набрано в Межиздательском

фотонаборном центре

издательства «Мир»

Типография В/О «Внешторгиздат»

Госкомпечати СССР

127576, Москва, Илимская, 7



ВИРУСОЛОГИЯ

Под ред. Б. Филдса, Д. Найпа

В 3-х томах.

Перевод с английского



Фундаментальное руководство по вирусологии, написанное известными специалистами из США. Книга может служить учебным и справочным пособием. В первом томе рассмотрена таксономия, структурная организация, репродукция, общая и молекулярная генетика вирусов, эпидемиология и патогенез вирусных инфекций, трансформация вирусов и онкогенез. Во второй том вошли материалы по системе интерферона, химиотерапии и иммунопрофилактике вирусных заболеваний, а также по отдельным группам вирусов. В третьем томе рассмотрено более 10 отдельных групп вирусов.

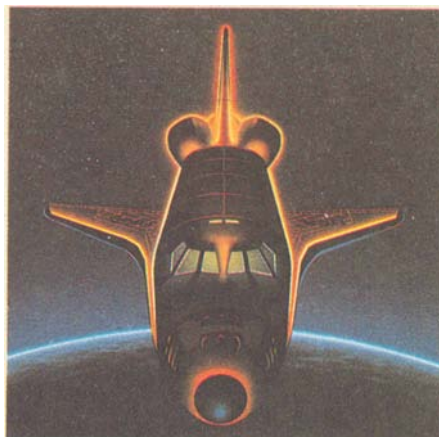
Для вирусологов, молекулярных биологов, медиков, а также студентов и аспирантов, специализирующихся в области вирусологии.

1989, 110 л. Цена 8 р. 70 к. за Комплект.

Эту книгу Вы можете приобрести в магазинах научно-технической и медицинской литературы.



В следующем номере:



СВЕЧЕНИЕ ШАТТЛА

ПОЖАРЫ В ЙЕЛЛОУСТОНСКОМ ПАРКЕ

ДВОЙНОЙ БЕТА-РАСПАД

КАК Т-КЛЕТКИ УЗНАЮТ АНТИГЕНЫ

СОСУДИСТОЕ СПЛЕТЕНИЕ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

НЕПТУН: ВСТРЕЧА С «ВОЯДЖЕРОМ-2»»

САМАЯ ДРЕВНЯЯ ДОРОГА В МИРЕ

МЕТАНОЛ - ПЕРСПЕКТИВНОЕ ТОПЛИВО

ИЛЛЮЗИИ В ЦВЕТНЫХ РЕШЕТКАХ

ГОЛЬФ ДЛЯ ЛЮБИТЕЛЕЙ ПРОГРАММИРОВАНИЯ