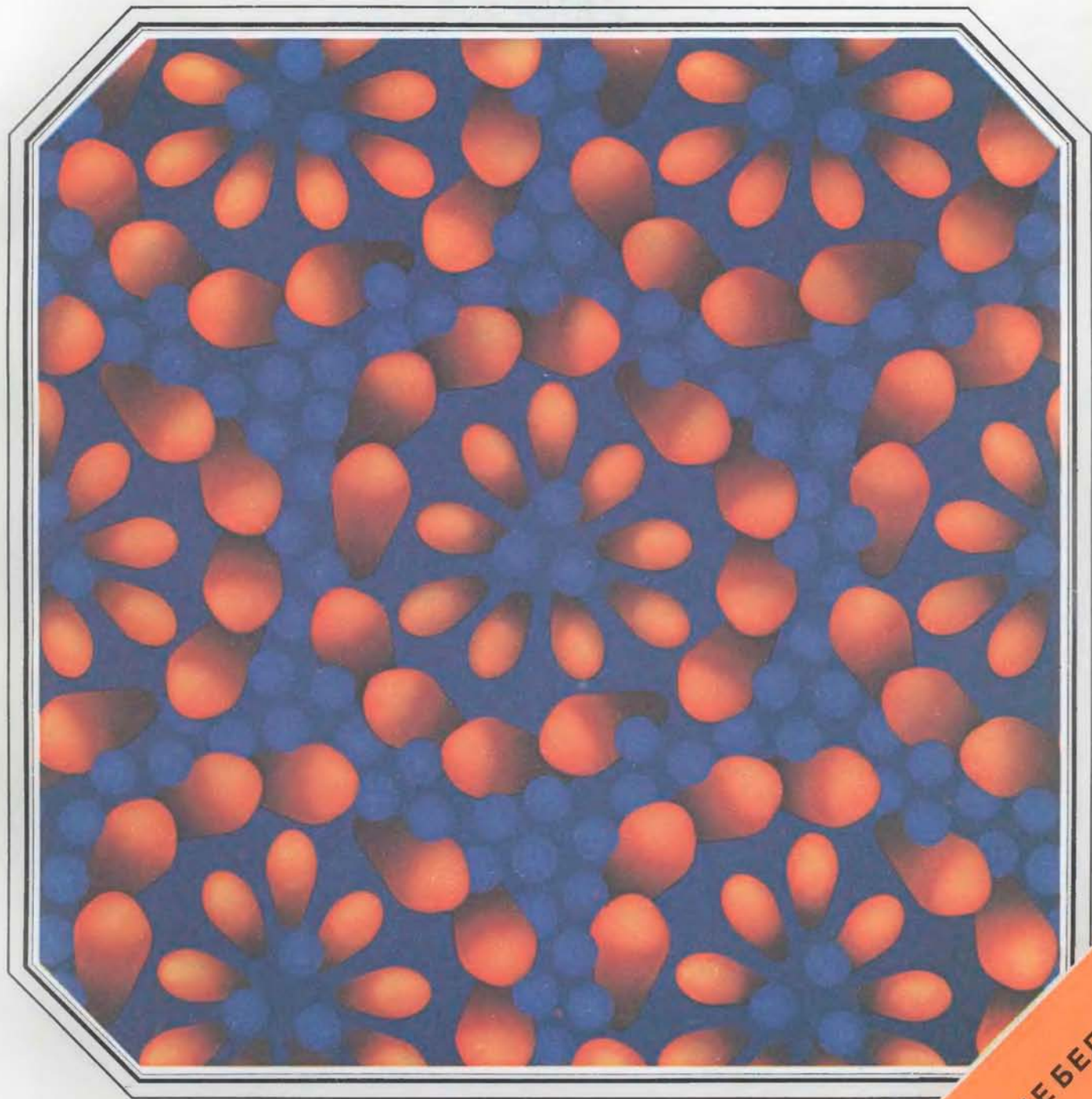


В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Апрель **4** 1984

МЕМБРАННЫЕ БЕЛКИ

Издательство **МИР** предлагает:

В. Штрубе

ПУТИ РАЗВИТИЯ ХИМИИ

Перевод с немецкого



Вопреки сложившимся традициям излагать историю науки как историю идей, развитие теорий, в данном издании применен новый подход—дается анализ развития науки как определенного вида деятельности, направлен-

ной на развитие знаний, с одной стороны, и на совершенствование промышленного производства, с другой. Книга хорошо иллюстрирована.

Для широкого круга читателей.

1984, 30 л. Цена 2 р. 20 коп.



В МИРЕ НАУКИ

Scientific American · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

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

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» МОСКВА

№ 4 · АПРЕЛЬ 1984

В номере:

СТАТЬИ

- 4 Спектроскопия переохлажденных газов *Дональд Г. Леви*
Новый метод охлаждения газов намного ниже обычных температур конденсации позволяет значительно упростить их спектры и получить с высоким разрешением картину сложных энергетических состояний свободных молекул
(Scientific American, February 1984, Vol. 250, No. 2)
- 14 Древнейшие эукариотические клетки *Гонсало Видаль*
Все высшие организмы состоят из эукариотических, т.е. имеющих ядро, клеток. Изучение палеонтологической летописи показывает, что первые эукариоты представляли собой одноклеточные планктонные организмы и появились около 1,4 млрд. лет назад
(Scientific American, February 1984, Vol. 250, No. 2)
- 26 Орбита Земли и ледниковые эпохи *Курт Кови*
В периодических изменениях геометрии земной орбиты давно уже видели возможную причину оледенений. Установленная сейчас более точная хронология ледниковых эпох подтверждает это предположение
(Scientific American, February 1984, Vol. 250, No. 2)
- 36 Структура белков в биологических мембранах *Найджел Ануин, Ричард Хендерсон*
Мембранные белки частично погружены в липидный бислой, а частично выступают в воду. Новые методы электронной микроскопии дают возможность понять, какие особенности структуры этих белков позволяют им существовать в двух столь различных средах одновременно
(Scientific American, February 1984, Vol. 250, No. 2)
- 48 Лазерная абдоминальная хирургия *О. К. Скобелкин, Е. И. Брехов, В. И. Корепанов*
Практически все операции на органах брюшной полости могут быть выполнены с использованием лазерного излучения. Новые методы лазерной хирургии позволили существенно уменьшить количество осложнений и летальных исходов после таких операций
- 58 Числа и меры в древнейших письменных документах *Йоран Фриберг*
Уже в конце IV тысячелетия до н.э. были созданы протошумерские и протоэламские развитые системы счисления и мер, в том числе и такие, которые предвосхитили современную десятичную систему
(Scientific American, February 1984, Vol. 250, No. 2)
- 70 Одинокные пчелы *Сюзанна У. Т. Батра*
Многие виды пчел не являются общественными насекомыми, как хорошо всем известная медоносная пчела. У одинокных пчел каждая самка сама строит свое собственное гнездо. Этим пчелам принадлежит исключительно важная роль в опылении культурных и диких растений
(Scientific American, February 1984, Vol. 250, No. 2)
- 79 Психологические аспекты машинописи *Тимоти А. Солтхауз*
Как удастся квалифицированным машинисткам достичь высокой скорости печатания? Сто лет исследований не дали определенного ответа на этот вопрос. Преобладает гипотеза, что машинистка, совершенствуя свое мастерство, приобретает способность совмещать (перекрывать) свои психические процессы
(Scientific American, February 1984, Vol. 250, No. 2)

РУБРИКИ

- 3 Об авторах
24 50 и 100 лет назад
35, 57, 67 Наука и общество
86 Наука вокруг нас
92 Книги
98 Занимательный компьютер
103 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

BOARD OF EDITORS

Gerard Piel
PUBLISHER

Dennis Flanagan
EDITOR

Brian P. Hayes
ASSOCIATE EDITOR

Philip Morrison
BOOK EDITOR

John M. Benditt

Peter G. Brown

Michael Feirtag

Robert Kunzig

Diana Lutz

Jonathan B. Piel

John Purcell

James T. Rogers

Armand Schwab, Jr.

Joseph Wisnovsky

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR

Richard Sasso
PRODUCTION MANAGER

George S. Conn
GENERAL MANAGER

© 1984 by Scientific American, Inc.

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

В МИРЕ НАУКИ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
С. П. Капица

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
Л. В. Шепелева

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

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

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. А. Стулов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
И. В. Лунёва

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
Л. П. Чуркина

КОРРЕКТОР
Р. Л. Вибке

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

ТИТУЛЬНАЯ НАДПИСЬ,
ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ:
В. В. Ефимов

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

© Перевод
на русский язык и оформление,
«Мир», 1984

На обложке



МЕМБРАННЫЕ БЕЛКИ

Так художник изобразил вид «сверху» на участок клеточной мембраны галобактерии — солелюбивого микроорганизма со своеобразной энергетикой. Мембрана представляет собой двойной слой липидов, в который погружены молекулы белка бактериородопсина. Конформация бактериородопсина была выяснена путем анализа электронных микрофотографий и картин дифракции электронов (см. статью Н. Ануина и Р. Хендерсона «Структура белков в биологических мембранах» на с. 36). Поскольку в данном случае наш взгляд перпендикулярен поверхности мембраны, видны лишь «голова» липидных молекул (*синие шарики*), а их длинные гидрофобные «хвосты» находятся в толще слоя. Молекула бактериородопсина состоит из семи α -спиральных участков, пронизывающих бислой (на рисунке они *оранжевые*). В мембране молекулы бактериородопсина расположены группами по три, так что α -спиральные участки образуют кольца.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: George V. Kelvin

СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК
5 Fritz Goro	40 Richard Henderson, Medical Research Council	Laboratory of Molecular Biology
6-11 Allen Beechel	45, 46 George V. Kelvin	
15-18 Gonzalo Vidal, University of Lund	49, 50 A. А. Чумичев	
19, 20 Patricia J. Wynne	51-56 С. А. Стулов, Н. М. Козлов	
21 Gonzalo Vidal, University of Lund	59 British Museum	
22 Gonzalo Vidal, University of Lund (<i>вверху</i>); Bonnie Bloeser, Texaco Inc. (<i>внизу</i>)	60-63 Alan D. Iselin	
23 Gonzalo Vidal, University of Lund	64 Vincent Scheil	
27-34 Andrew Tomko	65 Alan D. Iselin	
37 Richard Henderson, Medical Research Council Laboratory of Molecular Biology	71-76 Tom Prentiss	
38, 39 George V. Kelvin	79-85 Ilil Arbel	
	87 Ilil Arbel	
	88-90 Michael Goodman	
	98 R. F. Bonifield	
	99-102 Ilil Arbel	
	42 George V. Kelvin	
	43, 44 Nigel Unwin, Stanford University School of Medicine, and Richard Henderson, Medical Research Council	

Об авторах

Donald H. Levy (ДОНАЛЬД Г. ЛЕВИ «Спектроскопия переохлажденных газов») — профессор химии в Институте Джеймса Франка Чикагского университета. Степень бакалавра получил в Гарвардском университете (1961 г.), а доктора философии — в Калифорнийском университете в Беркли (1965 г.). С 1965 по 1967 г. был докторантом по специальности теоретическая химия в Кембриджском университете. В 1967 г. Леви стал сотрудником Чикагского университета; с 1978 г. — профессор химии.

Gonzalo Vidal (ГОНСАЛО ВИДАЛЬ «Древнейшие эукариотические клетки») — доцент геологического факультета Лундского университета (Швеция). Родился в Испании, в 1963 г. переехал в Швецию. Учился в Лунде. Шведская академия наук присвоила ему степени, соответствующие американским степеням магистра (1969 г.) и доктора философии (1973 г.). В 1974 г. уехал в Новую Зеландию, где три года вел исследовательскую работу в министерстве научных и промышленных исследований. Вернувшись в Лундский университет, стал научным сотрудником Государственного научно-исследовательского совета по естественным наукам при геологическом факультете. В 1979 г. защитил диссертацию на следующую научную степень, в 1980 г. получил звание доцента геологических наук, но продолжал деятельность в совете, занимаясь микропалеонтологией дочетвертичного времени. Видаль считает, что своим интересом к истории жизни на Земле он обязан тому, что в детстве посетил Мадридский музей естественной истории, где увидел поразивший его воображение скелет динозавра.

Curt Covey (КУРТ КОВИ «Орбита Земли и ледниковые эпохи») — доцент отделения метеорологии и физической океанологии в Университете Майами. Первоначально специализировался по биологии, степень бакалавра присуждена в Массачусетском технологическом институте в 1973 г., степень магистра — в Калифорнийском университете в Санта-Барбаре в 1975 г. Затем сменил специальность, получил степень доктора философии в области геофизики в Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе в 1982 г. В то время Кови занимался исследованиями атмосферы Венеры; в соавторстве с Дж. Шубертом опубликовал статью по этой теме в "Scientific American" (июль 1981 г.). В 1982 и 1983 гг. был докторантом в Национальном научно-исследовательском центре по изучению атмосферы, занимаясь в частности вопросами применения изотопного

анализа кислорода для изучения палеоклимата и проблемой долговременных последствий ядерной войны, прогнозируемых с помощью модели общей циркуляции атмосферы.

Nigel Unwin, Richard Henderson (НАЙДЖЕЛ АНУИН, РИЧАРД ХЕНДЕРСОН «Структура белков в биологических мембранах») — специалисты в области структуры биологических макромолекул. Н. Ануин родился в Англии, рос в Новой Зеландии, образование получил инженерное — он окончил со степенью бакалавра Горную школу в Отаго и в 1968 г. стал доктором философии в области металлургии. Совместно с Хендерсоном занимается методами электронной микроскопии, изучает белки биологических мембран в лаборатории молекулярной биологии Совета медицинских исследований (Кембридж). В сферу его научных интересов входят также структура рибосом и устройство пор ядерной мембраны. С 1980 г. Ануин — профессор Медицинской школы Станфордского университета. Р. Хендерсон изучал физику в Эдинбургском университете. Степень доктора философии была ему присуждена за исследования молекулярной структуры ферментов, которые он вел в Кембриджской лаборатории молекулярной биологии совместно с Д. Блау. Три года проработал в Йельском университете, после чего вновь вернулся в Кембридж. Занимается в основном рентгеноструктурным анализом мембранных белков.

ОЛЕГ КСЕНОФОНОВИЧ СКОБЕЛКИН, ЕВГЕНИЙ ИВАНОВИЧ БРЕХОВ, ВАЛЕНТИН ИЛЬИЧ КОРЕПАНОВ («Лазерная абдоминальная хирургия») — хирурги, специалисты в области лазерной хирургии. О. К. Скобелкин — доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки РСФСР, лауреат Государственной премии СССР. Степень доктора получил в 1969 г. Возглавляет Всесоюзный центр по применению лазеров в хирургии (ВЦПЛХ). Е. И. Брехов — доктор медицинских наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР, заведующий лабораторией лазерной хирургии ВЦПЛХ. Степень доктора получил в 1978 г. В. И. Корепанов — доктор медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории лазерной хирургии ВЦПЛХ. Степень доктора получил в 1974 г. Научные интересы авторов: лазерная хирургия, хирургия органов брюшной полости, создание швивающих аппаратов для хирургических вмешательств.

Jöran Friberg (ЙОРАН ФРИБЕРГ «Числа и меры в древнейших письмен-

ных документах») — профессор математики в Чалмерском технологическом университете в Гётеборге (Швеция). Степень доктора философии в области математики получил в Лундском университете в 1963 г. В Чалмерском технологическом университете работает с 1967 г. Вначале занимался исследованием дифференциальных уравнений в частных производных и теорией аппроксимации. Рассказывая студентам гуманитарных факультетов о вавилонской таблице решений пифагорова уравнения, он заинтересовался целью, с которой была составлена таблица, и тем, как она была построена. Теперь ученый, как он говорит, «полностью поглощен исследованием истории клинописной математики». Фриберг является приглашенным профессором в Университете шт. Миннесота, в Висконсинском университете в г. Милуоки, а также в Йельском университете.

Suzanne W. T. Batra (СЮЗАННА У. Т. БАТРА «Одинокые пчелы») — энтомолог, научный сотрудник министерства сельского хозяйства США. Степень бакалавра в области зоологии получила в Свартморском колледже, степень доктора философии в области энтомологии — в Канзасском университете, где затем вела научно-исследовательскую работу. Работала также в Пенджабском сельскохозяйственном университете в Индии и в Университете шт. Юта. В 1970 г. стала консультантом, а в 1974 г. — научным сотрудником министерства сельского хозяйства. Она изучает главным образом тех насекомых, которые имеют практическое значение, в том числе одиночных пчел. В ноябрьском номере "Scientific American" за 1967 г. была опубликована статья "The Fungus Gardens of Insects", написанная С. Батра совместно со своим мужем, микологом Леком Р. Батрой, также сотрудником министерства сельского хозяйства.

Timothy A. Salthouse (ТИМОТИ А. СОЛТХАУЗ «Психологические аспекты машинописи») — доцент кафедры психологии Университета шт. Миссури. Степень бакалавра в области психологии получил в Калифорнийском университете в Санта-Барбаре, а степени магистра и доктора философии в области экспериментальной психологии — в Мичиганском университете. На преподавательскую работу в Университет шт. Миссури Солтхауз перешел в 1976 г. Основные научные интересы его лежат в области перцептивных и познавательных навыков, а также зависимости познавательной способности от возраста. В течение последнего года Солтхауз работал в Научно-исследовательском институте геронтологии им. Э. Нормана при Южнокалифорнийском университете.

Спектроскопия переохлажденных газов

*Новый метод охлаждения газов
намного ниже обычных температур конденсации
позволяет значительно упростить их спектры и получить
с высоким разрешением картину сложных
энергетических состояний свободных молекул*

ДОНАЛЬД Г. ЛЕВИ

ПРИ ИЗУЧЕНИИ химических соединений и их реакций обычно определяются средние свойства сравнительно большого количества вещества. Величины, характеризующие тепловой эффект реакции, выход продукта и время, необходимое для его образования, — это макроскопические свойства вещества. Хотя их определение остается важным, в современной физической химии все больше внимания уделяется процессам, происходящим на молекулярном уровне. Множество экспериментов сейчас ставится для изучения структуры отдельных молекул, формы сохранения их энергии и вероятности реакции с другими молекулами при столкновениях. В этих исследованиях изучаются как статические, так и динамические свойства молекул.

Один из наиболее информативных методов изучения микроскопических свойств вещества — молекулярная спектроскопия. Излучение поглощается неодинаково на разных частотах: определенные частоты поглощаются сильно, а другие не поглощаются совсем. Аналогично в возбужденном состоянии вещество может флуоресцировать, т.е. испускать излучение на определенных частотах. Зависимость количества излучения, поглощаемого или испускаемого молекулами, от его частоты (или цвета) представляет собой спектр данного вещества. Измеряя, анализируя и интерпретируя молекулярные спектры, можно многое узнать о физических свойствах молекул.

В принципе, чем сложнее молекулярный спектр, тем больше он содержит информации. Однако спектр вещества может быть таким сложным, что его анализ оказывается невозможным. Например, спектр поглощения в видимой области представляет собой набор темных линий, расположенных на разных расстояниях друг от друга на фоне обычной радуги — от красного цвета до фиолетового. Темные линии соответствуют частотам поглощаемого

света, а остальной спектр образован пропущенным светом, который проходит через данное вещество без поглощения. В спектрах многих веществ темные линии расположены так плотно, что их невозможно разделить даже с помощью приборов самой высокой разрешающей силы; более того, некоторые линии лежат так близко друг к другу, что их невозможно разрешить и теоретически (согласно принципу неопределенности). Поэтому необходимы экспериментальные методы, с помощью которых можно сократить число спектральных линий и таким образом упростить молекулярные спектры. Как ни парадоксально это звучит, нужен способ уменьшения информации, содержащейся в спектре, чтобы можно было ее понять.

ПОСЛЕДНИЕ несколько лет мои коллеги и я в Чикагском университете разрабатывали метод, основанный на свойствах газов при очень низких температурах, который позволил бы систематически уменьшать число линий в их спектрах поглощения или испускания. Наша стратегия проста. В спектре поглощения каждая темная линия соответствует поглощению молекулами по крайней мере одного фотона, или кванта света; поглощение фотона сопровождается переходом молекул из исходного энергетического состояния в состояние с большей энергией. Аналогично при флуоресценции испускание фотона означает переход молекул из исходного состояния в состояние с меньшей энергией. По законам квантовой механики частота фотона, которая определяет положение линии в спектре, пропорциональна разности энергий исходного и конечного состояний.

Если молекулы вещества находятся во множестве разных исходных состояний, то число возможных энергетических переходов, а следовательно, и число линий в спектре может быть очень большим. Если же число исходных энергетических состояний ограничено,

то уменьшается и число возможных переходов, и в результате спектр можно расшифровать. Большинство экспериментальных методов ограничения числа исходных состояний заключается в снижении температуры вещества, потому что при низких температурах заселены только состояния с самыми низкими энергиями. Поэтому наша стратегия упрощения спектров состоит в измерении спектра вещества при температурах не выше 1К.

Если бы для спектроскопии высокого разрешения был нужен всего лишь обычный низкотемпературный холодильник, то не было бы необходимости в нашем новом методе. Однако при низких температурах молекулы стремятся сконденсироваться в жидкость или твердое вещество и их взаимодействие заметно изменяет спектр. Успехи, достигнутые в области электроники, в значительной степени обусловлены пониманием структуры твердого тела, поэтому спектроскопия конденсированного (жидкого или твердого) состояния — очень важный метод исследований. Тем не менее важно изучать и свойства отдельных молекул, свободных от взаимодействия с окружением. Такие исследования лучше всего проводить в газовой фазе. Спектральные линии, соответствующие поглощению или испусканию излучения газами при низком давлении, обусловлены (в хорошем приближении) переходами между энергетическими состояниями отдельных молекул. Итак, проблема заключается в том, чтобы охладить газ в достаточной степени для уменьшения числа исходных энергетических состояний, не позволяя ему сконденсироваться в жидкое или твердое вещество.

С этой точки зрения полезно рассмотреть физические свойства молекул, определяющие возникновение спектральных линий. По законам квантовой механики молекула не может получить произвольное количество энергии. Чтобы молекула могла поглотить

или отдать некоторое количество энергии, оно должно быть таким, чтобы перевести ее в более высокое или более низкое энергетическое состояние; в противном случае исходное состояние вообще не может быть изменено.

Электромагнитное излучение поглощается или испускается отдельными неделимыми порциями, которые называют фотонами. Фотон можно описывать и как частицу, и как волну; как волна он характеризуется частотой и длиной волны. Вспомним, что энергия фотона прямо пропорциональна его частоте. Значит, поглощение или испускание фотона сигнализирует о переходе молекулы из одного энергетического состояния в другое. Молекулярный спектр включает огромный диапазон частот. Переходы с малым изменением энергии между близко расположенными уровнями проявляются как радиочастотные фотоны, переходы между уровнями, отстоящими на среднюю величину, — как инфракрасные фото-

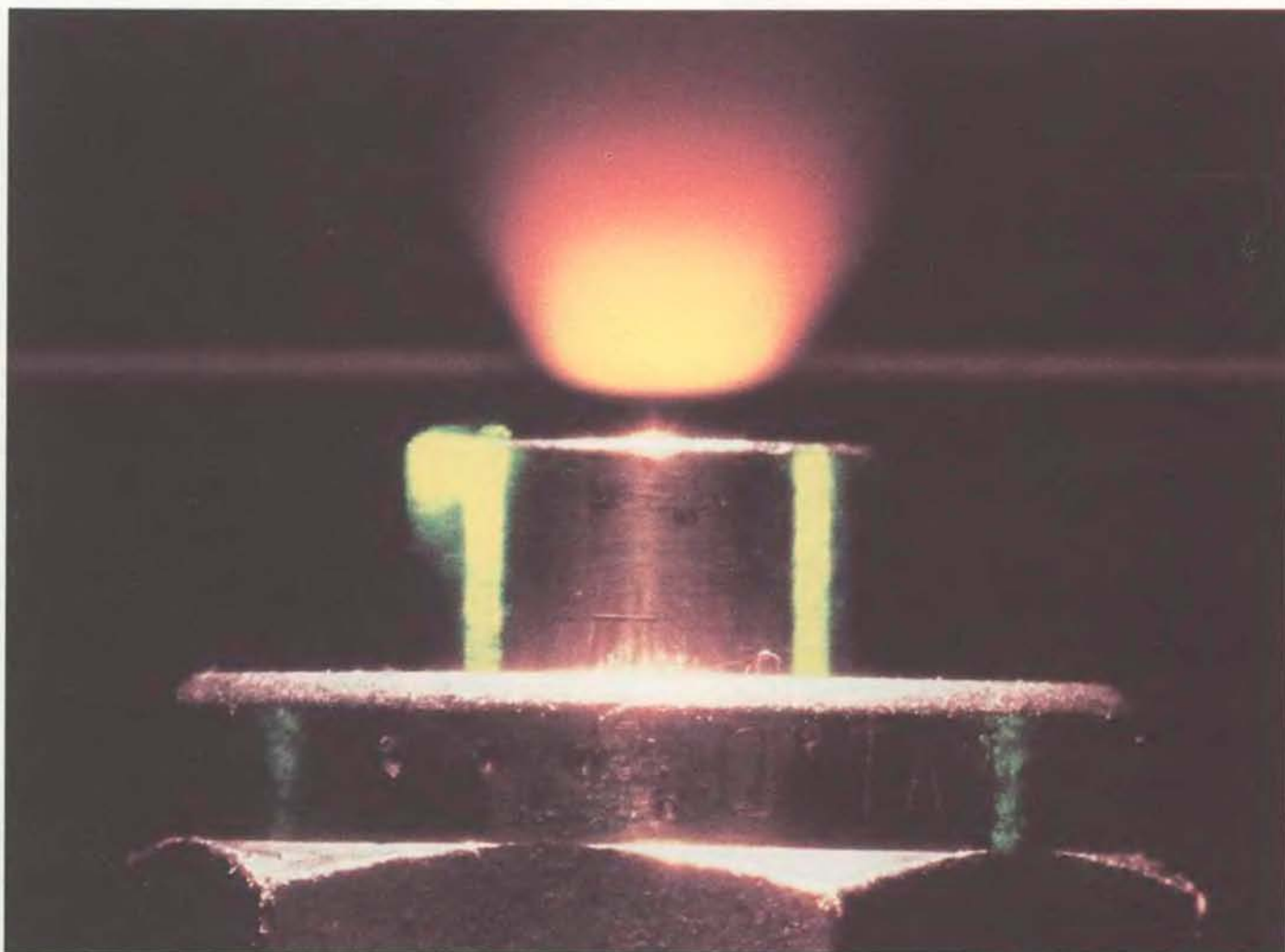
ны, а переходы между далеко отстоящими уровнями — как фотоны видимого, ультрафиолетового или рентгеновского излучения. Различные виды движения или различные степени свободы молекулы можно связать с поглощением или испусканием излучения в разных областях спектра.

МЕДЛЕННОЕ движение тяжелых атомных ядер можно рассматривать независимо от быстрого движения электронов молекулы. Движения ядер настолько медленны, что электроны успевают почти полностью приспособиться к изменению конфигурации ядер, так что орбиты электронов, движущихся вокруг ядер, по существу такие же, какими они были бы при неподвижных ядрах. Далее, движение ядер можно разделить на два различных типа: вращение (кувыркание) молекулы как целого и малые колебания ядер относительно их равновесных положений. Эти два движения тоже в зна-

чительной мере независимы. Вращательное движение происходит почти так же, как если бы молекула была жесткой, а колебательное — почти так, как если бы молекула не вращалась.

Изменения энергии, связанные с изменениями вращательного движения молекулы, могут быть очень незначительны, так что переходы между соседними вращательными уровнями энергии вызываются фотонами очень низкой частоты (в радио- или микроволновой областях спектра). Расстояние между вращательными уровнями энергии определяется моментами инерции молекулы, а каждый момент инерции — конфигурацией атомных ядер. Поэтому анализ системы вращательных уровней может привести к определению длин связей и углов между связями в молекуле.

Колебательное движение молекулы может быть довольно сложным. Чем сложнее молекула, тем сложнее система ее энергетических уровней. Обычно



СВЕРХЗВУКОВАЯ СВОБОДНАЯ СТРУЯ гелия с небольшой примесью молекулярного иода, освещенная интенсивным лазерным излучением, флуоресцирует ярким желто-оранжевым светом. Траектория лазерного луча видна по красной флуоресценции при его прохождении через остаточный газ, окружающий струю. Струя газа вытекает из контейнера высокого давления через отверстие диаметром около 0,05 мм и расширяется со сверхзвуковой скоростью в

вакуумной камере, где и освещается лазерным лучом. В результате быстрого расширения газ охлаждается, а спектр флуоресценции упрощается. Лазерная флуоресцентная спектроскопия свободных сверхзвуковых струй стала мощным методом изучения тонких деталей структуры и динамики газообразных молекул. Фотография сделана Ф. Горо в лаборатории автора в Институте Джеймса Франка Чикагского университета.

расстояние между колебательными уровнями больше, чем между вращательными, и частоты фотонов, связанных с колебательными переходами, лежат в инфракрасной области спектра. Поэтому инфракрасная спектроскопия — традиционный метод анализа структуры колебательных уровней энергии. Колебательные частоты определяются жесткостью или эластичностью сил,

удерживающих на месте атомные ядра; таким образом, колебательный спектр содержит информацию о силах, отвечающих за химические связи.

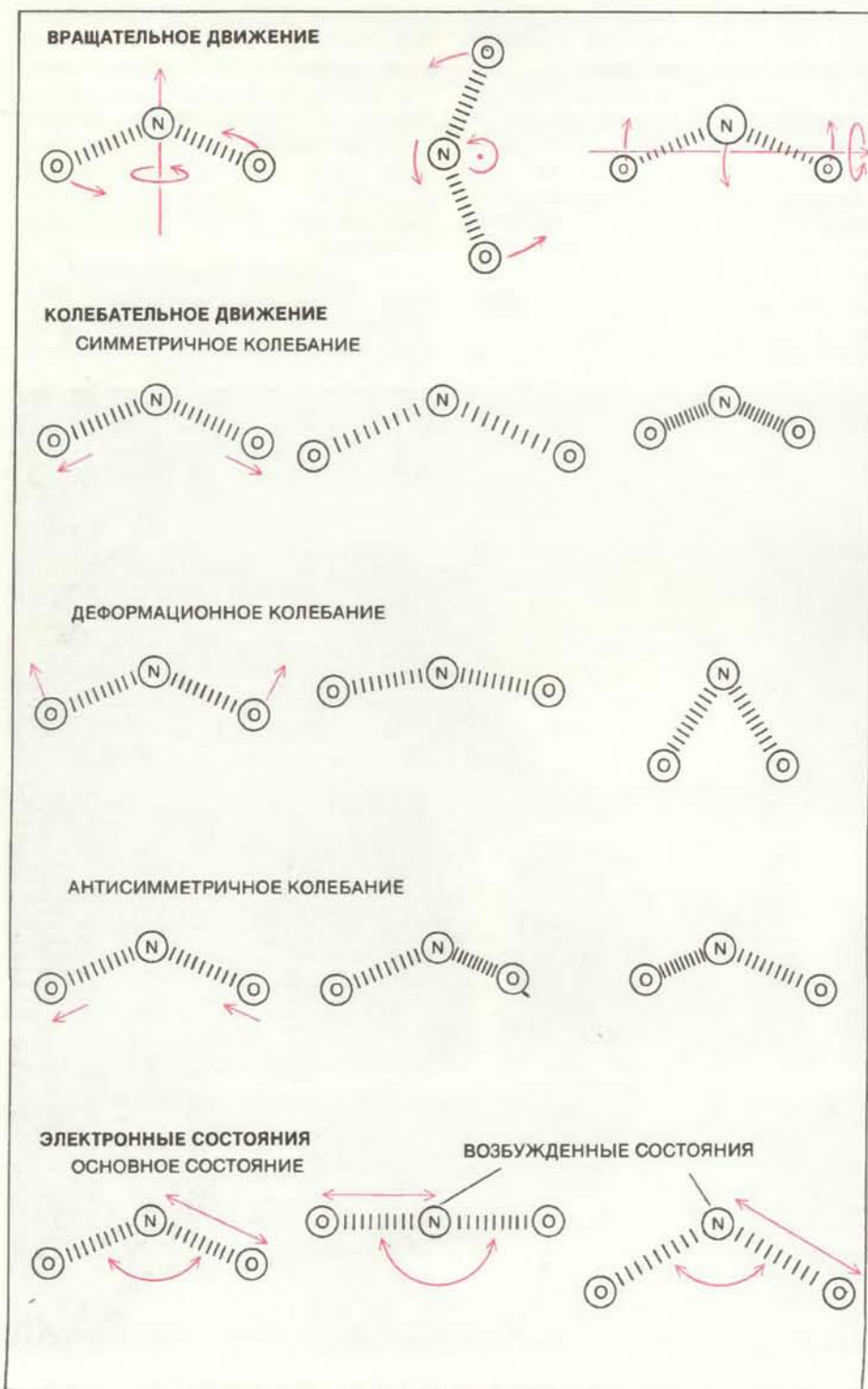
Самая легкая частица, участвующая в энергетических переходах в молекуле, — это электрон; расстояние между соседними электронными уровнями энергии больше, чем расстояния, связанные с вращательными или колебательными

движениями ядер. Соответственно переходы между электронными энергетическими состояниями вызываются фотонами в видимой или ультрафиолетовой областях спектра. Химические свойства молекулы, такие, как конфигурация атомных ядер, прочность связей, которые молекула может образовывать, и ее реакционная способность, определяются распределением электронов молекулы. Следовательно, одну и ту же молекулу в различных электронных состояниях в определенном смысле можно рассматривать как разные химические частицы.

ЕДИНСТВЕННЫЙ фотон может изменить более чем один тип энергетических состояний. Например, фотон инфракрасного излучения может изменить как вращательное, так и колебательное состояние данной молекулы: большая часть его энергии перейдет в колебательное возбуждение, но ее небольшая часть вызовет также вращательное возбуждение. Таким образом, каждое колебательное состояние расщепляется на множество энергетических уровней, представляющих возможные вращательные состояния молекулы в данном колебательном состоянии. Энергетический переход из другого колебательного состояния на один из этих уровней, вообще говоря, соответствует и колебательному и вращательному переходам. Фотон видимого или ультрафиолетового излучения может вызвать электронный, колебательный и вращательный переходы одновременно. Электронное энергетическое состояние складывается из серии колебательных энергетических состояний, каждое из которых в свою очередь расщеплено на вращательные уровни энергии.

Таким образом, энергетические переходы, присущие молекуле в данном энергетическом состоянии, могут проявляться как десятки или сотни спектральных линий. Но это не та сложность, которую спектроскопист хотел бы избежать. Наоборот, такой спектр можно было бы и разрешить, и проанализировать. Трудность заключается в том, что спектр никогда не является спектром единственной молекулы; всегда получается спектр большого числа молекул, находящихся в исследуемом образце. Эти молекулы находятся во множестве различных энергетических состояний, и каждому состоянию присущ свой спектр. Наблюдаемый спектр представляет собой сумму всех спектров, связанных с большим числом исходных энергетических состояний молекул.

Когда молекулы газа могут свободно обмениваться энергией друг с другом, они находятся в тепловом равновесии, и, воспользовавшись законами статистической механики, можно оце-



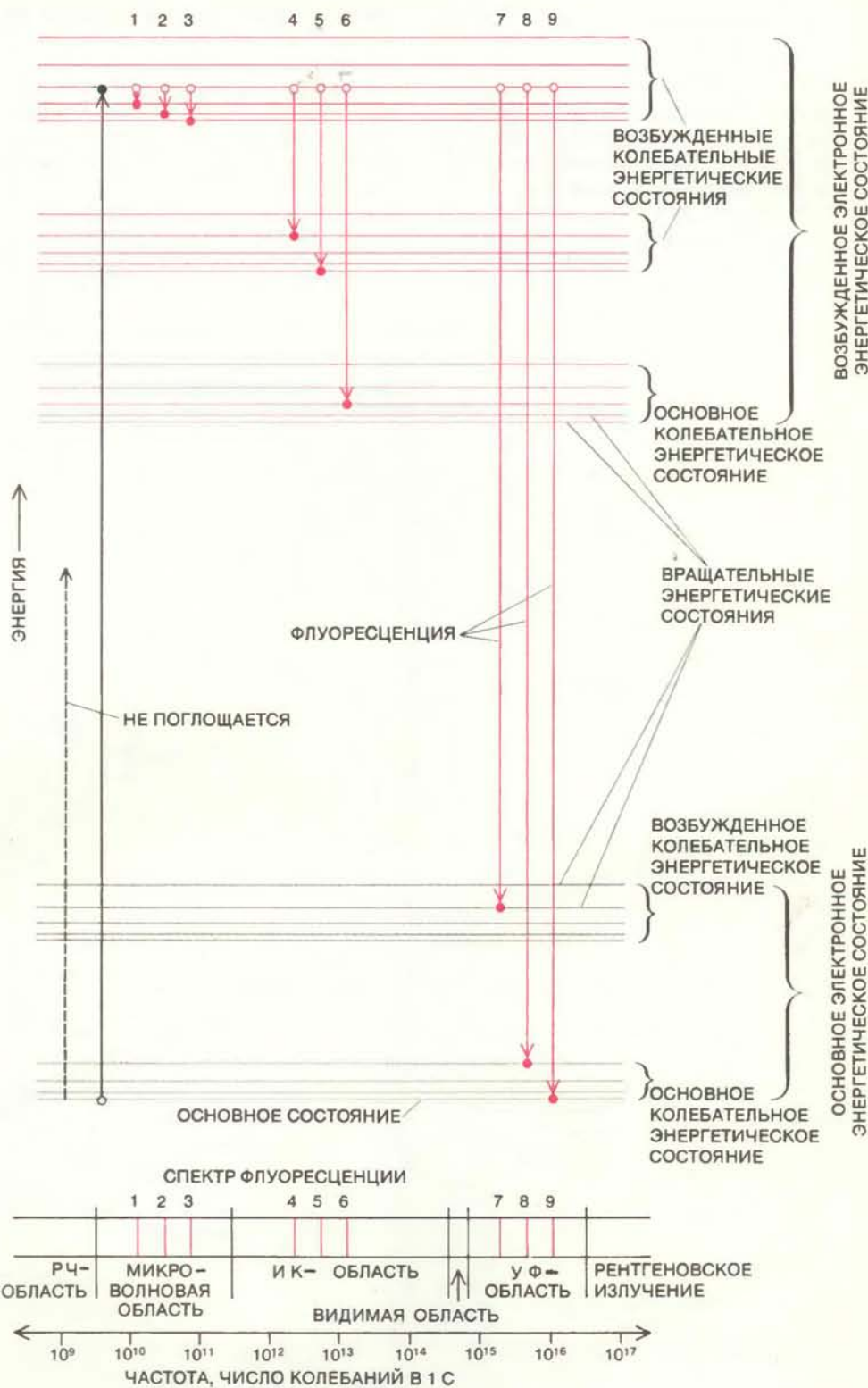
ЭНЕРГИЯ МОЛЕКУЛЫ связана с ее вращательным или колебательным движением, а также с электронной конфигурацией. Здесь показаны три вращательные и три колебательные степени свободы молекулы диоксида азота (NO₂). Количество запасенной вращательной энергии зависит от скорости вращения и моментов инерции молекулы относительно трех главных осей вращения. При изменении электронной структуры может изменяться и конфигурация ядер. Электронные орбитали для упрощения не показаны.

нить их распределение по доступным энергетическим состояниям. Долю полного числа молекул газа в любом энергетическом состоянии при заданной абсолютной температуре можно вычислить по статистическому закону, называемому бoльцмановским распределением в честь австрийского физика Людвиг Эдуарда Больцмана. Чтобы вычислить заселенность данного энергетического состояния, надо найти, насколько его энергия отличается от энергии основного, т.е. самого низкого из возможных состояний. Эту разность E следует разделить на постоянную k , называемую постоянной Больцмана, которая равна приблизительно $1,4 \cdot 10^{-16}$ эрг \cdot К $^{-1}$. Так как постоянная Больцмана выражается в единицах энергии, деленных на единицу температуры, энергетическое расстояние между данным и основным состояниями выражается в единицах температуры.

БОЛЬЦМАНОВСКОЕ распределение дает отношение числа молекул газа, заселяющих данное возбужденное энергетическое состояние, к числу молекул, заселяющих основное состояние. Иными словами, это отношение есть вероятность того, что некая молекула находится в данном возбужденном состоянии, деленная на вероятность того, что она находится в основном состоянии. Это отношение равно числу e (основанию натуральных логарифмов), возведенному в степень $-(E/k)/T$, где T — абсолютная температура газа. Когда энергетическое расстояние равно температуре газа, из этого уравнения следует, что заселенность возбужденного состояния равна приблизительно 0,37 заселенности основного состояния, т.е. сравнима с ней. Если разность энергий примерно в 2,3 раза больше температуры газа, то число молекул в возбужденном состоянии примерно в 10 раз меньше, чем в основном. Условимся называть возбужденное состояние заселенным, если его заселенность равна не менее 0,1 заселенности основного состояния.

Число заселенных состояний зависит как от энергетических расстояний между состояниями, так и от абсолютной температуры. При абсолютном нуле не заселены никакие состояния, кроме основного. Разность энергий между вращательными состояниями зависит от размеров молекулы: в газовой фазе для малых двухатомных молекул она равна примерно 1К, для многоатомных молекул средних размеров — примерно 0,01К, а для больших молекул — приблизительно 0,001К. Следовательно, при комнатной температуре, равной примерно 295К, число заселенных вращательных состояний может быть огромным.

Больцмановское распределение объясняет, почему молекулярные спектры

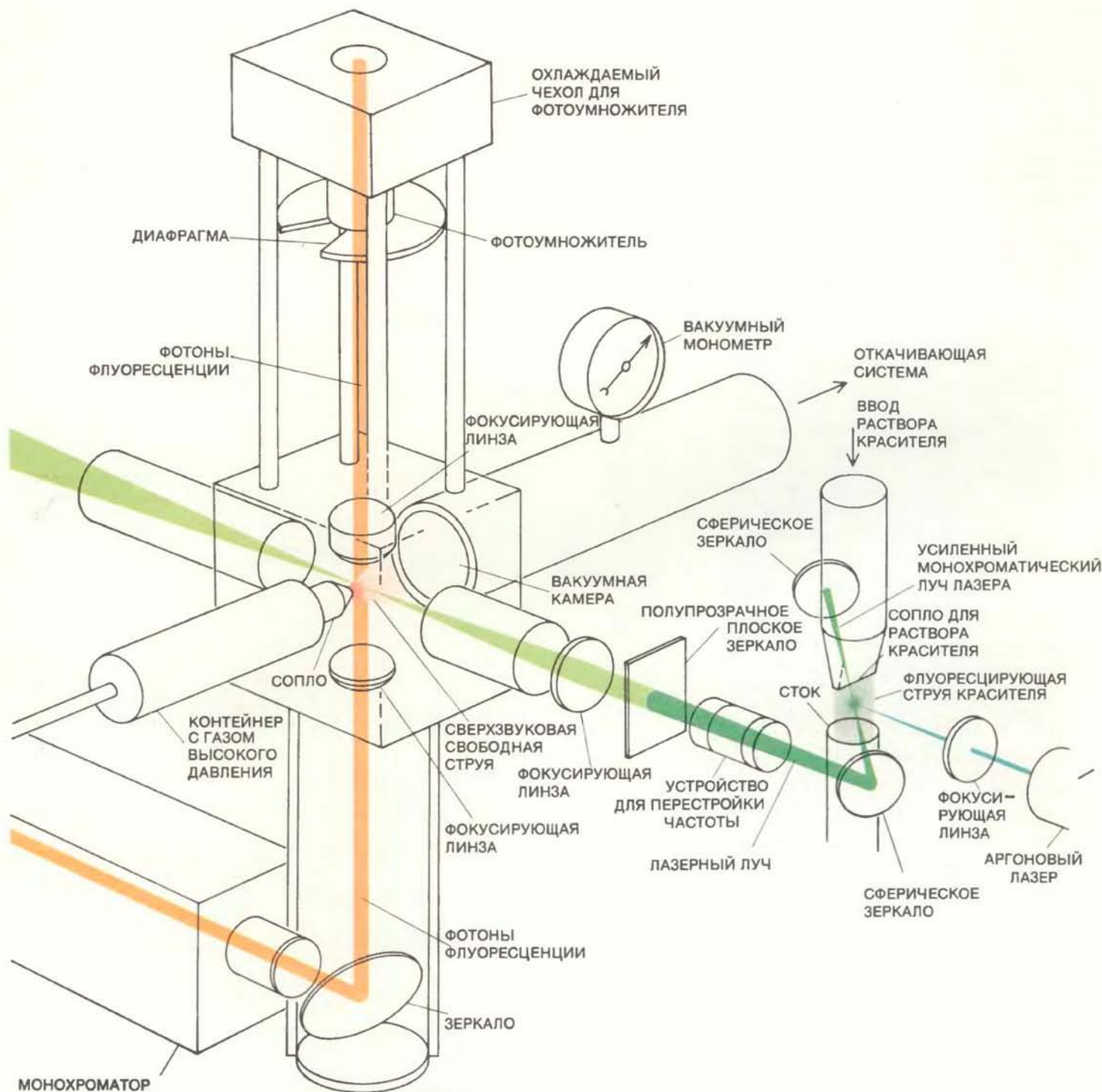


КВАНТОВАНИЕ ЭНЕРГИИ в молекуле можно представить набором дискретных горизонтальных линий, каждая из которых соответствует энергетическому уровню, разрешенному законами квантовой механики. Уровни энергии обычно изображают в соответствии с тремя иерархическими ступенями: каждому колебательному состоянию принадлежит множество вращательных состояний, а каждому электронному состоянию — множество колебательных состояний. Каждое электронное состояние расщеплено на отдельные наборы линий; каждый набор соответствует колебательному состоянию, а каждая линия в наборе — отдельному вращательному уровню. Энергетические переходы могут происходить только между двумя уровнями энергии; если энергия перехода не соответствует разности энергий этих двух уровней, то он запрещен (*пунктирная стрелка слева*). Переходы могут происходить либо с поглощением (*черная стрелка*), либо с испусканием (*цветные стрелки*) фотона. Пронумерованные энергетические переходы соответствуют пронумерованным линиям на схематическом спектре внизу. Относительные высоты уровней показаны не в масштабе.

можно упростить путем охлаждения образца. При достаточно низких температурах расстояния между энергетическими уровнями становятся большими по сравнению с температурой и уровни в основном оказываются незаселенными даже у самых больших молекул. В спектре исчезают линии, свя-

занные с этими уровнями, а спектр нескольких уровней, оставшихся заселенными, становится простым и интенсивным. Судя по наблюдаемым малым расстояниям между молекулярными энергетическими состояниями, упрощение спектра возможно, если образец охладить значительно ниже 1К.

ЧТОБЫ изучать молекулы в газовой фазе при таких температурах, мои коллеги и я решили применить новый метод охлаждения, при котором молекулы газа очень быстро охлаждаются и уносятся прочь, прежде чем успевают конденсироваться. Холодильником является свободная струя газа (т.е.



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА для наблюдения спектра флуоресценции свободной сверхзвуковой струи состоит из трех основных частей: аппаратуры для формирования струи, лазерной системы для возбуждения молекул газа в струе и детектора фотонов флуоресценции. Струя газа из контейнера высокого давления расширяется через маленькое отверстие в вакуумную камеру. Источником возбуждения служит лазер на красителе; его накачивает (снабжает энергией) второй лазер — аргонный. Излучение арго-

нового лазера имеет определенную частоту; частоту лазера на красителе можно перестраивать. Показаны два детектора фотонов, каждый из которых регистрирует фотоны, испускаемые молекулами в струе газа. Фотоумножитель регистрирует фотоны в широкой области частот, а монохроматор — фотоны определенной частоты. Можно использовать и детекторы других типов, такие, как детектор заряженных частиц (не показан).

струи, не ограниченная стенками), впрыскиваемая в вакуумную камеру в таких условиях, что течение оказывается во много раз быстрее скорости звука в струе; поэтому метод называют спектроскопией свободных сверхзвуковых струй. Представим себе контейнер, наполненный одноатомным газом, например гелием, под давлением около 100 атм, и предположим, что этот контейнер открыт в вакуумную камеру. Если в контейнере будет отверстие, то газ устремится через отверстие в вакуум. Если давление в контейнере или отверстие достаточно велико, то атомы в контейнере будут сталкиваться с атомами, вылетающими из него; таким образом, струя газа будет выталкиваться из отверстия.

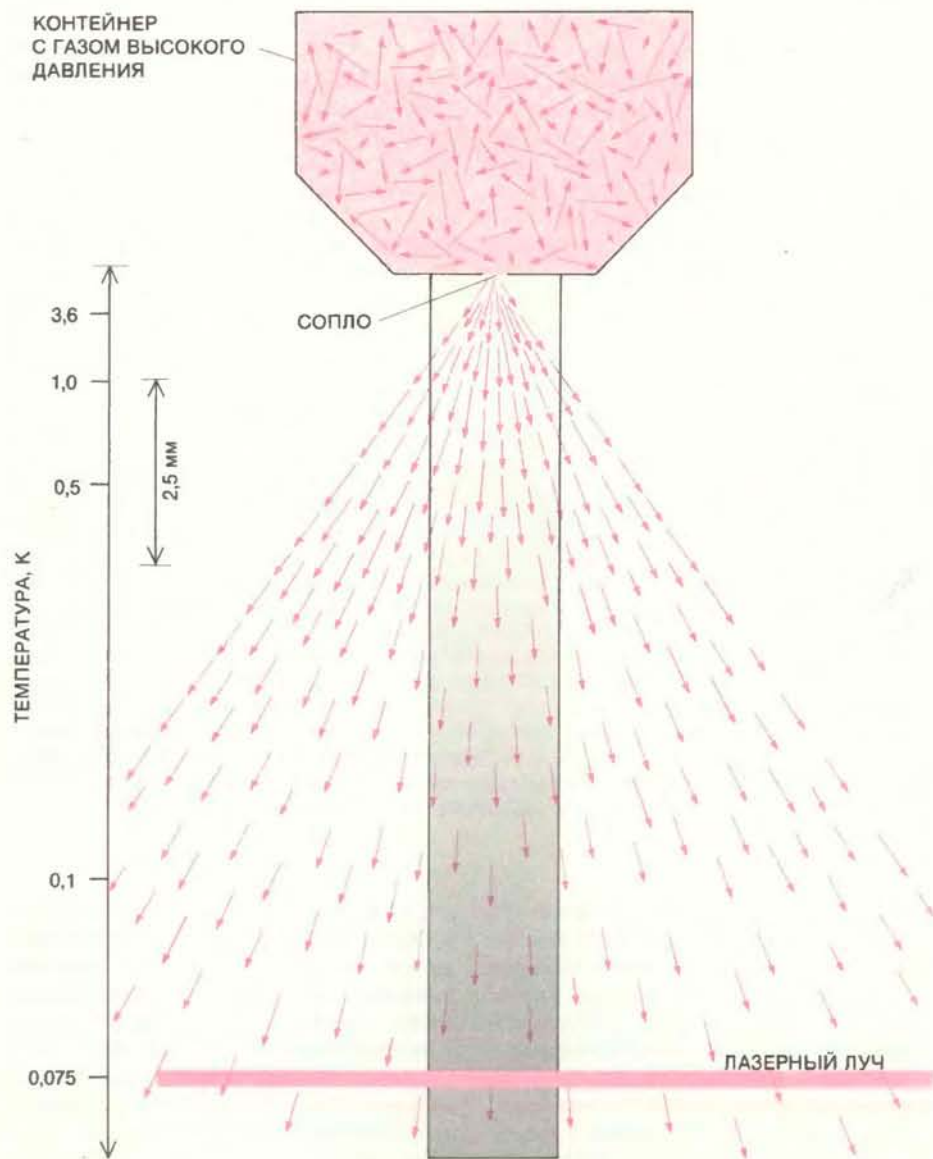
По законам термодинамики расширяющийся газ в струе при определенных условиях должен охлаждаться. В микроскопическом масштабе охлаждение газа означает, что уменьшается его энергия, связанная с хаотическим движением атомов. В колбе атомы газа движутся с разными скоростями. Для простоты рассмотрим движение только в одном направлении. Поскольку движение случайное, атом с определенной скоростью может двигаться влево или вправо. Следовательно, скорости частиц в левом и правом направлениях распределены симметрично относительно наиболее вероятной скорости, которая равна нулю. Температура газа уменьшается по мере того, как возрастает доля частиц, движущихся с низкими скоростями по отношению к наиболее вероятной скорости. Иными словами, температура измеряется шириной распределения скоростей относительно наиболее вероятной скорости. При низких температурах почти все атомы движутся со скоростями, близкими к нулевой, а при высоких температурах больше доля атомов, движущихся с большими скоростями вправо или влево.

В сверхзвуковой свободной струе температура тоже измеряется шириной распределения скоростей. В струе наиболее вероятная скорость в одном из направлений не равна нулю, так как газ движется от отверстия с некоторой ненулевой скоростью потока. Температура определяется шириной распределения скоростей, симметричного относительно скорости потока. С увеличением числа атомов, движущихся с приблизительно одинаковыми скоростями, температура снижается, хотя в целом газ движется вперед со скоростью потока. Определение температуры не зависит от скорости потока, поскольку химические и физические свойства какой-либо порции газа связаны с процессами, происходящими в ее непосредственном окружении. Высокая скорость струи не влияет на эти свойства (как если бы газ находился внутри самолета, движущегося с высокой, но постоянной скоростью).

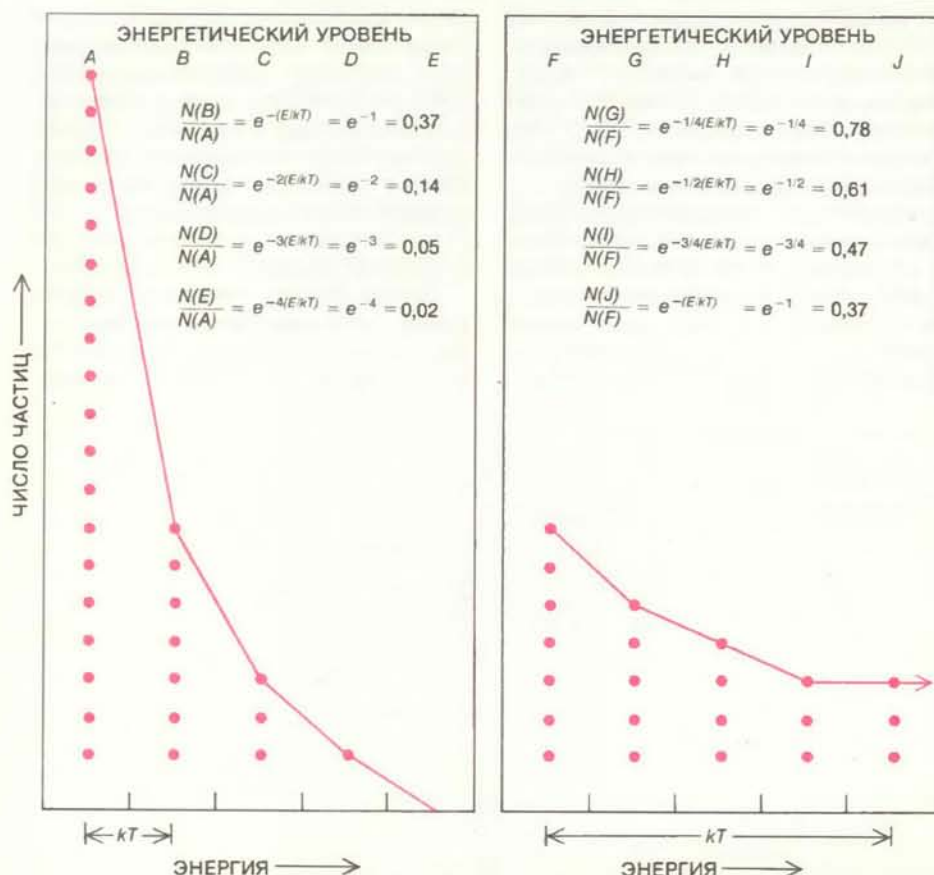
СУЖЕНИЕ распределения скоростей, которое имеет место при сверхзвуковом расширении, называют охлаждением по поступательным степеням свободы, или поступательным охлаждением. Рассмотрим поперечную компоненту скорости каждого атома, т.е. компоненту, которая перпендикулярна направлению потока. Если бы не было столкновений между атомами, атомы с небольшими поперечными скоростями оставались бы вблизи центральной линии струи, а атомы с большими поперечными скоростями разлетались

бы в стороны от нее. В результате пространственного разделения по поперечным скоростям относительно далеко вниз по потоку от сопла в любой небольшой порции газа атомы должны иметь близкие поперечные скорости. Иными словами, в любой порции газа распределение по поперечным скоростям сужается — можно сказать, что поперечная скорость «охлаждается».

Однако вблизи сопла, где давление газа в струе сравнительно велико, атомы в струе непрерывно сталкиваются друг с другом. Из-за этих столкнове-



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ МОЛЕКУЛ вниз по потоку от сопла определяет температуру газа в струе. Направление движения каждой молекулы показано стрелкой, причем длина стрелки соответствует величине скорости. В контейнере высокого давления плотность молекул велика, а их скорости случайны как по величине, так и по направлению. Поскольку газ высокого давления относительно теплый, разброс, или дисперсия, скоростей молекул сравнительно велик. Сразу после выхода из сопла плотность молекул резко падает и продолжает уменьшаться с увеличением расстояния от сопла. Межмолекулярные столкновения как по величине, так и по направлению сужают распределение скоростей по любому радиальному направлению вниз по потоку от сопла до тех пор, пока все молекулы в любом малом объеме не начнут двигаться с приблизительно одинаковыми скоростями. Поскольку ширина распределения скоростей является мерой температуры, газ в струе можно охладить до нескольких сотых долей градуса выше абсолютного нуля. Охлаждение центральной области сверхзвуковой струи, используемой для наблюдения спектра, обозначено серым цветом разных тонов, постепенно сгущающимся.



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛЕКУЛ по энергетическим уровням при хаотическом тепловом движении описывается уравнением Больцмана. Число молекул на любом энергетическом уровне в газе зависит от его абсолютной температуры и разности энергий между данным уровнем и основным состоянием. Отношение числа молекул на данном уровне к их числу в основном состоянии равно основанию натуральных логарифмов e , возведенному в степень $-E/kT$, где E — разность энергии данного и основного состояний, k — постоянная Больцмана, а T — абсолютная температура газа (k измеряется в единицах энергии, деленных на градусы Кельвина, поэтому произведение kT измеряется в единицах энергии). Следовательно, если расстояние E между энергетическими уровнями близко по величине к k , умноженной на абсолютную температуру, то заселены только самые низкие энергетические уровни (слева). Если, наоборот, энергетическое расстояние меньше kT , то заселены также и более высокие энергетические уровни (справа). В этих уравнениях $N(X)$ — число частиц, заселяющих уровень энергии X .

ний сохраняется полное или частичное равновесие между поперечной компонентой скорости и другими степенями свободы движущихся атомов. Таким образом, «охлаждение» поперечной скорости приводит к «охлаждению» продольной компоненты скорости, параллельной направлению потока газа.

Чтобы охладить газ, спектр которого предполагается исследовать, небольшое его количество смешивают с большим количеством одноатомного несущего газа, например гелия. Расширяясь через отверстие или сопло, эта смесь «охлаждается» по поступательным степеням свободы. Пока плотность смеси остается достаточно высокой, молекулы на небольших скоростях сталкиваются с холодными атомами и энергия вращательного и колебательного движения молекул переходит в холодную массу одноатомного газа. Однако по мере удаления газа от сопла вниз по потоку среднее расстоя-

ние между атомами и молекулами возрастает, поэтому число столкновений между частицами в единицу времени уменьшается. Таким образом, охлаждение молекул, обусловленное обменом энергией при столкновениях, представляет собой самоограниченный процесс. В верхней по потоку области струи охлаждение идет очень быстро, но оно резко замедляется, когда столкновения в струе становятся редкими.

ПОСКОЛЬКУ вращательные, колебательные и электронные энергетические состояния молекулы приблизительно независимы, постольку и охлаждение можно рассматривать независимо для каждого вида движения. Для этих внутренних степеней свободы охлаждение эквивалентно тому, что движение большинства молекул газа ограничивается их самыми низкими энергетическими состояниями. Обмен энергией между вращательным движе-

нием молекул и поступательным движением атомов происходит предельно быстро, поэтому вращение молекул «охлаждается» до температуры, близкой к обычной поступательной температуре.

Обмен энергией между молекулярными колебаниями и поступательным движением происходит несколько медленнее, и они «охлаждаются» до температуры, которая значительно ниже исходной, но выше конечной поступательной температуры. Однако оба этих процесса идут гораздо быстрее конденсации. Главное преимущество свободной сверхзвуковой струи как холодильника состоит именно в том, что движение молекул «охлаждается» прежде, чем происходит конденсация в жидкое или твердое состояние, что позволяет провести необходимые спектральные исследования.

В конечном счете конденсация ограничивается тем же механизмом, что и охлаждение, — разрежением газа при его движении вниз по струе. Однако и при поступательном охлаждении конденсация идет медленно, потому что для ее начала требуется столкновение одновременно трех или более частиц. Для охлаждения достаточно всего лишь обмена энергией между двумя сталкивающимися частицами, а для конденсации по крайней мере две частицы должны удерживаться вместе. Причем за время парного столкновения третья частица должна столкнуться с первыми двумя и унести энергию связи этой пары, превращенную в поступательную энергию. Для тройных столкновений нужны гораздо большие плотности газа, чем для двойных, и охлаждение наступает раньше, чем успевает произойти заметное число тройных столкновений. В результате молекулярный газ быстро переохлаждается, т.е. охлаждается ниже обычной температуры его конденсации, так что охлаждение возможно до тех пор, пока низкая плотность газа препятствует образованию кластеров (конгломератов) молекул, на которых могут конденсироваться другие молекулы.

В ПРИНЦИПЕ к сверхзвуковой свободной струе можно применить любой метод молекулярной спектроскопии, так же как и для исследования газа в колбе. Однако спектральный метод должен соответствовать условиям струи, потому что количество молекулярного газа мало. В типичном эксперименте, например при изучении спектра свободной струи молекулярного иода, в каждый данный момент излучение взаимодействует с 10^8 молекул, масса которых равна $3 \cdot 10^{-14}$ г. Для исследования таких небольших образцов необходим спектральный метод высокой чувствительности.

Для получения спектра образца нужен источник излучения, который воз-

буждал бы молекулы из их исходных состояний, и приемник для регистрации спектральных линий. В качестве высокочувствительного метода мы применили флуоресцентную спектроскопию. Когда молекулы в струе освещаются светом той частоты, при которой происходит поглощение, каждая молекула может поглотить фотон лазерного излучения. Через 10^{-9} – 10^{-6} с возбужденная молекула может вернуться в нижнее энергетическое состояние, испустив другой фотон, т.е. молекула может флуоресцировать. Регистрация фотона флуоресценции сигнализирует о том, что молекула в образце поглотила свет известной частоты. Спектр, который при этом получается, — зависимость интенсивности флуоресценции от частоты падающего света — содержит примерно такую же информацию, как спектр поглощения. Детекторы флуоресценции могут с большой точностью считать отдельные фотоны, так что этот метод позволяет с предельно высокой чувствительностью получать спектр поглощения.

Флуоресценцию можно рассматривать как химическую реакцию, в которой взаимодействуют два реагента — падающие фотоны и молекулы, а продуктом являются фотоны флуоресценции. Тогда низкую концентрацию одного из реагентов можно компенсировать избытком другого и таким образом поддержать скорость реакции на удовлетворительном уровне. Поскольку образец содержит мало молекул, ис-

точник излучения должен иметь большую спектральную яркость. Спектральная яркость — это мощность источника на единицу частоты и единицу телесного угла; поэтому яркость достигается не только при увеличении мощности, но и при уменьшении расходимости луча, а также путем сужения полосы частот фотонов в луче.

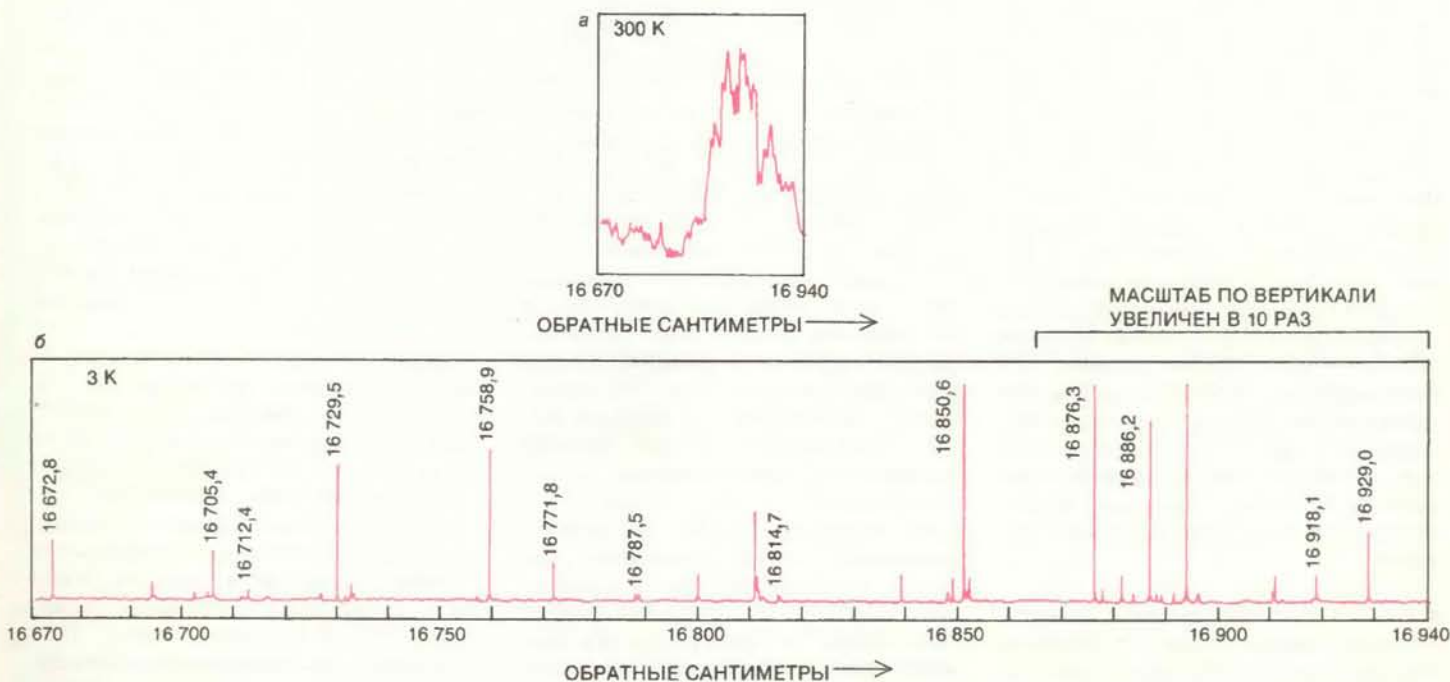
Лазер известен как самый яркий источник излучения. Интенсивность, монохроматичность и высокая направленность лазерного луча позволяют с высокой скоростью «впрыскивать» фотоны надлежащей частоты в малый объем образца. Действительно, если бы не существовал перестраиваемый по частоте лазер, спектроскопия сверхзвуковых струй была бы невозможна или же была бы осуществима только в некоторых благоприятных случаях. Распространение спектроскопии сверхзвуковых струй как общезначимого метода стало возможным в значительной мере благодаря разработке все более надежных и мощных лазеров, перестройка которых позволяет получать излучение от инфракрасной области до ультрафиолетовой.

В НАШЕЙ аппаратуре несущий газ (обычно это гелий, иногда аргон) проходит над исследуемым молекулярным образцом или «пробулькивает» через него. Таким образом, несущий газ насыщается небольшим количеством молекулярного пара. Образующая смесь расширяется через сопло, кото-

рое представляет собой отверстие диаметром около 0,05 мм в тонком куске металла. Если при комнатной температуре давление пара недостаточно, образец и сопло можно подогреть, прежде чем впускать газ в вакуумную камеру.

Самая громоздкая часть аппаратуры — это откачивающая система, необходимая для поддержания вакуума, в котором расширяется свободная струя. Чтобы сильнее снизить конечную температуру вдоль оси струи, можно либо увеличить диаметр сопла, либо повысить давление перед соплом, но и то и другое ведет к увеличению количества газа, который надо откачивать. Поэтому размер откачивающей системы существенно ограничивает возможность охлаждения в струе. Мы сумели достигнуть поступательной температуры около 0,05K, при этом вращательное движение молекул «охладились» до нескольких десятых долей градуса, а колебательное — до температуры от 10 до 50K. (Большинство молекул находится в основном электронном состоянии уже при комнатной температуре.)

Для возбуждения спектра сверхзвуковая свободная струя под прямым углом пересекается ультрафиолетовым или видимым лазерным лучом, перестраиваемым по частоте. Энергия лазерных фотонов достаточна, чтобы перевести в возбужденное электронное энергетическое состояние значительную долю молекул. Детектором слу-



РАЗРЕШЕНИЕ СПЕКТРА диоксида азота можно значительно улучшить, если молекулы NO_2 подмешиваются в сверхзвуковую струю. Вверху — спектр NO_2 в статическом состоянии, который невозможно анализировать из-за его сложности. Внизу — спектр сверхзвуковой свободной струи в

той же области частот, но масштаб по шкале частот увеличен. Разрешены отдельные спектральные линии, поэтому из такого спектра можно получить информацию о структуре молекулы NO_2 .

жит фотоумножитель, который превращает фотонный сигнал в импульс электрического тока. Фотоны флуоресценции можно отличить от фотонов, испускаемых лазером, одним из трех способов. Во-первых, фотоны флуоресценции не обязательно имеют ту же частоту, что и лазерные. Если электронно-возбужденная молекула возвращается не на тот же энергетический уровень, с которого она была возбуждена, то частоты лазерного и флуоресцентного фотонов не совпадают. В таких случаях простой цветной стеклянный фильтр или монохроматор может пропустить флуоресцентный фотон и задержать лазерный.

Во-вторых, флуоресцентные фотоны можно отличить от лазерных просто путем размещения фотодетектора в стороне от лазерного луча. Поскольку лазерный луч имеет высокую направленность, детектор считает только фотоны флуоресценции, которые испускаются во все стороны. Наконец, иногда можно отделить лазерные фотоны во времени. Если лазер импульсный, т.е. быстро включающийся и выключающийся, то молекула может испускать фотоны некоторое время после того, как лазер выключен. Тогда можно избавиться от лазерных фотонов, выключая детектор, когда лазер включен, и включая его, когда лазер выключен, а молекула еще флуоресцирует.

Регистрация флуоресценции — не единственный метод получения спектра сверхзвуковой струи. Недавно разработан другой метод, в котором детектируются не фотоны, а электрически заряженные частицы. Сначала молекула в образце электронно возбуждается, поглощая лазерный фотон. Затем она поглощает второй фотон от того же или второго лазера; энергия второго фотона достаточна, чтобы ионизовать молекулу (т.е. оторвать у нее электрон), но только если она предварительно была переведена в возбужденное состояние первым фотоном. Поскольку молекулярный ион — это положительно заряженная частица, у которой недостает одного или больше электронов, то присутствие заряженной частицы в образце означает, что предварительно был поглощен фотон известной частоты, электронно возбуждавший молекулу. Кроме того, в детектор заряженных частиц может входить масс-спектрометр, так что можно определить массу поглощающей молекулы.

К НАСТОЯЩЕМУ времени спектроскопия сверхзвуковых струй уже использовалась для изучения самых разных молекул — от двухатомных до больших органических молекул, называемых порфиринами. Первая молекула, исследованная этим методом, — диоксид азота (NO_2); полученные данные превосходно продемонстрировали

возможности спектроскопии сверхзвуковых струй в разрешении близко расположенных спектральных линий. Электронный спектр NO_2 простирается от инфракрасной области почти через всю видимую область частот; тесно расположенные линии обуславливают коричневый цвет диоксида азота, заметный в загрязненном воздухе многих городов.

При анализе спектральных линий их часто группируют в полосы, соответствующие множеству вращательных уровней энергии одного колебательного уровня. Колебательные полосы многих небольших молекул хорошо отделены друг от друга, но спектральные линии NO_2 расположены так тесно, что разделение незаметно; в результате, несмотря на значительные усилия, этот спектр не удавалось проанализировать в течение многих лет. В сверхзвуковой свободной струе NO_2 можно охладить так сильно, что почти все молекулы в образце оказываются на самых низких колебательном и вращательном уровнях. Когда молекула электронно возбуждается, спектр состоит из единственной вращательной линии для каждого колебательного уровня возбужденного энергетического состояния и полосы четко отделены друг от друга. На самом деле мы предпочли вернуться назад от этого предела, чтобы вращательные уровни были заселены в очень небольшой степени. Благодаря этому вращательная структура в спектре была развита сильнее и можно было получить дополнительную информацию о молекуле.

Одно из самых многообещающих применений спектроскопии сверхзвуковых струй — это изучение динамических процессов в молекулах, таких, как энергетические переходы и разложение под действием света. Нас особенно интересовал переход энергии в молекуле от одного типа колебаний к другому. При исследовании этого явления желательно располагать методом детектирования переходов небольших количеств энергии; когда такой метод имеется, молекулу можно изучать вблизи ее основного колебательного состояния, где строение и свойства хорошо известны. Этому требованию удовлетворяет класс молекул, в которых атомы удерживаются вместе слабыми внутримолекулярными силами, так называемыми силами Ван-дер-Ваальса. В этих молекулах переход небольшого количества энергии с колебания определенного типа на вандерваальсову связь приводит к ее разрыву; разрыв связи свидетельствует о том, что имел место переход энергии. В молекулах такого типа пороговая энергия, достаточная для разрыва связи и проявления энергетического перехода, гораздо ниже, чем в молекулах, существующих благодаря обычным химическим связям; поэтому можно исследовать фо-

тохимические реакции, характеризующиеся предельно низкой энергией возбуждения.

Однако вандерваальсовы силы слишком слабы, чтобы образовать устойчивые связи в обычных лабораторных условиях. Но при низких температурах в сверхзвуковой свободной струе могут образовываться вандерваальсовы связи между такими молекулами, как иод (I_2), и атомами инертных газов, например гелием или неона. Если в результате поглощения фотона эти молекулы возбуждены электронно и слегка возбуждены колебательно, то два атома иода начинают колебаться в направлении связи между ними. Через короткий промежуток времени эта энергия переходит на вандерваальсову связь, приводя к ее разрыву и образованию двух частиц: электронно-возбужденной молекулы иода и свободного атома инертного газа. Затем молекула иода может вернуться в основное электронное состояние и при этом испустить фотон, сигнализирующий о том, что перед этим вандерваальсова молекула поглотила фотон и имела место фотохимическая реакция.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ линии, регистрируемые при поглощении фотона, размazаны, или уширены, однако само это уширение информативно: из ширины линии можно вычислить продолжительность существования возбужденного энергетического состояния. Этот расчет основан на принципе неопределенности, согласно которому, чем точнее известно время существования состояния, тем больше неопределенность в значении его энергии. Поскольку частота и, следовательно, положение спектральной линии пропорциональны энергии фотона, линия должна быть уширена по частоте в соответствии с его энергией. Ширина наблюдаемой линии свидетельствует о том, что прежде, чем энергия переходит на вандерваальсову связь, проходит несколько десятков или сотен пикосекунд (триллионных долей секунды); за это время атомы иода успевают совершить сотни колебаний.

Благодаря таким исследованиям с высоким разрешением во времени и в пространстве спектроскопия сверхзвуковых струй стала обычным методом изучения спектров молекул в газовой фазе. Возможности этого метода определяются главным образом большой яркостью и надежностью лазерных источников излучения, а также тем, в какой степени лазерное излучение можно настроить на заданную частоту. По-видимому, быстрое развитие лазерной техники будет способствовать тому, что спектроскопия сверхзвуковых струй станет мощным экспериментальным методом.

Издательство **МИР** предлагает:

П. Рамон
ТЕОРИЯ ПОЛЯ
СОВРЕМЕННЫЙ ВВОДНЫЙ КУРС
 Перевод с английского



Книга посвящена систематическому изложению квантовой теории поля (в основном в рамках теории возмущений) на языке функциональных интегралов. Все основные выкладки представлены полностью, что дает возможность читателю не только ознакомиться с основными идеями современной квантовой теории поля, но и овладеть техническими приемами сложных и нетривиальных вычислений. После каждой главы помещено боль-

шое число упражнений и задач. Материал книги дает достаточную основу для дальнейшего изучения предмета по более специализированным обзорам, монографиям и оригинальным статьям. Книга заполняет существующий пробел в учебной литературе по современной квантовой теории поля.

Для студентов старших курсов, аспирантов и начинающих научных работников в области физики элементарных частиц.

1984, 300 с. Цена 2 р. 20 к.



Древнейшие эукариотические клетки

Все высшие организмы состоят из эукариотических, т.е. имеющих ядро, клеток. Изучение палеонтологической летописи показывает, что первые эукариоты представляли собой одноклеточные планктонные организмы и появились около 1,4 млрд. лет назад

ГОНСАЛО ВИДАЛЬ

СОГЛАСНО современной интерпретации палеонтологической летописи, первые признаки жизни появились на Земле около 3,5 млрд. лет назад, примерно через миллиард лет после образования нашей планеты. Древнейшие структуры, которые можно с уверенностью считать формами жизни, были прокариотами — примитивными одноклеточными микроорганизмами, которые, подобно современным бактериям, не имели оформленного ядра. Многоклеточные организмы, состоящие целиком из эукариотических, т.е. обладающих ядром, клеток, возникли почти на 3 млрд. лет позже. Когда же в столь огромном промежутке геологического времени от прокариотических предков произошли первые эукариотические клетки?

До сих пор считалось, что непосредственные следы этого важнейшего в эволюции события нужно искать среди фоссилизированных остатков бентосных (т.е. донных) водных микроорганизмов. Однако похоже на то, что первые эукариоты были планктонными плавучими созданиями, свободно парившими в толще морской воды. Микроскопические окаменелости (микрофоссилии), теперь рассматриваемые как остатки древнейших эукариотических клеток, известны уже довольно давно под названием акритархи. (Это слово, составленное из греческих корней, можно перевести как «существа неизвестного происхождения».) Акритархи встречаются в осадочных породах из разных частей света. Возраст некоторых из этих пород, судя по данным радиоизотопного датирования, составляет не менее 1,4 млрд. лет.

До 1930 г. древнейшими известными окаменелостями были находки из осадочных пород, относящихся к кембрийскому периоду — первому подразделению палеозойской эры, которая, согласно принятой сейчас хронологии, началась 570 млн. лет назад. Прежде граница между кембрием и докембрийским временем рассматривалась как загадочный резкий перерыв. В породах кембрийского возраста содержится сравнительно много окаменелостей вымерших организмов, среди ко-

торых представители практически всех крупных систематических групп, существующих в наши дни. Докембрийские отложения конца протерозойской эры, будучи в большинстве случаев весьма похожи на непосредственно подстилаемые ими кембрийские породы, напротив, практически совершенно лишены окаменелостей. Единственное приметное исключение составляют слоистые карбонатные образования, называемые строматолитами — их интерпретируют сейчас как осадочные структуры, созданные сменяющимися друг друга сообществами бактерий. Хотя давно было известно, что строматолиты встречаются уже в глубоком докембрии, палеонтологи не считали их бесспорным доказательством существования жизни в те времена. Сообщения об открытии различных иных форм жизни в докембрии публиковались еще в конце XIX в., но и к этим находкам, как правило, относились скептически.

Первые убедительные доказательства существования животной жизни в докембрии появились в 1930 г., когда немецкий палеонтолог Г. Гюрих нашел следы фоссилизированных многоклеточных организмов в позднепротерозойских породах из Намибии (Африка). В 1947 г. австралийский геолог Р. Спригг открыл в пластах песчаников в холмах Эдиакара (южная Австралия) многочисленные отпечатки примитивных водных животных, в том числе медуз, различных видов червей и, как считается, губок. Тогда полагали, что эти породы относятся к раннему кембрию, но последующее изучение показало, что они тоже принадлежат к позднему протерозою. С тех пор подобные окаменелости животных были обнаружены в осадочных породах примерно того же возраста в Великобритании, Канаде, Швеции и СССР. Открытие эдиакарской фауны отодвинуло для нас появление многоклеточной жизни ко времени примерно 670 млн. лет назад. Но до 1950-х годов более ранние следы докембрийской жизни, если не считать спорных в этом отношении строматолитов, не были известны.

ТО, ЧТО в докембрии уже существовала микробная жизнь, первыми установили в 1954 г. Э. Баргхорн из Гарвардского университета и С. Тайлер из Висконсинского университета, которые изучали микроскопические тельца из строматолитовых пород железорудной формации Ганфлинт в южной части провинции Онтарио. Радиоизотопное датирование минералов этих пород показало, что они образовались около 2 млрд. лет назад. Так был сделан важнейший шаг в исследовании ранней докембрийской жизни. С него началась настоящая лавина публикаций о палеонтологических находках в докембрийских отложениях, которые стали изучать во всем мире. В то же самое время докембрийские и раннепалеозойские микроокаменелости исследовал Б. В. Тимофеев (Академия наук СССР); его пионерская работа также вызвала большой резонанс.

Изучение докембрийских микрофоссилий вскоре пошло в двух направлениях, различавшихся как по постановке вопросов, так и по методологии. Американские ученые продолжали следовать гипотезе Ч. Уолкотта, который в начале XX в. первым заговорил о биологическом происхождении строматолитов. В США и отчасти в Европе строматолиты и создавшие их сообщества микроорганизмов стали предметом исследования со стороны специалистов разных дисциплин. Советские палеонтологи основывались на достижениях традиционной европейской школы палинологии — науки о живых и ископаемых спорах, пыльцевых зернах и других подобных микроскопических структурах. Палинологический анализ микрофоссилий в кислотоустойчивых остатках пород раннего палеозоя начал в 1931 г. А. Айзенак из Тюбингенского университета. Приложение разработанных им методов к микрофоссилиям докембрия было логическим продолжением его исследований микрофоссилий раннего палеозоя.

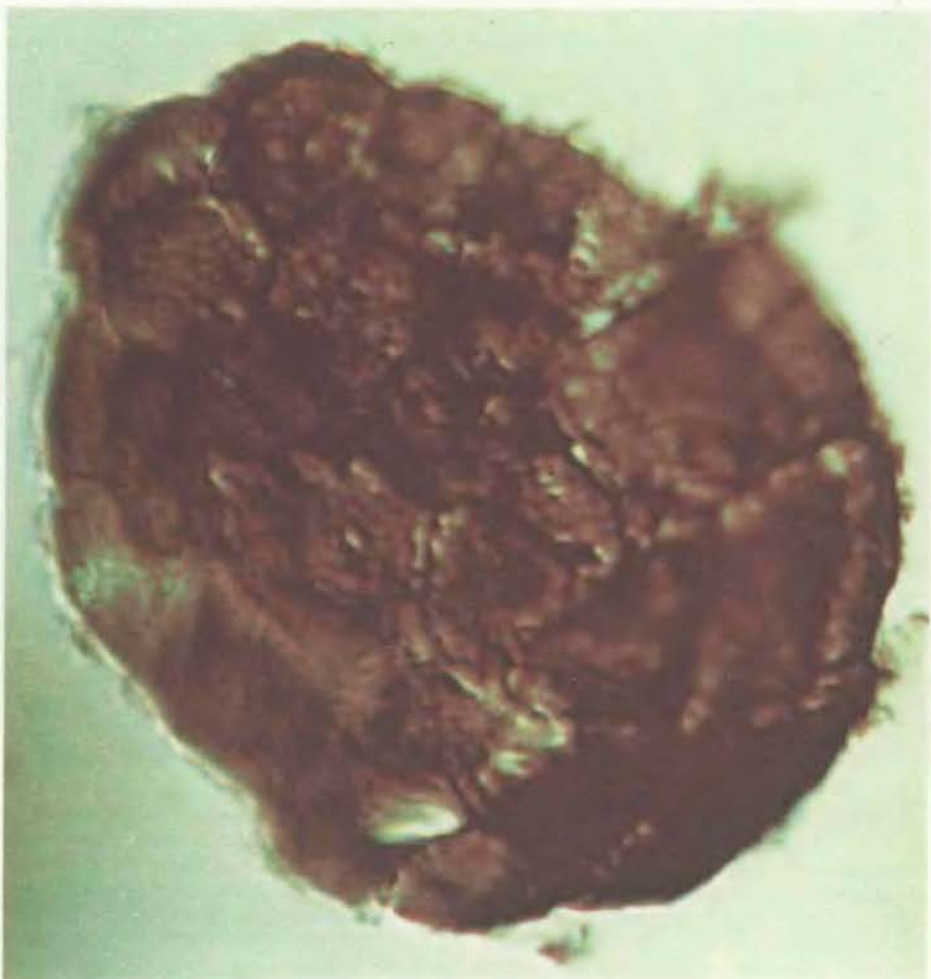
Советские исследователи подробно изучили распространенные на территории СССР хорошо сохранившиеся рифейские (позднепротерозойские) отложения, однако в центре внимания были

вопросы геологии: ученые стремились использовать микрофоссилии для относительного датирования, как это принято в биостратиграфии. Вопросы же палеонтологического характера — взаимная связь разных микрофоссилий, их местообитания, условия среды во время накопления осадков и такие глобальные факторы, как палеоклимат и эволюция атмосферы, не рассматривались, а некоторые первоначальные выводы, касавшиеся палеобиологии, позже подверглись существенной корректировке.

В работах американских исследователей акцент делался главным образом на изучении тонких прозрачных срезов пород (петрографических шлифов), так что была охвачена лишь ограниченная часть доступной палеонтологической летописи. Тем не менее удалось добиться больших успехов. И хотя сложившееся кое-где скептическое отношение к советским палеобиологическим гипотезам много лет мешало оценить их важность, хотя две линии исследований не слились и сейчас, общее мнение по основным вопросам происхождения и эволюции ранней жизни достигнуто.

ЗНАЧИТЕЛЬНАЯ часть палеонтологической летописи докембрия основана на изучении строматолитов, в которых исходно содержащийся в них карбонат кальция был замещен кремнеземом. Строматолиты образовались в результате накопления тонкого осадка, обычно карбоната кальция, захваченного фотосинтезирующими организмами микробных сообществ. Будучи пористым, карбонат не сохраняет структуру живых существ, а кремнезем иногда может ее сохранять. Микрофоссилии, обнаруженные американскими исследователями и их европейскими коллегами в окремнелых строматолитовых отложениях, по большей части относились к мелководным бентосным сообществам, состоявшим почти исключительно из неподвижных прокариотических микроорганизмов, в ос-

МИКРОФОССИЛИИ — остатки древнейших эукариотических микроорганизмов. (Микрофотографии сделаны с увеличением $\times 2500$.) Эти так называемые акритархи были извлечены в составе кислотоупорного органического остатка из заключавшей их массы осадочной породы. *Вверху*: оболочка цисты, т.е. довольно прочная внешняя мембрана (в цисту одноклеточный планктонный организм превращается на стадии покоя своего жизненного цикла). Этот образец найден Т. В. Янкаускасом на Южном Урале; возраст отложений 1,6—1,4 млрд. лет. *Внизу*: группа подобных форм из сланцев формации Чемберлен в шт. Монтана; образец получен Р. Хородиски; возраст микрофоссилии около 1,4 млрд. лет.





СТРОМАТОЛИТЫ. Такие куполообразные структуры состоят из слоев, образовавшихся в результате жизнедеятельности сменявшихся друг друга матов фотосинтезирующих организмов, главным образом цианобактерий. В данном случае карбонат кальция первичных отложений был частично замещен кремнеземом, который обычно лучше сохраняет микрофоссилии. Этому образцу, взятому из доломитовой формации на севере Норвегии, 800 млн. лет.



ШЛИФ ОКРЕМНЕЛОГО СТРОМАТОЛИТА. Видны фоссилизированные оболочки нитчатых и сферических цианобактерий. Микроорганизмы такого типа, лишенные оформленного ядра, относятся к прокариотам. Они обычно сохраняются в виде распыленного во вмещающем материале органического вещества, и их редко удается извлечь из заключающей их кремнистой горной породы. Этот шлиф получен из железорудной формации Ганфлинт на юге провинции Онтарио, его возраст около 2 млрд. лет. (Световая микрофотография. Увеличение $\times 4000$.)

новном цианобактерий*. Живые строматолиты, т.е. находящиеся в процессе литификации (окаменения) маты — скопления водорослей и бактерий, в которых преобладают цианобактерии, сейчас встречаются и в соленоводных, и в пресноводных местообитаниях. Эти структуры всегда относятся к мелководным бентосным микробным сообществам.

Многие микроскопические окаменелости из докембрийских строматолитов морфологически очень похожи на нынеживущих цианобактерий. Stromatолитовые микрофоссилии обнаружены в докембрийских породах разного возраста, древнейшим из них, возможно, более 3 млрд. лет. Их образцы найдены на всех континентах, кроме Антарктиды. Исследования ископаемых и живых строматолитов значительно расширили понимание палеобиологии древних бентосных сообществ микроорганизмов. Но, так как эти по преимуществу цианобактериальные сообщества были удивительно стабильными на протяжении миллиардов лет, по ним мало что можно узнать о палеобиологии организмов, живших в открытых водах. А дело в том, что, как я попытаюсь показать далее, именно в планктонных сообществах открытых вод, по-видимому, происходили крупнейшие эволюционные события докембрия. Самое главное, здесь, видимо, появились и дали вспышку разнообразия первые эукариотические клетки. Методы советской школы и принятый американскими учеными междисциплинарный подход оказались равно полезными для выяснения истории древнейшего планктона.

Исследования бентосных микрофоссилий ограничивались изучением шлифов тонкозернистых кремнистых пород, таких, как кремнистые сланцы. Но известно, что самые разные осадочные породы, например песчаники, алевролиты, глинистые сланцы, известняки и ряд других, содержат фоссилизированные остатки микроорганизмов со сравнительно прочной органической стенкой, похожей на стенку шисты или капсулоподобную внешнюю мембрану, которые образуются у некоторых нынеживущих микроорганизмов на стадии покоя их жизненного цикла. По аналогии с осадками, накапливающимися в наше время, можно считать, что породы, в которых содержатся эти микрофоссилии, образовались в мелких или умеренно глубоких морских бассейнах на материковом шельфе. Акритархи, извлекаемые из них, до-

* Принимая во внимание бактериальную природу прокариотических организмов *Cyanophyta* (сине-зеленые водоросли), которые к водорослям как таковым вовсе не относятся, автор вслед за Р. Стейнером, Г. Коэн-Базиром и Л. Маргелис называет их цианобактериями. — Прим. ред.

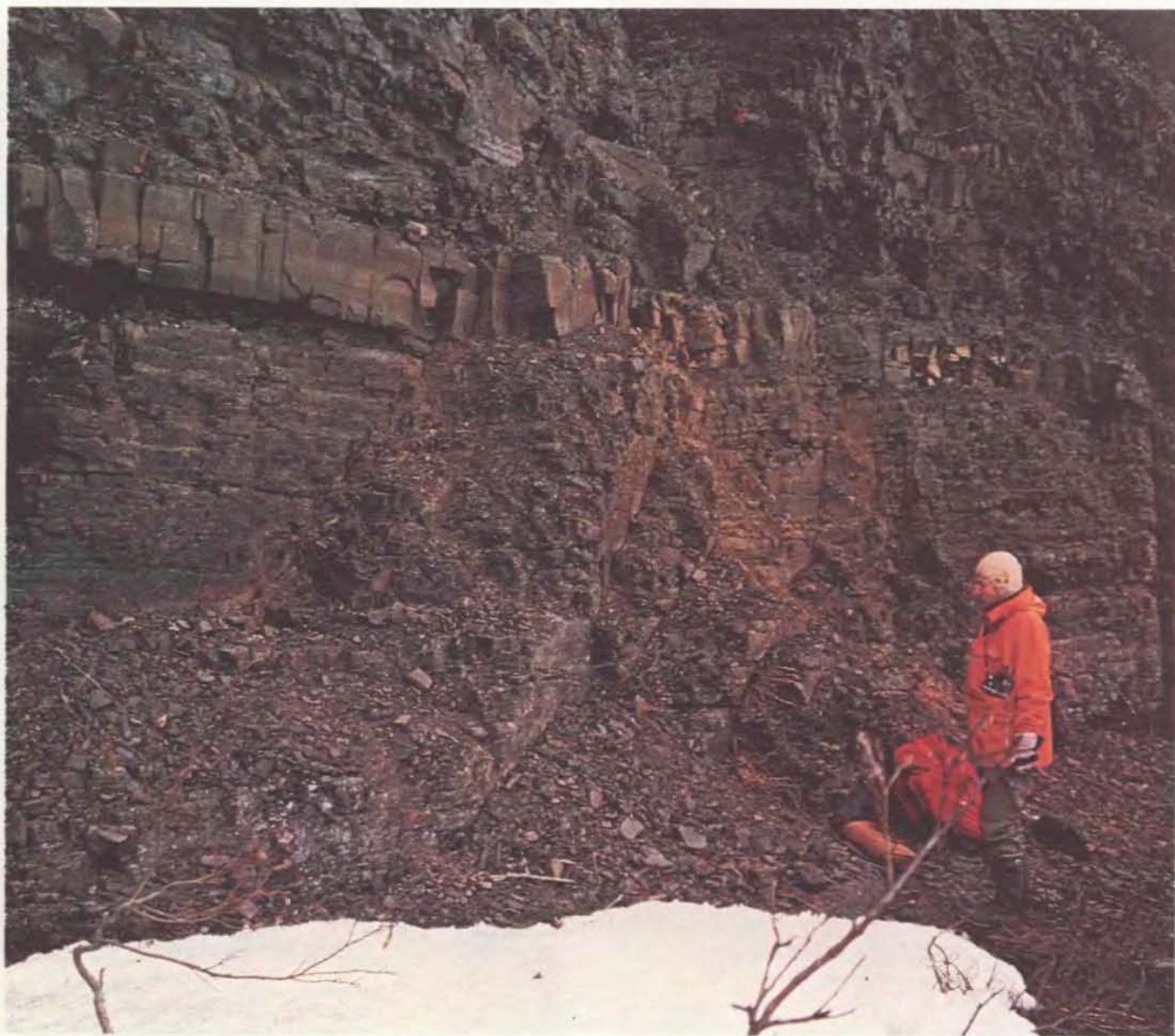
вольно разнообразны по форме и строению и в затвердевших осадках распределены равномерно. Хотя акритархи иногда попадают в шлифах пород, они, как правило, там слишком редко разбросаны во вмещающем материале, чтобы их можно было изучать этим методом.

Органические стенки акритарх устойчивы к действию большинства неорганических кислот и щелочей. Поэтому их легко можно концентрировать и изучать в составе кислотоупорных остатков, получающихся при растворении включающей их горной породы. О планктонном происхождении многих акритарх свидетельствует тип осадочных пород, в которых их находят. Тот факт, что акритархи часто встречаются равномерно распределен-

ными в глинистых сланцах, песчаниках, алевролитах и известняках, позволяет предполагать, что они были свободноплавающими организмами и расселялись в открытых водах. На их планктонный характер указывает и космополитное распространение многих форм в разновозрастных осадочных пластах. И по внешнему виду, и по равномерному распределению во включающих осадочных породах акритархи схожи с гораздо более молодыми микрофоссилиями, относительно планктонной природы которых нет сомнений.

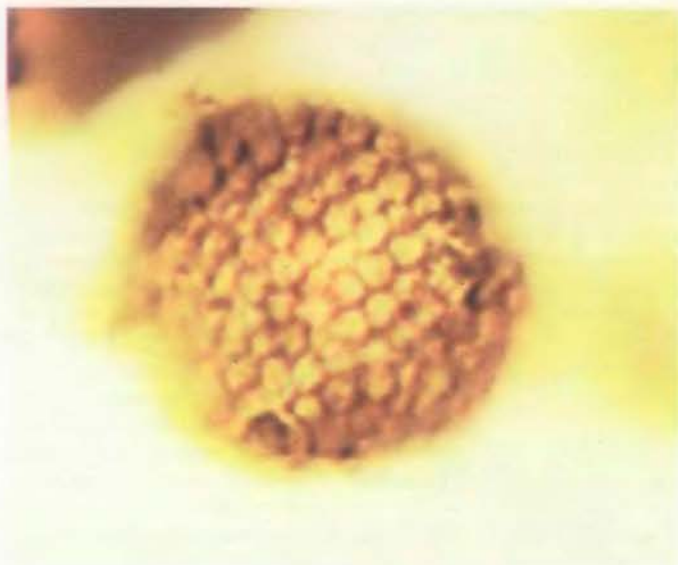
БОЛЬШИНСТВО акритарх были, вероятно, цистообразующими одноклеточными фотосинтезирующими эукариотами, т.е. какими-то водорос-

лями, хотя для некоторых немногих форм можно предполагать прокариотическую организацию. Например, некоторые акритархи похожи на колонии современных сферических цианобактерий, так называемых хроококков. Как правило, такие формы во множестве находят в совершенно лишенных других остатков живого морских осадках, накопившихся в условиях оледенения во время варангерского ледникового периода, который имел место в позднем протерозое около 650 млн. лет назад. По аналогии с наблюдающимися в наше время «цветениями» морфологически сходных микроорганизмов можно думать, что обилие этих микрофоссилий отражает вспышку размножения некоторых цианобактерий в эпоху, когда продуктивность и разнообра-

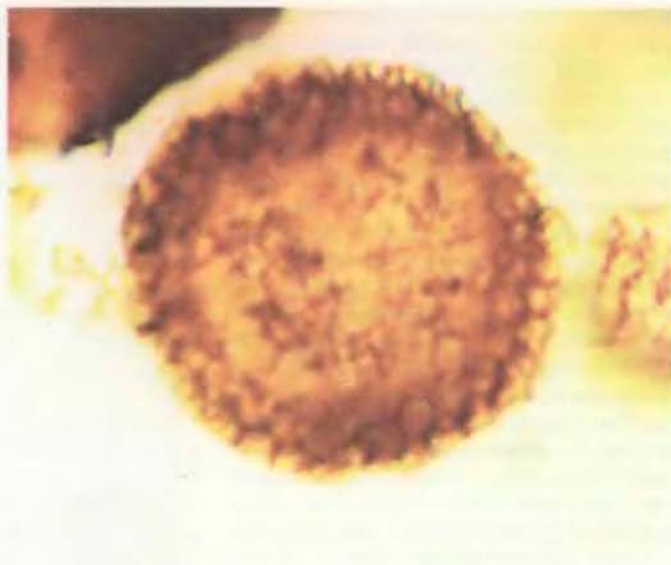


ОБНАЖЕНИЕ ОСАДОЧНЫХ ПЛАСТОВ на полуострове Варангер (северо-восток Норвегии) представляет собой более или менее непрерывную стратиграфическую летопись позднего протерозоя и раннего кембрия. В породах содержатся

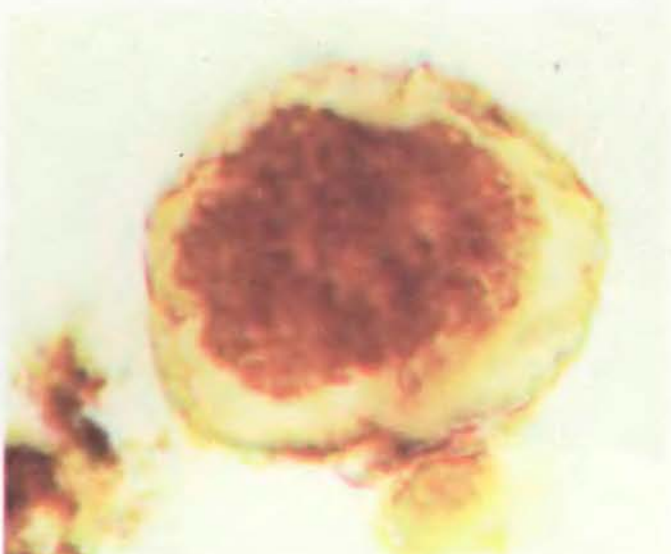
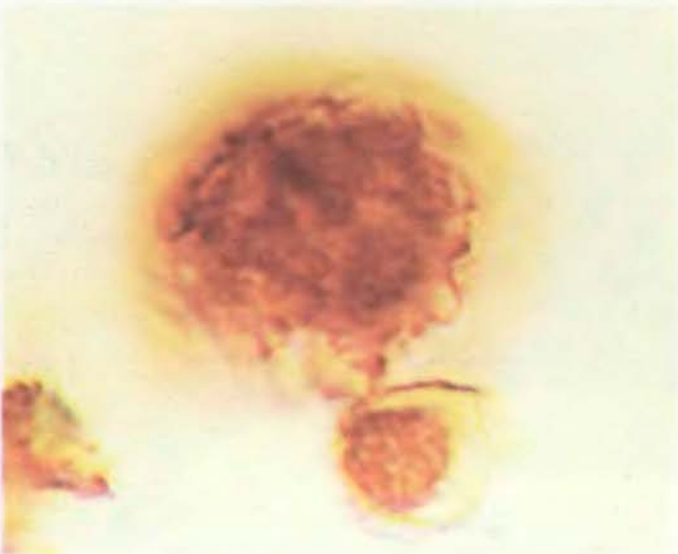
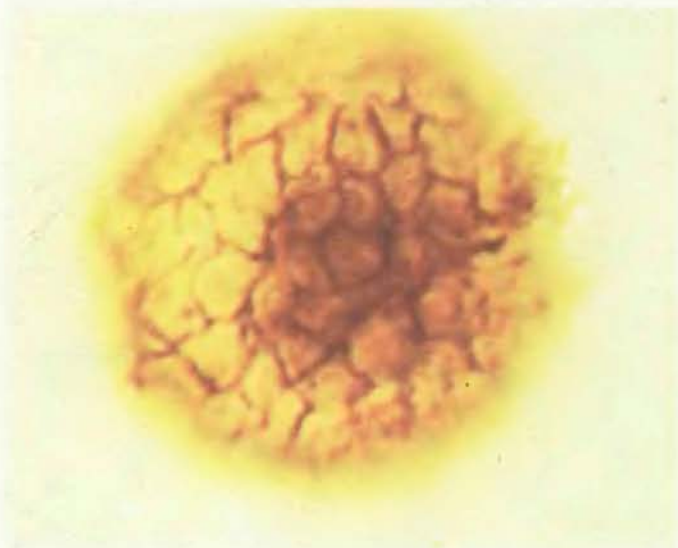
окаменелые остатки как бентосных (донных), так и планктонных (свободноплавающих) форм жизни: от одноклеточных прокариот и эукариот до примитивных многоклеточных животных.



ОКАМЕНЕЛАЯ КОЛОНИЯ КЛЕТОК показана на этих двух микрофотографиях при настройке фокуса микроскопа на разную глубину. Эта микрофоссилия найдена в сланцевой



формации на юге Норвегии, ее возраст около 700 млн. лет. Похожие колонии образуют современные прокариоты — цианобактерии. (Увеличение $\times 1500$.)



ВНУТРИКЛЕТОЧНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ не всегда однозначно свидетельствуют об эукариотической природе микрофоссилии. Здесь показаны два образца; с каждого снимка сделана пара микрофотографий при разной настройке фокуса микроскопа. В обоих видны коагулированные остатки внут-

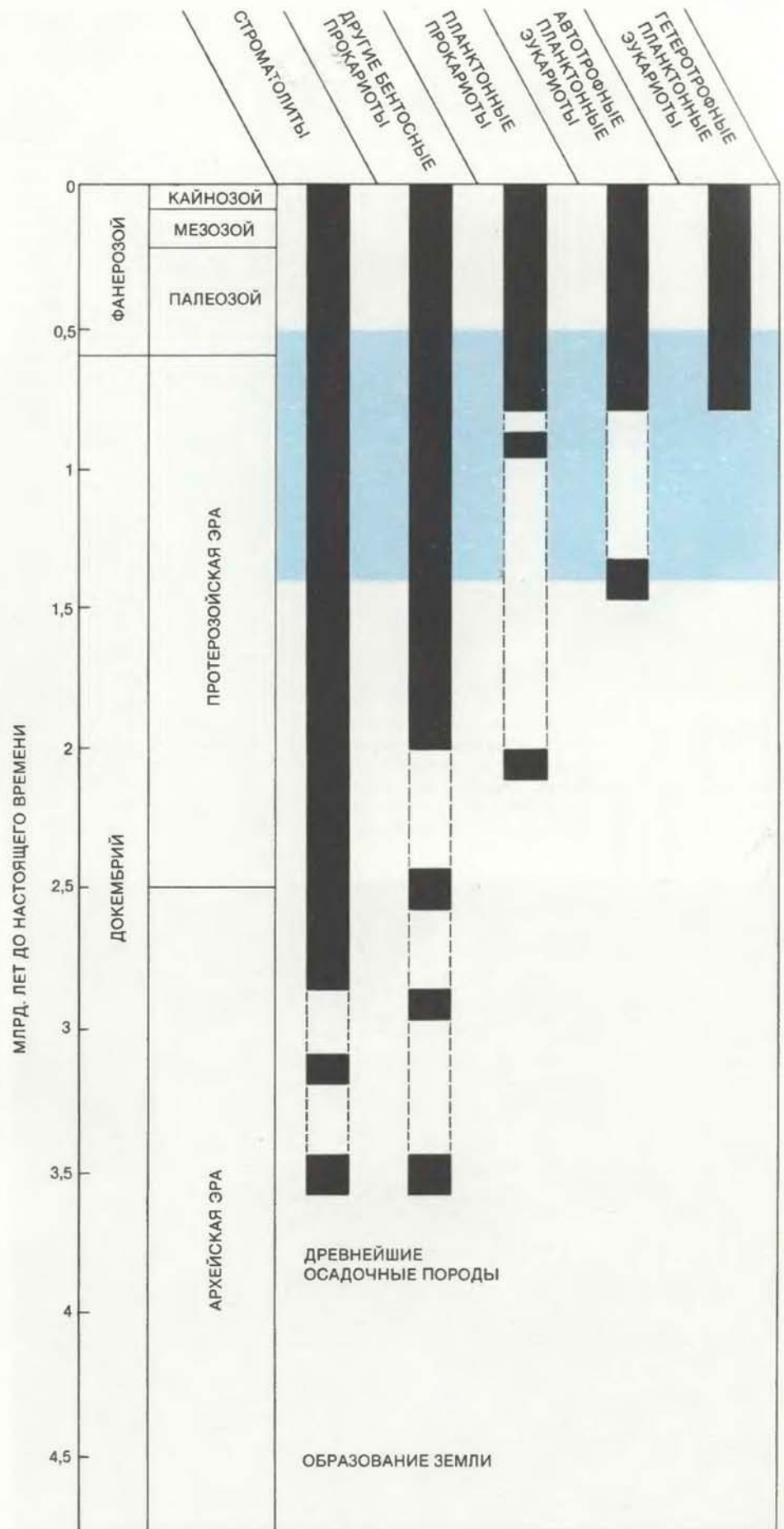
риклеточного содержимого, однако *вверху* — остаток эукариотического микроорганизма, а *внизу* — прокариотическая клетка, по-видимому, цианобактерия. Образцы найдены в одном и том же протерозойском пласте на юге Норвегии. (Увеличение $\times 1500$.)

зие планктона были в целом низкими. Известно, что «цветение» вызывается повышением содержания водорастворимых органических и неорганических питательных веществ, особенно азота и фосфора. Варангерское сообщество, видимо, образовалось во время сравнительно резкого увеличения притока таких веществ, высвободившихся в результате широкого оледенения.

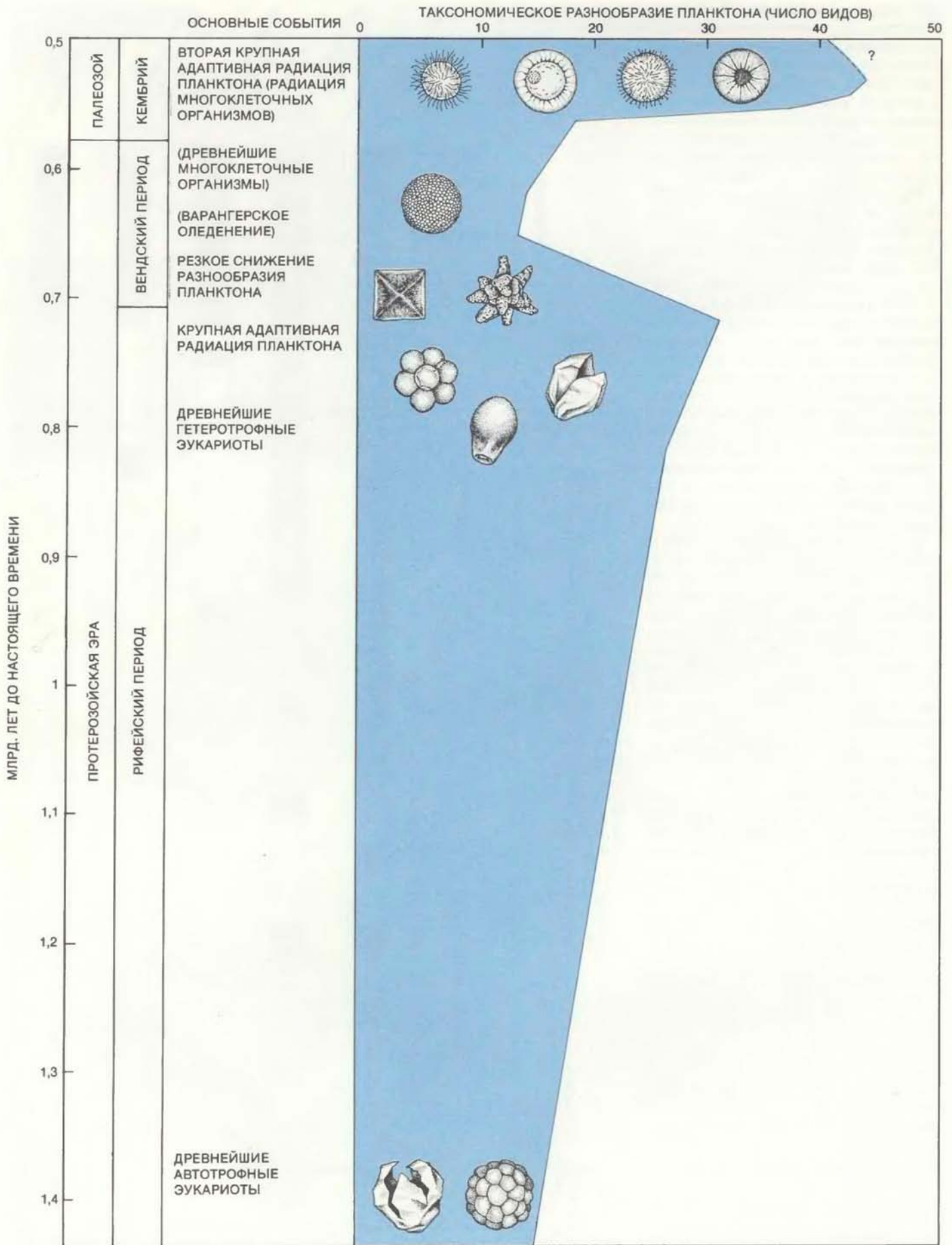
Дж. Шопф из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе показал, что чем моложе докембрийские микрофоссилии, тем они в среднем крупнее. Эволюция эукариот была связана не только с увеличением количества ДНК в клетке и со структурным оформлением наследственного материала — организацией его в ядро, но и с развитием внутриклеточных органелл, в том числе митохондрий и хлоропластов. Разумно предположить, что эти процессы должны были сопровождаться укрупнением клетки. Полагают, что значительное увеличение размера акритарх примерно 1,4 млрд. лет назад объясняется тем, что приблизительно в это время сложилась эукариотическая организация клетки.

Споры о происхождении эукариотических клеток шли в основном вокруг интерпретации некоторых сферических строматолитовых микрофоссилий, в которых различимы внутренние тельца, напоминающие ядра или другие клеточные органеллы. Кроме того, плотные, имеющие вид тетраэдра группы сфероидов рассматривались как ископаемые эукариоты, погибшие в момент клеточного деления. Но сейчас большинство специалистов считают неубедительной гипотезу об эукариотической природе таких сфероидов. Их, видимо, следует рассматривать как результат деградации и случайного видоизменения структуры сферических прокариот. Напротив, палеонтологическая летопись планктонных микрофоссилий — акритарх, даже самых древних, не вызывает сомнений: она явно отражает раннюю адаптивную радиацию эукариотических микроорганизмов. Палеобиологическая летопись докембрийского и раннепалеозойского планктона особенно важна потому, что она являет собой самую представительную доступную нам пробу, показывающую в масштабе всей планеты эволюционное состояние живого на протяжении этих эр. Отметим, что здесь очень существенно космополитное распространение большинства акритарх в некоторые четко очерченные периоды времени.

ДРЕВНЕЙШИЕ акритархи, которые выявил Т. В. Янкаускас из Литовского научно-исследовательского геологоразведочного института, выделены из пород раннего рифея, т.е. их возраст 1,6—1,4 млрд. лет. Эти остатки были найдены на Южном Урале; они похожи на более молодых ископаемых



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ВОЗРАСТ древнейших форм жизни на шкале геологического времени. Ранняя палеонтологическая летопись неполна (это отражено пунктиром.) Автотрофы — это организмы, живущие за счет энергии только неорганических питательных веществ (например, фотосинтезирующий планктон). Гетеротрофы — организмы, потребляющие органические соединения. Участок диаграммы, выделенный цветом, подробнее показан на следующем рисунке.



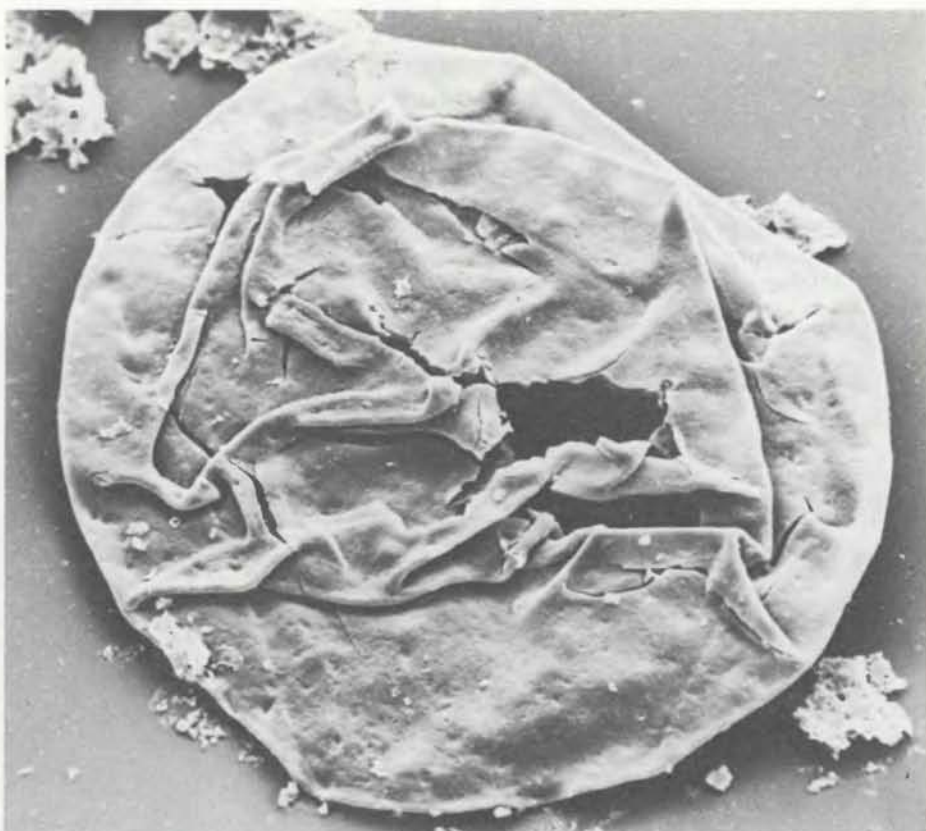
ОСНОВНЫЕ СОБЫТИЯ ЭВОЛЮЦИИ ЖИЗНИ в конце протерозойской эры и начале кембрийского периода. Форма окрашенной полосы отражает изменение таксономического разнообразия планктонных микроорганизмов. Внезапное

его сокращение около 650 млн. лет назад совпадает с началом варангерского ледникового периода. Показаны некоторые характерные для того или иного времени микрофоссилии (без соблюдения масштаба).

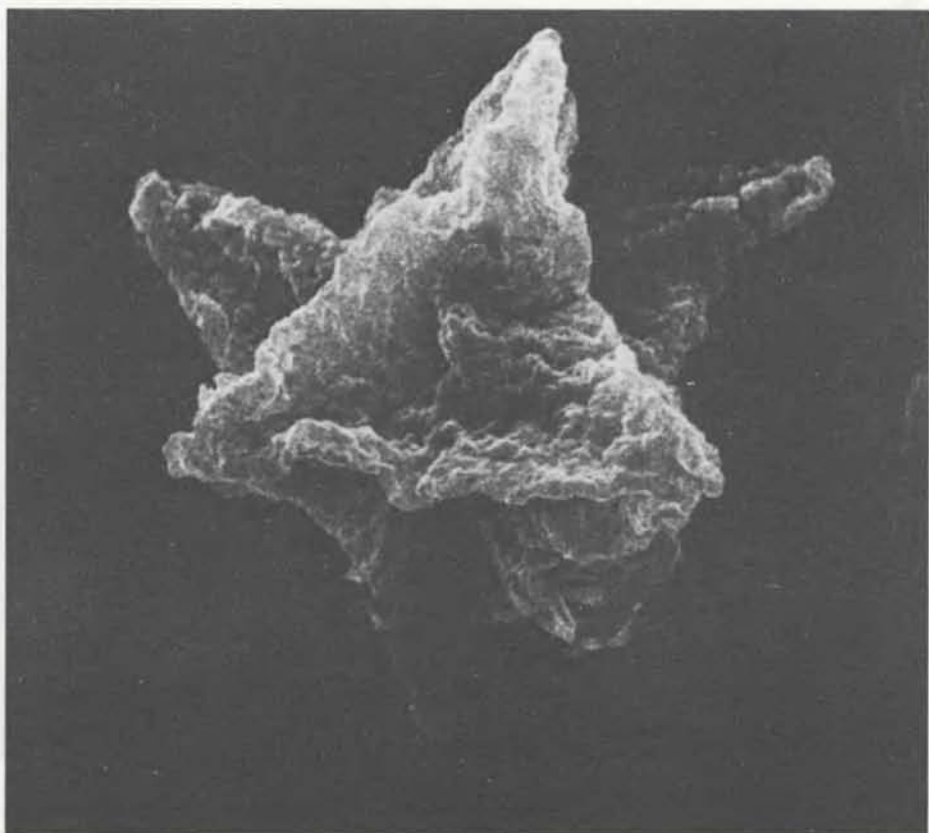
эукариот двух типов, которые, видимо, родственны современным группам зеленых водорослей. В комплекс микрофоссилий из сланцевой формации Чемберлен в шт. Монтана, которому, как полагают, около 1,4 млрд. лет, входят не только нитчатые цианобактерии и тонкостенные сферические оболочки каких-то прокариот, но и характерные толстостенные сфероидные акритархи. Подробно исследовавший это сообщество Р. Хоролдски из Университета Тюлейна считает найденные там акритархи также остатками эукариот, опять-таки основываясь на их сходстве с более молодыми формами.

Большинство акритарх довольно крупные (10—500 мкм в диаметре), с толстыми стенками; они имеют характерную форму и разнообразную внешнюю орнаментацию. Крупнейшие из известных акритарх достигают в поперечнике 3 мм, т.е. 3000 мкм, и хорошо заметны невооруженным глазом. У некоторых из них в оболочках видны щели — считается, что через них планктонные организмы выходили в процессе существования. Иногда различимы круглые поры; их интерпретируют как отверстия в клеточной стенке, через которые наружу могли высовываться вытянутые отростки клетки, например ундулоподии (ундулоподии — это жгутики эукариот). Судя по всему, большинство позднепротерозойских и раннепалеозойских акритарх были цистоподобными образованиями, т.е. имели отношение к неподвижным стадиям жизненного цикла зеленых водорослей. Известны и многоугольные формы, некоторые рассматриваются как колонии зеленых водорослей; находили также колонии, состоящие из толстостенных сферических пузырьков. Короче говоря, факты свидетельствуют о том, что различные планктонные эукариоты существуют на Земле уже не менее 1,4 млрд. лет. Возможно, планктонный образ жизни появился в геологическом прошлом еще раньше. Древнейшие из форм, которые можно с достаточной уверенностью отнести к планктону, — это довольно крупные сферические одноклеточные микрофоссилии, обнаруженные в кремнистых сланцах железорудной формации Ганфлинт (ее возраст — 2 млрд. лет). Скорее всего, они представляют собой остатки прокариот.

Царство планктона, по-видимому, первыми заселили фотосинтезирующие прокариоты. У многих цианобактерий, фотосинтезирующих бактерий и других свободноплавающих водных микроорганизмов внутри клетки имеются газовые вакуоли. Скорее всего, у древних планктонных организмов эти структуры играли роль примитивных поплавок. Так эволюция решила поначалу проблему вертикального перемещения в толще воды. В наше время роль прокариотических микроорганизмов в морских планктонных сообществах



ХАРАКТЕРНЫЕ СКЛАДКИ, которые видны на этой микрофотографии представителя акритарх, сделанной с помощью растрового электронного микроскопа, возникли в результате уплотнения осадочного пласта. Образец получен в восточной Гренландии, возраст породы — 800 млн. лет. Диаметр микрофоссилии, которая интерпретируется как сброшенная оболочка цисты свободноплавающей эукариотической водоросли, составляет около 300 мкм.



ОКТАЭДРИЧЕСКАЯ МИКРОФОССИЛИЯ извлечена из сланцев возрастом 700 млн. лет, залегающих на юге Швеции. Сходные образцы встречаются не только в породах того же возраста в Гренландии, Норвегии и СССР, но и в гораздо более молодых палеозойских породах. (Увеличение $\times 1900$.)

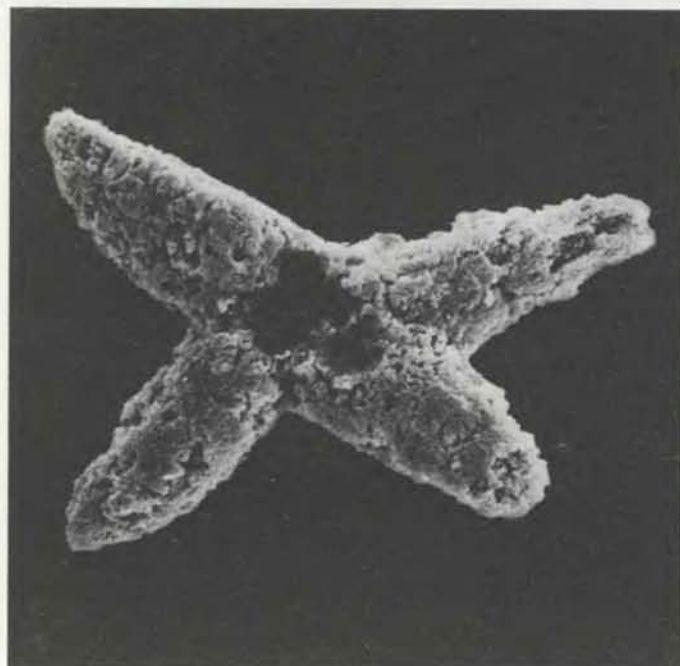
вах сравнительно невелика. Видимо, начиная с протерозоя эукариотический планктон вытеснял прокариотический.

Такая схема эволюции раннего планктона хорошо согласуется с современными представлениями о росте содержания кислорода в атмосфере на протяжении геологического времени. Клетки с эукариотической организацией могли появиться либо как самостоятельные организмы, либо как симбио-

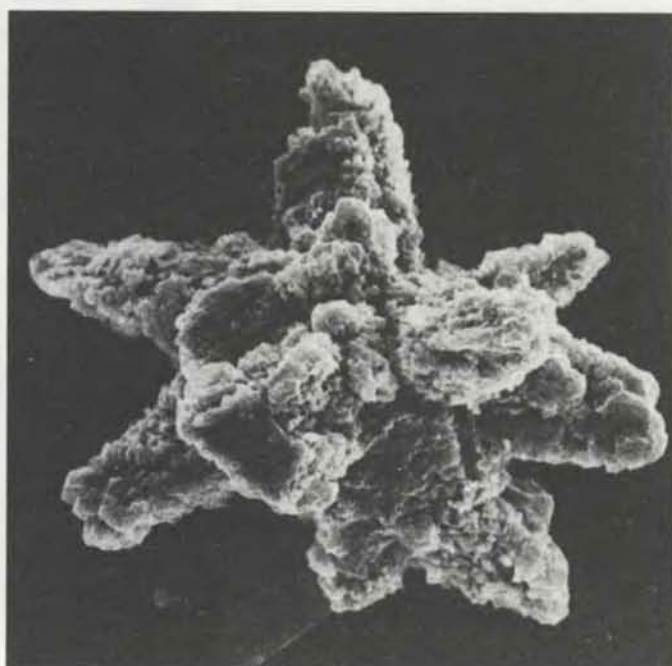
тические ассоциации. Согласно второй гипотезе, наиболее активным приверженцем которой является Л. Маргелис из Бостонского университета, первые эукариотические клетки скомпоновались из уже существовавших прокариотических. В любом случае для выживания эукариот потребовалось, чтобы окружающая среда была насыщена кислородом и развился аэробный метаболизм. Вначале уровень кислорода в

атмосфере возрос благодаря деятельности фотосинтезирующих цианобактерий, выделявших кислород, но они были плохо приспособлены к высокой концентрации кислорода. Некоторые из них нашли способ защититься от O_2 , окружив клетку толстым слоем слизи.

В НАЧАЛЕ кислород, который вырабатывали при фотосинтезе анаэробные цианобактерии, накапливался, по-



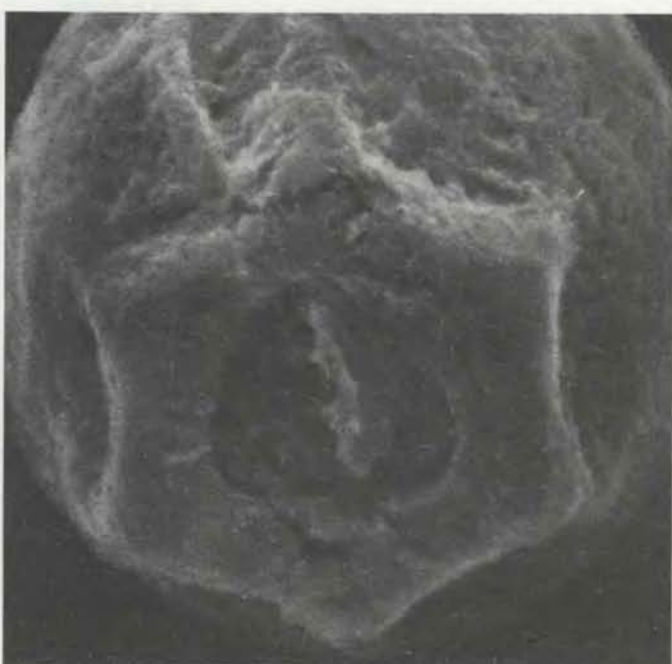
ЗВЕЗДЧАТЫЕ АКРИТАРХИ из осадочных пластов с полуострова Варангер. Им, как полагают, около 700 млн. лет. Подобные микрофоссилии известны также в пластах того же воз-



раста в Скандинавии и СССР. По-видимому, это остатки радиально ветвившихся колоний сферических зеленых водорослей; их размер — около 50 мкм в поперечнике.



КУБКООБРАЗНАЯ МИКРОФОССИЛИЯ (слева) — характерный представитель планктонных организмов, которые в изобилии населяли мелкие прибрежные воды примерно 800 млн. лет назад. Этот образец получен из Большого каньона в шт. Аризона. Похожие микрофоссилии — вероятно, остатки гетеротрофных эукариот — встречаются в Гренландии,

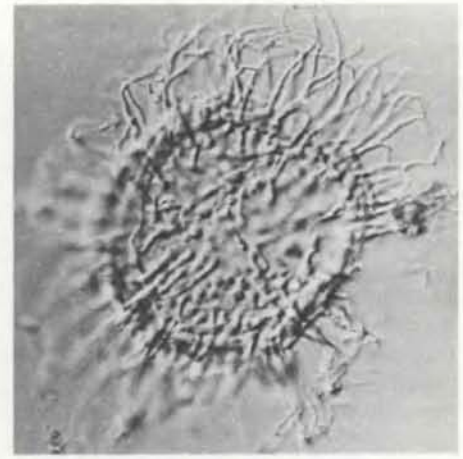
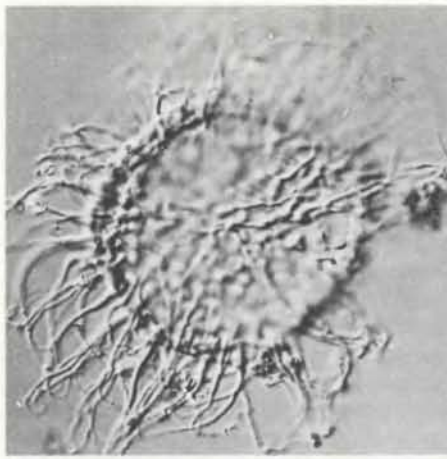


Бразилии, Саудовской Аравии, Швеции и Норвегии. Треугольное отверстие у основания (справа) чем-то забито, возможно остатками ундулиподий. Видимо, клетки плавали с помощью ундулиподий — эти свойственные эукариотам структуры аналогичны бактериальным жгутикам.

видимому, в ограниченных мелководных местообитаниях. Увеличение содержания биогенного кислорода привело к развитию новых стратегий для защиты от него: организмы заселяли бескислородные местообитания, приобретали внеклеточные оболочки либо специализированные клетки, подобные азотфиксирующим гетероцистам цианобактерий. Необратимое насыщение кислородом прибрежных вод оказало значительное адаптивное давление в сторону колонизации открытых вод, сначала небогатых кислородом. Фиксация азота с помощью толсто-стенных гетероцист имеет место у многих цианобактерий и в настоящее время. Значит, планктонный способ существования таких прокариотических организмов — это очень древняя, но биологически дорогостоящая адаптация.

Ныне цианобактерии вовсе не преобладают среди планктона. Анализ палеонтологической летописи заставляет думать, что даже в раннем протерозое, еще до того, как возникла конкуренция со стороны эукариот, цианобактерии составляли лишь незначительную часть планктона. Прокариоты, видимо, вообще никогда не были хорошо приспособлены к жизни в открытых водах. Их мелкие, плотные, слизистые клетки не обладают хорошей плавучестью. Цианобактерии возникли в бескислородном биотопе. Со временем там накапливался O_2 , опасный для тогдашних организмов. Эукариоты, не только способные без вреда для себя переносить высокую концентрацию кислорода, но нуждавшиеся в нем, все активнее конкурировали с прокариотами в тех планктонных местообитаниях, где появился кислород. Примерно 800 млн. лет назад уже существовали во множестве и автотрофные, и гетеротрофные формы.

Планктону постоянно недостает минеральных питательных веществ. Вначале, видимо, были заселены мелководные морские местообитания, где имелись фосфор и азот, снесенные с суши в результате эрозии. Можно думать, что впоследствии давление отбора действовало так, что организмы продвигались за питательными веществами в более глубоководные и более удаленные от континентальных шельфов районы. В палеонтологической летописи запечатлелось резкое увеличение разнообразия крупных, сферидальных цистообразующих форм эукариотических акритарх в позднепримифейское время, т.е. 900—700 млн. лет назад. Как раз тогда основные древние континенты раскололись и образовались относительно мелкие внутриматериковые водоемы. То, что в результате обширного сбросообразования действительно возникали такие бассейны, убедительно продемонстрировано и в Северной Америке, и в Европе.



МНОГОЧИСЛЕННЫЕ ВЫРОСТЫ, покрывающие поверхность акритархи, обнаруженной в породе возрастом 550 млн. лет из Швеции, — один из примеров морфологического разнообразия, всплеск которого имел место в начале кембрийского периода. (Увеличение $\times 1500$.)

В возникших крупных морских бассейнах накапливались толщи осадков. Геологический режим позднего рифея несомненно обеспечивал планктону новые источники минеральных питательных веществ вдоль окраин материков. Микрофоссилии акритарх этого периода в изобилии погребены в осадочных породах, образовавшихся на морских мелководьях. Большинство из них — разнообразно орнаментированные сферидальные формы цистообразующих эукариот. Протерозойские турбидиты — осадочные породы, образовавшиеся в более глубоких районах моря, — содержат очень мало каких бы то ни было окаменелостей. Тем не менее в них находят акритархи, которые были, видимо, приспособлены к плавучему образу жизни.

ПО ВНЕШНЕЙ морфологии акритархи позднего протерозоя (их возраст 800—700 млн. лет) похожи на некоторые раннепалеозойские формы, причем подобие наблюдается между акритархами из сходных местообитаний, даже если они относятся к разным таксономическим группам. То есть у организмов, лишь отдаленно родственных, развились одинаковые средства для расселения, и — как результат одинакового адаптивного решения сходных экологических проблем — они одновременно появились повсеместно.

К позднему протерозою живые существа уже испробовали основные способы использования легкодоступных источников водорастворимых питательных веществ и на этом уровне, по видимому, исчерпали весь спектр возможных приспособлений. В то же время дополнительное адаптивное давление, очевидно, вело к развитию особенностей, улучшающих плавучесть. Первые признаки этого отмечаются в микрофоссилиях из осадков, возраст которых более 800 млн. лет. У некоторых планктонных видов появились пузыреобразные сферические структуры; они

были наполнены легкими жидкостями или газами и окружены толстыми стенками. Проблему плавучести решало также объединение клеток в подвижные колонии, снабженные ундулиподиями.

Примерно 700 млн. лет назад, в позднем протерозое, на смену простой сферической симметрии пришли многоугольные перегородчатые структуры, причем этот переход произошел сравнительно быстро. Позднее такая же адаптация привела к появлению морфологически сходных, но совершенно различных по своей биологии микроорганизмов. Известно много других случаев параллельной эволюции сходных приспособлений (конвергенции), например обтекаемость конечностей у совершенно разных морских животных — динозавров, китов, тюленей, пингвинов.

Около 800 млн. лет назад на всем земном шаре появились в большом количестве представители нового класса планктонных микроорганизмов. В палеонтологической летописи они представлены кубкообразными тельцами с массивными раковинками или наружными покровами, которые иногда минерализованы, вероятнее всего, карбонатом кальция или кремнеземом. У некоторых имелись отогнутые воротнички. Считают, что эти планктонные организмы — гетеротрофные эукариоты, жившие в прибрежных водах и питавшиеся многочисленными планктонными водорослями. Иногда в кубкообразных клетках на одном конце различимо закрытое как бы пробочкой отверстие — можно предположить, что эти клетки передвигались с помощью ундулиподий. В осадочных породах, возраст которых немного больше 600 млн. лет, отразилась эволюция еще более крупных эукариот. В них находят также отдельные следы древнейших мягкотелых животных.

В начале кембрийского периода, примерно 550 млн. лет назад, произошло

SCIENTIFIC
AMERICAN

важное в эволюции планктона событие: возникли весьма разнообразные микроорганизмы со сложно скульптурированной поверхностью и, по-видимому, улучшенной плавучестью. Одновременно появились трилобиты — характерные панцирные членистоногие палеозойской эры. Новые формы планктона дали начало настоящим шиповатым акритархам.

Оценить разнообразие планктонных популяций в протерозойское и раннепалеозойское время можно лишь приблизительно. Тем не менее, как и для палеозойской эры в целом, прослеживаются изменения в морфологии, а они, вообще говоря, должны соответствовать каким-то таксономическим изменениям. Разнообразие планктона сильно уменьшилось, по-видимому, во время варангерского оледенения в позднем протерозое. Вследствие оледенения в большом масштабе произошла эвтрофикация вод в крупных бассейнах, что привело к избытию минеральных питательных веществ, и в результате имели место обильные бактериальные «цветения». В конце варангерского оледенения концентрация питательных веществ, вероятно, вернулась к прежнему уровню, с чем связывают быструю радиацию новых акритарх в раннем кембрии. Как известно, как раз в то время происходили глобальные колебания уровня моря. Возможно, они также имеют отношение к изменениям в обилии и формах планктона.

ОДНА ИЗ основных целей исследования докембрийских микрофоссилий — создание биостратиграфической системы относительного датирования, которая позволяла бы установить корреляции в масштабе планеты. Любые биологические данные, на основании которых можно подразделить последовательности докембрийских пород на отдельные пласты, очень важны. В этом направлении уже достигнуты впечатляющие успехи. Микрорепозитологические исследования привели к установлению подразделений позднпротерозойских и раннекембрийских пород и их корреляций в географически изолированных районах. Так как позднпротерозойские и раннекембрийские акритархи вели планктонный образ жизни, они приобрели широкое географическое распространение, что и требуется от характерных — так называемых руководящих — ископаемых. Советская школа, предпочитающая использовать эти микрофоссилии как биостратиграфические индикаторы, и американский подход, основывающийся на палеобиологии самих организмов, реконструкции древних экосистем и анализе их эволюции, в конце концов объединились в общем понимании одноклеточной жизни, «золотым веком» которой следует считать поздний протерозой.

ФЕВРАЛЬ 1934 г. На исследовательской станции Раунд-Хилл Массачусетского технологического института недавно прошел первое испытание электростатический генератор Ван-де-Граафа, который имеет необычайно большие размеры и предназначен для получения постоянного тока напряжением 10 млн. вольт. До изобретения Ван-де-Граафом этого генератора ученые, обладая самым лучшим оборудованием, не могли получить непрерывный постоянный ток напряжением более 800 тыс. вольт. Полагают, что с появлением этого генератора, позволяющего получать крайне высокие напряжения, начнется новая эпоха научных исследований, имеющих исключительное значение в раскрытии фундаментальных тайн природы. Генератор Ван-де-Граафа состоит из двух отдельных блоков, в каждом из которых имеется хорошо отполированный алюминиевый шар диаметром 15 футов. Шары установлены на полой цилиндрической колонне из изоляционного материала. Высота колонны 25 футов, диаметр 6 футов. Генератор построен специально для исследования строения атомов путем бомбардировки их центральных элементов — ядер.

Институт географических исследований Гарвардского университета продемонстрировал удивительное мастерство в изготовлении карты штата Массачусетс по аэроснимкам. Это первый штат, территория которого полностью снята сверху. Его площадь равна 8039 кв. миль — самая большая из всех, сфотографированных ранее с аэрона. Съемка производилась с высоты 15 тыс. футов, а масштаб полученных фотографий составил 1:30 000, или 2 дюйма на одну милю. Для указанных целей было сделано 800 фотоснимков отдельных участков, а общее время полета составило 24 ч 40 мин. Это необычайное достижение стало возможным благодаря использованию пятилинзовой фотокамеры (фирмы Fairchild) для аэросъемки, появление которой привело к перевороту в технике съемки местности с самолета.

Основным элементом отражательного телескопа является зеркало, и в течение многих лет стандартным материалом для его покрытия служило серебро. Но даже в самых лучших атмосферных условиях серебряное покрытие катастрофически разрушалось, и поэтому его приходилось заменять менее чем через год. Теперь найден новый ма-

териал для получения металлической пленки, отвечающей необходимым требованиям и обладающей почти идеальными свойствами. Как ни странно, им оказался хорошо известный металл — алюминий! Кого-то может насторожить, что алюминиевое покрытие также подвержено окислению и со временем его качество ухудшается, но образуемая на поверхности алюминия очень тонкая окисная пленка имеет однородную структуру, она прозрачна и со временем ее свойства не изменяются. Окись алюминия — это одно из самых твердых известных веществ, которое в природе встречается в виде корунда или в виде таких привлекательных материалов, как рубин и сапфир. Тончайшее покрытие, которое само образуется на поверхности зеркала, обладает к тому же необычными защитными свойствами.

Автомобиль, двигаясь с нормальной скоростью, затрачивает больше энергии на преодоление сопротивления воздуха, чем на преодоление трения о грунт. И тем не менее автомобильные фирмы до сих пор не хотят наладить выпуск легковых автомобилей с обтекаемой формой. Вместо этого повышение скорости достигается за счет неразумного увеличения мощности двигателя, что влечет за собой колоссальный расход бензина. Если к 1940 г. выпуск автомобилей обтекаемой формы не будет налажен, а средняя скорость, судя по имеющейся тенденции, достигнет 64 миль в час, то мощность обычного двигателя будет составлять 64 л.с. Допустим, цены на бензин сохранятся в размере 20 центов за галлон, тогда стоимость перевозок будет равна 1,62 долл. в час, и только 31% этой суммы будет затрачен на преодоление трения о грунт. Остальная часть будет израсходована на преодоление сопротивления воздуха.

SCIENTIFIC AMERICAN

ФЕВРАЛЬ 1884 г. Профессор С. П. Лангли, астроном Аллеганской обсерватории, недавно дал следующее объяснение яркому свечению Солнца на закате, которое наблюдалось в последние месяцы: «Вначале я предполагал, что это явление, связанное с солнечным закатом, имеет локальный характер, но, когда я узнал, что оно наблюдалось во всех частях земного шара, стало ясно, что мы должны искать одну общую причину. Я думаю, вполне вероятно, что из-за извержения Кракатау атмосфера планеты на несколько месяцев повсеместно наполнилась (или

по крайней мере образовался кольцевой пояс) частицами, достаточно крупными, чтобы рассеивать свет в красной области спектра и частично поглощать его в других областях».

В европейских странах в целом ряде научных лабораторий терпеливые исследователи шаг за шагом изучают развитие микроскопических организмов, обнаруженных в крови и тканях людей и животных, страдающих различными заболеваниями. Ученые пытаются установить, какие из них непосредственно вызывают заболевание, а какие лишь сопутствуют ему. К нашему стыду, следует признать, что в то время, как такие исследования успешно ведутся в Германии, Франции и Великобритании, в США ничего подобного не осуществляется. Неплохое начало было положено в этом направлении Советом национального объединения работников здравоохранения, однако в настоящее время работы свернуты из-за отсутствия фондов.

С появлением фотобумаги с желатиново-серебряной эмульсией, которая обладает исключительно высокой чувствительностью к свету, стало возможным получать увеличенные фотоснимки за несколько минут при фотографировании ночью с искусственным освещением. Отпала необходимость в дорогостоящих фотоаппаратах и линзах, которые применяются, когда фотографирование производится при солнечном освещении на обычную обработанную белковым раствором светочувствительную бумагу. Вместо этого теперь можно использовать простую камеру или обычный фонарь.

Не всем известно, что для получения серной кислоты в США сейчас широко используется пирит. Как и многие другие методы химического производства, технология изготовления серной кислоты заимствована в Англии, где ее уже в течение 20 лет получают из пирита. Можно ожидать, что переход на пирит сразу вызовет падение цен на серную кислоту и теперь ее получение в США будет обходиться так же дешево как и в Англии. Учитывая, что серная кислота широко используется для получения многих химических соединений, особенно минеральных удобрений, снижение ее стоимости сулит большие экономические выгоды американской химической промышленности и сельскому хозяйству.

Сообщается, что 10 сентября прошлого года в Баку (Россия) прорвалась нефтяная скважина. Струя нефти достигла высоты 300 футов, и ежедневно скважина извергала два миллиона галлонов горючего. Из-за внезапного выброса огромного количества нефти в

данном районе сохраняется опасная обстановка. Расположенное неподалеку большое нефтеочистительное предприятие фирмы Nobel Brothers имеет 14 закрытых бездействующих скважин. Для предприятия выгоднее покупать нефть, чем использовать собственную. Фирма объявила, что к весне она сможет перерабатывать 75 млн. и транспортировать 90 млн. галлонов керосина. В настоящее время бакинская нефть поступает на рынки России, Австрии, и в Восточную Германию, куда она доставляется по Волге. По новой железнодорожной магистрали, на которой недавно открылось движение, нефть из Баку будет доставляться на рынки южноевропейских стран. Ожидается, что поставки нефти будут неограниченными и за счет этого цены на горючие материалы и спирт в Европе не будут повышаться.

Организация в Англии, которая называет себя Обществом физических исследований, обратилась к общественности с рядом вопросов по поводу галлюцинаций и сновидений. Все люди, считающие, что они видели привидения или призраки, получили приглашение рассказать о своих впечатлениях. Однако прежде всего стоило бы выяснить ряд вопросов. Имеет ли какая-либо группа заведомо нормальных людей моральное право побуждать сумасшедших излагать свои мистические видения? Известно, что постоянная и чрезмерная сосредоточенность на одних и тех же мыслях может привести слабый рассудок к самым тяжелым последствиям. Мистические же образы как раз свойственны воображению людей с неустойчивой психикой.

Издательство МИР предлагает:

Г. Хоуп ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ

Перевод с английского

Книга посвящена проектированию цифровых устройств на базе современных достижений технологии производства интегральных схем среднего и высокого уровней интеграции. Отличается строгой последовательностью изложения, оригинальностью описания функционирования и методов выбора основных элементов вычислительных устройств. На примере использования микропроцессорных семейств Intel и Motorola демонстрируется техника проектирования специализированных микропроцессоров и микро-ЭВМ.

Для инженеров, занимающихся проектированием цифровых вычислительных устройств, аспирантов и студентов вузов, специализирующихся в области вычислительной техники.

1984, 31 л. Цена 2 р. 50 к.

А. Баронэ, Ж. Патерно ЭФФЕКТ ДЖОЗЕФСОНА: ФИЗИКА И ПРИМЕНЕНИЯ

Перевод с английского

Монография подводит итог 20-летнему этапу исследований эффекта Джозефсона и описывает не только осуществленные приложения, но и анализирует дальнейшие перспективы использования джозефсоновских структур. Особое внимание обращено на теоретические вопросы, которые наиболее интересны и полезны при анализе экспериментальных результатов. Рассмотрены достижения в технологии создания джозефсоновских контактов, применение эффекта для измерения сверхслабых полей, создания эталонов напряжения и т.д., подробно анализируются возможности джозефсоновского контакта как элемента памяти или логического элемента в ЭВМ.

Для физиков и инженеров, работающих в области сверхпроводимости и криоэлектроники.

1984, 37 л. Цена 5 р. 90 к.



Орбита Земли и ледниковые эпохи

В периодических изменениях геометрии земной орбиты давно уже видели возможную причину оледенений.

Установленная сейчас более точная хронология ледниковых эпох подтверждает это предположение

КУРТ КОВИ

ВОСЕМНАДЦАТЬ тысяч лет назад треть суши была покрыта льдом. В Северной Америке он местами достигал толщины в несколько километров, распространяясь на юг до Орегона и Нью-Йорка. Подо льдом лежали Антарктида, Гренландия и часть Евразии. Повсюду в горах, от сравнительно низких Альп до высоких Анд, разрослись ледники. В лед обратился так много воды, что уровень океанов оказался ниже почти на 100 м по сравнению с современным: около 5% всей воды сосредоточилось на суше в виде льда. Естественно, что в ту пору на Земле было значительно холоднее. Среднегодовая температура у поверхности Земли была ниже современной приблизительно на 5 °С. (Для сравнения укажем, что колебания среднегодовой температуры в нашу эпоху составляют всего несколько десятых градуса.)

Последнее оледенение — а за истекший миллион лет их насчитывается около десяти — происходило 18 тыс. лет назад. Для объяснения причин наступления ледниковых эпох предлагалось много теорий, однако все больше данных свидетельствует в пользу одного предположения: ледниковые эпохи возникали из-за небольших изменений земной орбиты и наклона земной оси. Эта теория носит название теории Миланковича — по имени югославского астронома Милутина Миланковича, который разработал ее в первой половине XX в. В ней предполагается, что вариации орбиты влияют на климат, изменяя инсоляцию (количество солнечной энергии, поступающей на Землю) и ее распределение по сезонам и широтам.

Одно время теория Миланковича считалась непроверяемой в основном потому, что не существовало надежной хронологии ледниковых эпох, с которой можно было бы сопоставить изменения орбиты. Однако недавно удалось улучшить датировку оледенений, используя геологические данные нового типа. Было обнаружено соответствие между оледенениями и изменениями орбиты. Более того, были предложены логичные объяснения того, каким образом небольшие изменения солнечной радиации могли вызвать

столь значительные изменения климата. Эти достижения способствовали оживлению интереса к теории Миланковича, получившей в результате широкое признание.

ПЕРВОЕ убедительное доказательство того, что большие пространства континентов в средних широтах были когда-то покрыты льдом, получил в начале XIX в. Жан Луи Агассис, американский геолог швейцарского происхождения. Он обнаружил следы движения льда в виде борозд и сглаженных поверхностей скал. Агассис выделил особый тип осадочных пород, которые, как он считал, оставались после отступления ледника; среди них встречались огромные валуны, которые никак не могли быть перенесены водой. После того как выяснилось, что многие формы рельефа и отложения, возможно, созданы не водой и ветром, а льдом, следы ледников стали обнаруживать повсюду в Северной Америке и Европе.

Картируя ледниковые отложения, геологи вскоре обнаружили, что в них выделяются несколько различных слоев: ясно, что в течение последнего миллиона лет Земля неоднократно подвергалась оледенениям. Со временем, изучая еще более древние отложения, в особенности тиллиты (смесь гальки, валунов и глины, уплотненная до состояния твердой породы), геологи пришли к выводу, что в ранней истории Земли имели место по крайней мере 2—3 ледниковых периода. Первое оледенение, захватившее обширные пространства, возможно, произошло еще в докембрии, более 500 млн. лет назад.

Следует попутно заметить, что неточность самого термина «ледниковая эпоха» (Ice Age) отражает развитие ледниковой геологии. Этот термин может относиться как к отдельному эпизоду распространения ледниковых покровов в течение плейстоцена (период относительно холодного климата, начавшийся около миллиона лет назад), так и ко всему плейстоцену или более ранним холодным эпохам. Поскольку теория Миланковича объясняет колебания объема ледников в условиях уже установившегося прохладного климата, но не само похолодание,

и поскольку свидетельства более ранних оледенений сравнительно скудны, мы используем термин «ледниковая эпоха» для обозначения интервалов времени в плейстоцене, когда ледниковые покровы достигали максимального распространения.

Хотя множественность плейстоценовых оледенений уже давно была установлена по геологическим данным, определить их точное количество, возраст и продолжительность оказалось труднее. Только недавно было сделано открытие, которое позволило более точно установить хронологию ледниковых эпох. Оказалось, что глобальный объем льдов для любого периода времени можно вычислить по отношению изотопов кислорода в океанических осадках этого периода.

Самый распространенный изотоп кислорода имеет атомный вес 16 (ядро его атома состоит из 8 протонов и 8 нейтронов). Почти весь кислород в воде представлен этим изотопом, но несколько молекул из каждой тысячи содержат более тяжелый изотоп ^{18}O , в котором каждое ядро имеет два дополнительных нейтрона. При испарении воды из океана более тяжелые молекулы имеют тенденцию оставаться в водной среде. В результате дождь и снег, выпадающие на поверхность суши, обеднены кислородом ^{18}O . Когда начинается оледенение, континентальные ледниковые покровы увеличиваются за счет изъятия воды из океана и последняя обогащается изотопом ^{18}O .

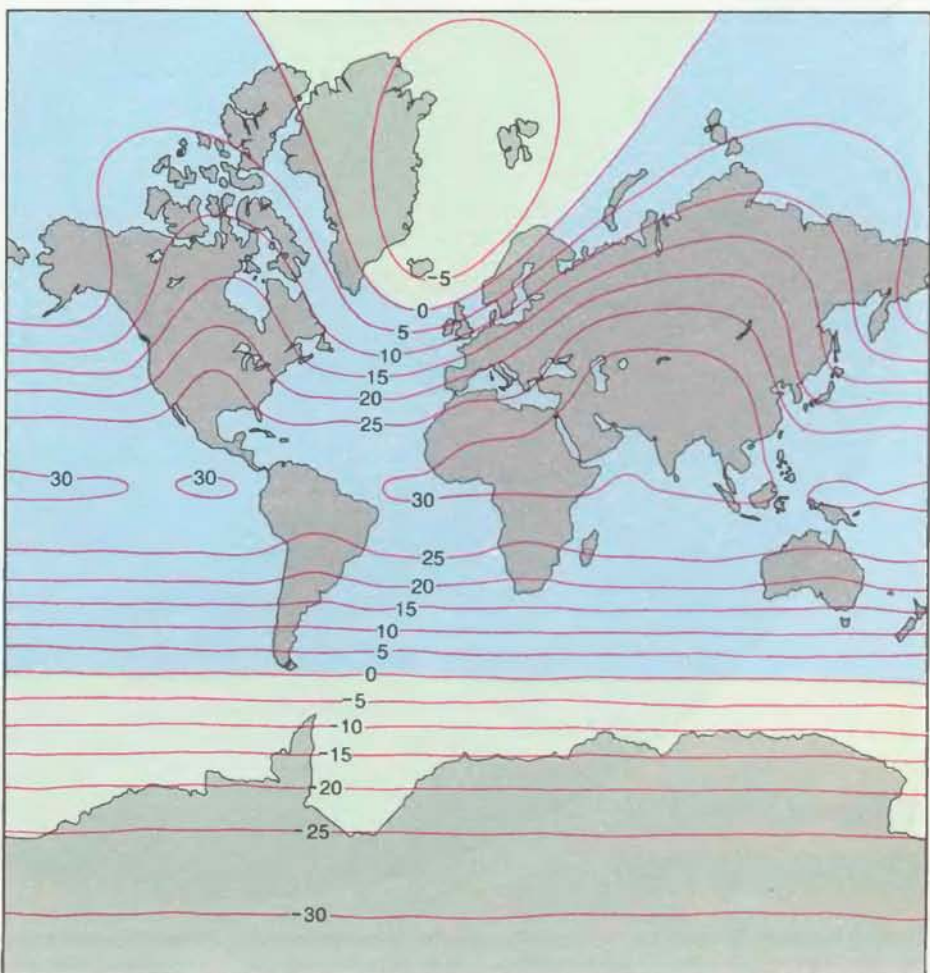
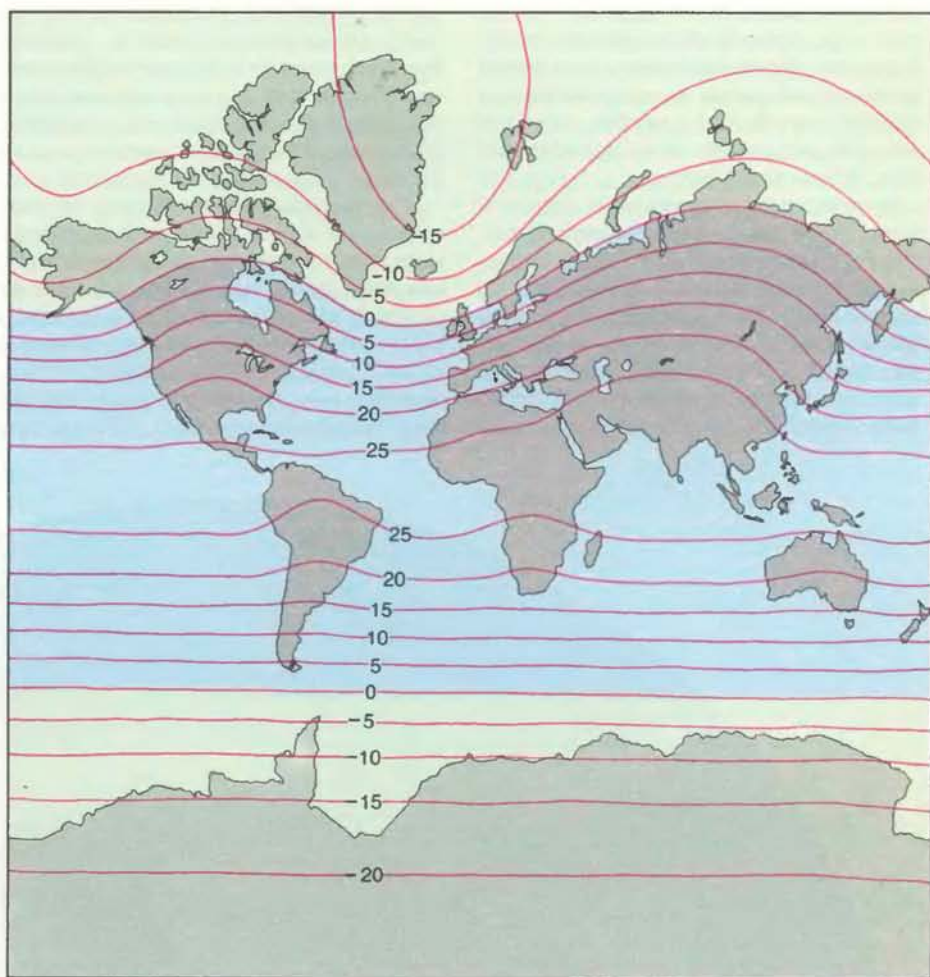
Разумеется, мы не можем получить пробы морской воды тех далеких эпох. Однако можно определить соотношение изотопов в веществе, из которого состоят раковины морских организмов. Это карбонат кальция CaCO_3 . Атомы кислорода в нем, извлеченные из морской воды, отражают ее изотопный состав. Раковины опускаются на дно океана и накапливаются там, образуя осадочные слои. Чем больше отношение $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ в этих отложениях, тем, значит, больше был объем материковых льдов во время их образования.

РАЗНООБРАЗИЕ событий, которые находят отражение в летописи изотопов, ограничивает возможности ее

интерпретации. Изменения изотопного состава воды при ее испарении и выпадении в виде снега определяются многими факторами, которые еще плохо изучены. Например, С. Шнейдером из Национального научно-исследовательского центра по изучению атмосферы и мною было установлено, что степень разделения изотопов частично зависит от того, насколько высоко поднимается водяной пар перед тем, как сконденсироваться и выпасть в виде дождя и снега. Мы не знаем, однако, насколько атмосферная циркуляция в ледниковые эпохи отличалась от современной, так что этот фактор увеличивает неоднозначность в интерпретации изотопных данных. Известно также, что изотопный состав карбонатов в раковинах зависит от температуры воды, при которой эти раковины вырастают. Понижение температуры вызывает увеличение содержания ^{18}O . Считается, что одна треть изменчивости содержания изотопов обусловлена температурным режимом.

Из-за такого рода побочных факторов соотношение изотопов не может точно показывать, каков был объем материковых льдов в каждый отдельный период в прошлом. Тем не менее общепризнано, что повышенное содержание ^{18}O свидетельствует о более холодном (более «ледниковом») климате и что колебания изотопного состава наилучшим образом отражают последовательность наступаний и отступаний ледников в последние несколько сотен тысяч лет. Использование для этой цели изотопного анализа имеет два преимущества по сравнению с традиционными методами. Во-первых, он имеет дело с летописью глобальных событий: предполагается, что соотношение изотопов в единичном разрезе донных осадков отражает суммарное количество материковых льдов на Земле, так как установлено, что разрезы,

ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ КЛИМАТА предполагается, что небольшие периодические изменения земной орбиты могут вызывать наступление ледниковых эпох, поскольку приводят к изменениям инсоляции — солнечной энергии, падающей на Землю. Наиболее важную роль играет инсоляция в высоких широтах Северного полушария; если летом температура здесь не поднимается выше $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, лед может накапливаться от года к году. Карты показывают температуру июля, рассчитанную с помощью климатической модели Дж. Норта, Д. Шорта и Дж. Менгеля. Согласно модели, 115 тыс. лет назад (верхняя карта) ледники занимали большую часть Северной Америки и часть Евразии. При современных параметрах земной орбиты (нижняя карта) средняя июльская температура получается отрицательной только в Гренландии и Антарктиде.



расположенные далеко друг от друга, почти не различаются между собой. Вторым преимуществом изотопной летописи является ее относительная непрерывность — в океане гораздо меньше перерывов в осадконакоплении, чем на континентах.

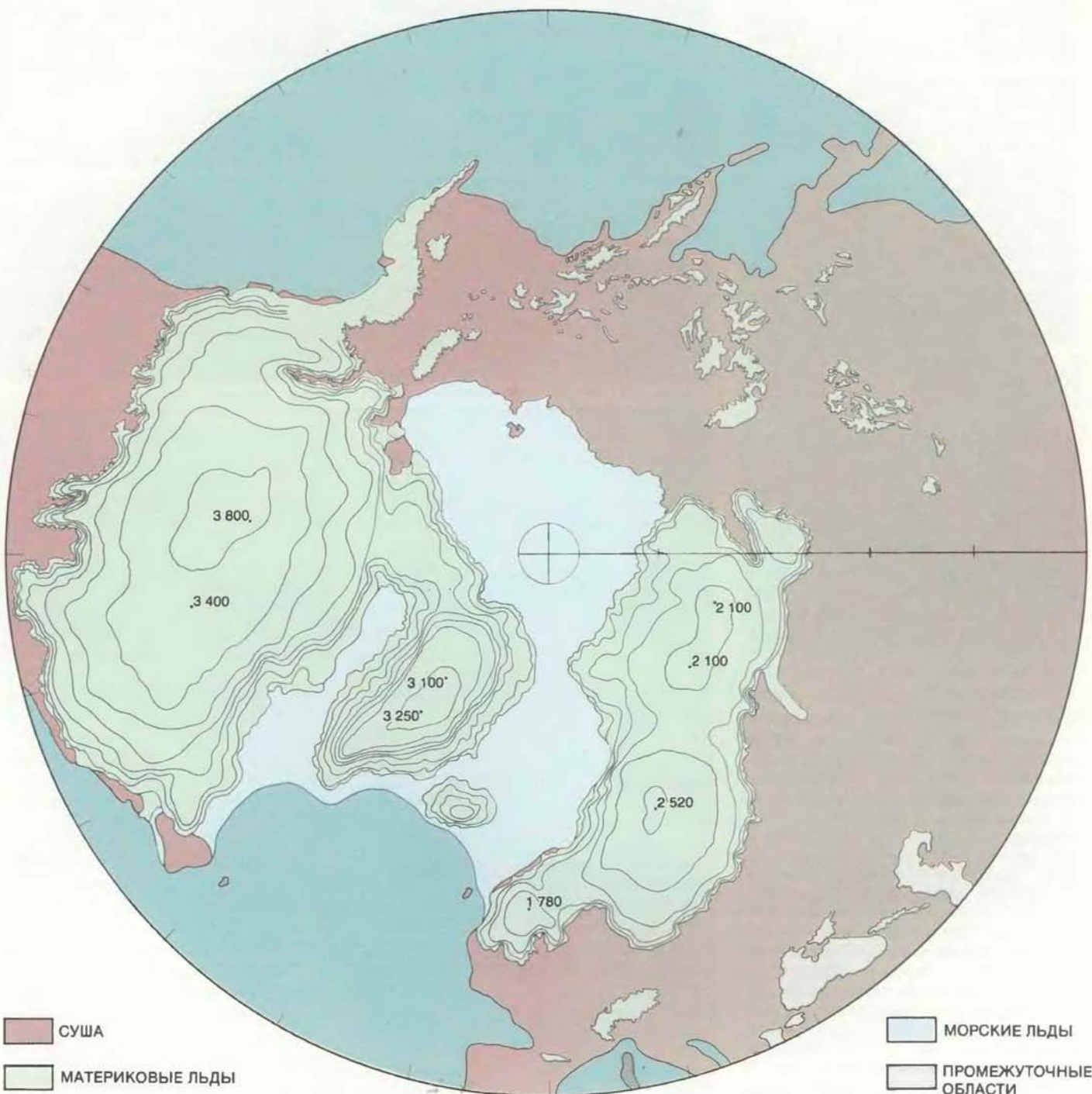
Климатические изменения, зафиксированные в океанических осадках, могут быть достаточно точно датированы радиометрическими методами и использованы для проверки гипотезы Миланковича. Сами методы датирования также требуют измерения отношений изотопов ряда элементов. В отличие от кислорода они радиоактивны; их

распад, идущий с постоянной скоростью, позволяет определить, сколько времени прошло с момента образования отложений. Возраст отложений в ряде проб разреза определяет временную шкалу, к которой можно привязать изменения соотношения изотопов.

Построенная таким образом кривая изменения изотопного состава во времени показывает, что в течение последних нескольких тысяч лет глобальный объем льдов неоднократно то увеличивался, то уменьшался. В его колебаниях прослеживается определенная периодичность — ледниковая эпоха наступает каждые сто тысяч лет. Однако эта

закономерность не столь проста. Пики кривой имеют асимметричную форму, свидетельствуя, что образование льда занимает гораздо больше время, чем его исчезновение. Кроме того, на доминирующий 100 000-летний цикл накладываются более мелкие колебания.

Такой характер кривой позволяет предположить, что климат испытывал «вынужденные» колебания под воздействием какого-то внешнего фактора, скорее всего изменений инсоляции. Наиболее очевидной причиной таких изменений могли бы быть колебания излучаемой Солнцем энергии, но точные измерения ее на искусственных спутни-



ЛЕДНИКОВЫЕ ПОКРОВЫ толщиной несколько километров 18 тыс. лет назад покрывали Северное полушарие (слева).

Эти ледники изъяли из океана так много воды, что его уровень был понижен и Сибирь соединялась с Северной Аме-

ках начаты недавно, и пока мы не располагаем убедительными свидетельствами существования подходящих долгопериодных колебаний солнечного излучения. Теория Миланковича предлагает механизм, гораздо более доступный для наблюдений и расчетов. Даже если солнечное излучение постоянно, глобальная инсоляция будет зависеть от расстояния между Землей и Солнцем, а инсоляция на каждой данной широте — от наклона земной оси.

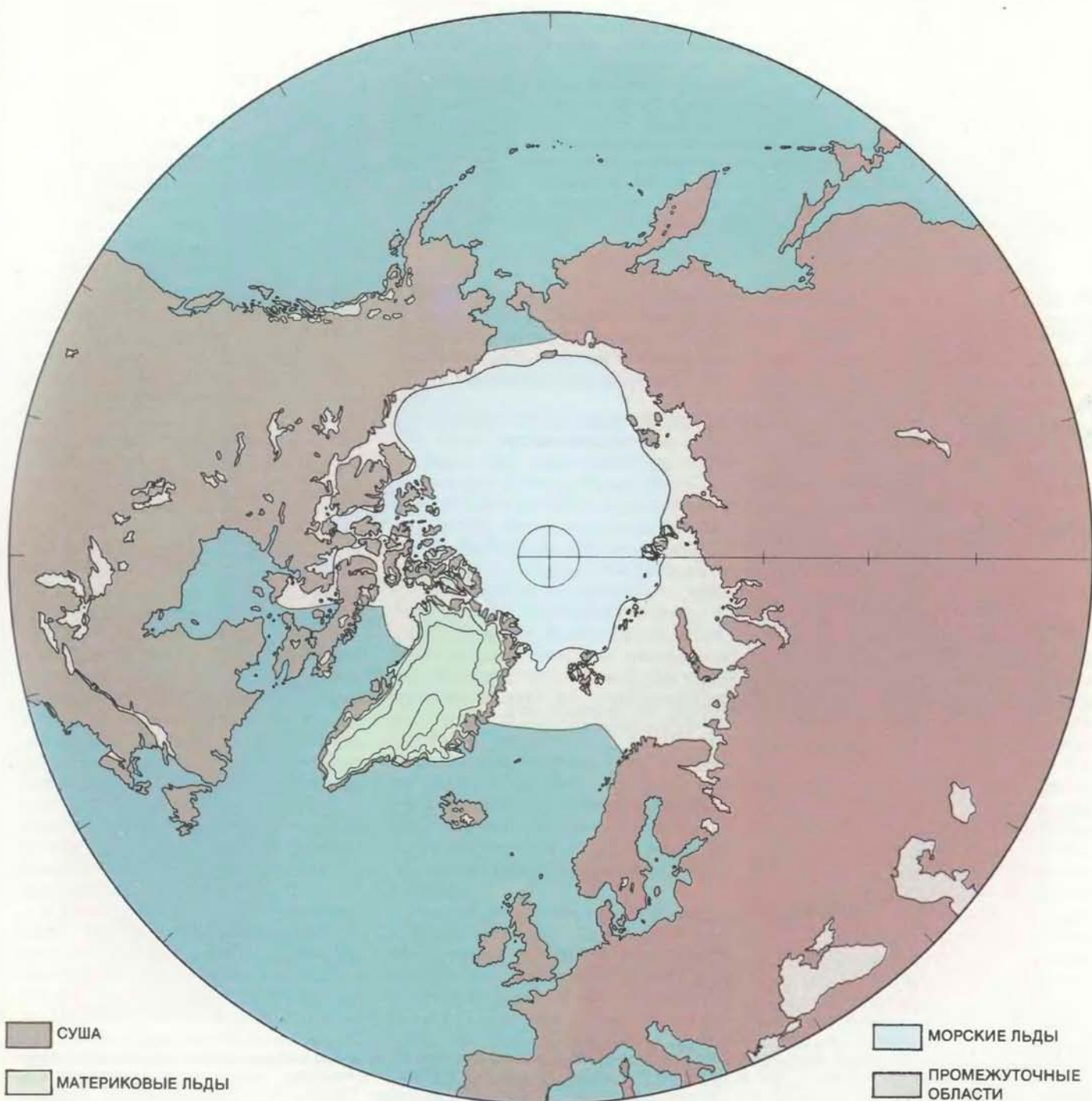
ВСЕМ известный пример влияния инсоляции на климат — это смена времен года, связанная главным обра-

зом с тем, что ось вращения Земли наклонена. В июне — августе Северное полушарие обращено к Солнцу и получает радиации больше, чем в случае, если бы земная ось была перпендикулярна к плоскости орбиты. Через шесть месяцев, когда Земля оказывается в противоположной точке орбиты, ситуация меняется.

Есть еще один фактор, который влияет на сезонный цикл. Земная орбита представляет собой не окружность, а эллипс, и поэтому расстояние от Земли до Солнца неодинаково в разные сезоны. В январе Земля находится в ближайшей к Солнцу точке орбиты (пери-

гелии), а в июле — в наиболее удаленной точке (афелии). В результате глобальная инсоляция несколько больше в январе и меньше в июле, и зима в Северном полушарии теплее, а лето прохладнее, чем было бы в случае круговой орбиты.

Чтобы рассмотреть изменения инсоляции, необходимо учесть три параметра. Первый из них — наклон земной оси, т.е. угол между плоскостью орбиты Земли и плоскостью земного экватора, который в настоящее время составляет $23,5^\circ$. Второй параметр, эксцентриситет, показывает степень отклонения орбиты от идеальной



рикой перешейком. Сейчас (справа) льдом покрыты только Гренландия и Антарктида. Распространение льдов рекон-

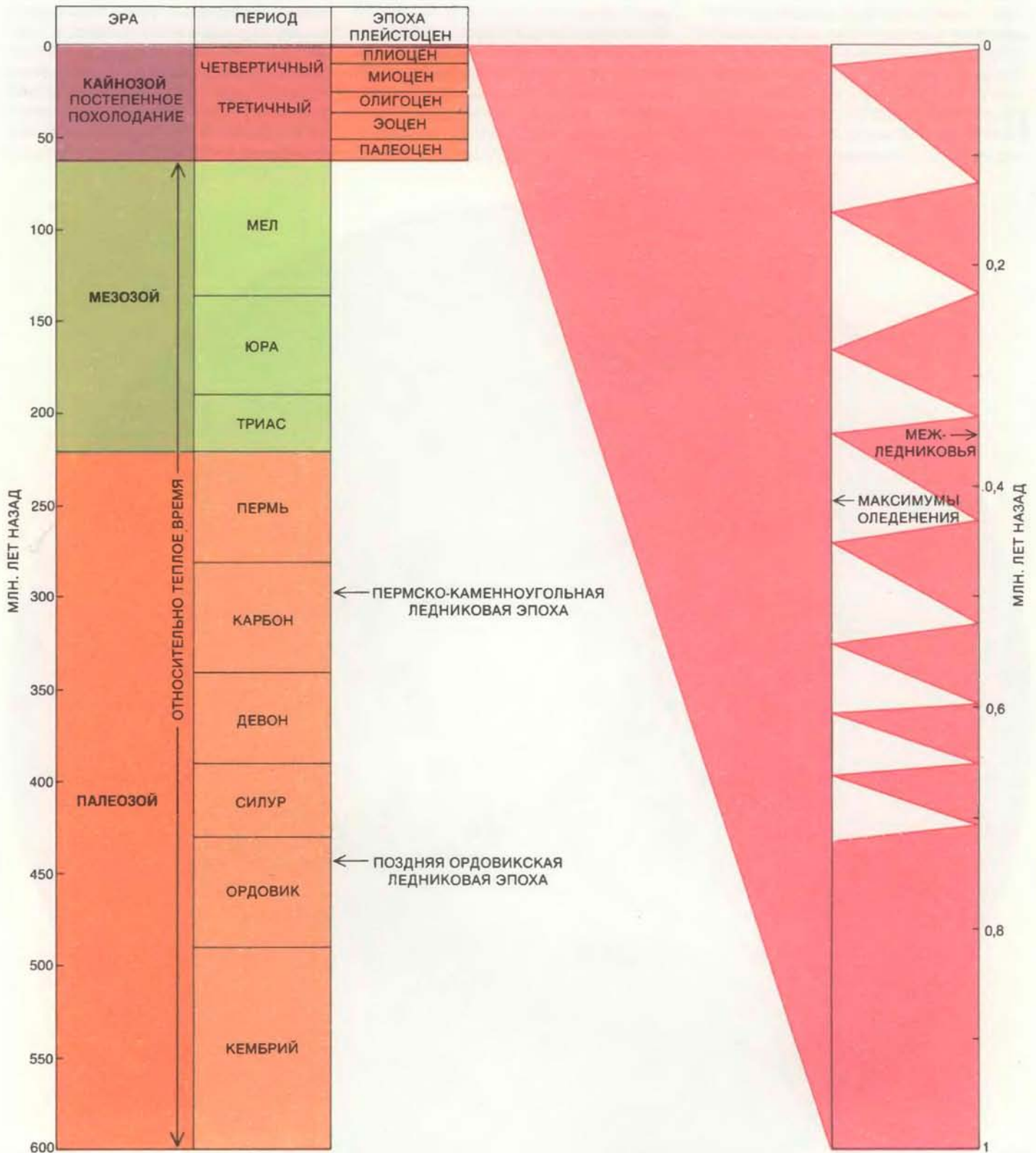
струировано по распределению ледниковых форм и отложений и по ископаемым остаткам.

окружности. У земной орбиты он сейчас равен 0,017. Для примера укажем, что эксцентриситет окружности равен нулю, а у эллипса с соотношением длин осей 2:1 он составляет 0,866. Введение третьего параметра связано с тем, что земная ось медленно прецессирует, так

что ее конец описывает круг относительно "неподвижных" удаленных звезд. Сейчас ось направлена на Полярную звезду.

Притяжение Луны и других планет приводит к изменениям указанных параметров, которые носят почти перио-

дический характер и для последних нескольких сотен тысяч лет могут быть вычислены с большой точностью. Наклон земной оси изменяется от 22,1 до 24,5° с периодом около 40 000 лет. Эксцентриситет орбиты колеблется между 0,005 и 0,06 с периодом около



ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА Земли за последние 570 млн. лет ее истории, охватывающей 4,6 млрд. лет. В далеком прошлом климат в целом был теплее современного, хотя есть данные о том, что в отдельные периоды докембрия, в ордовикское и пермско-каменноугольное время, существовали ледниковые покровы. Похолодание началось в конце мелового пе-

риода, около 65 млн. лет назад; первые постоянные ледниковые покровы появились, вероятно, в третичное время — в олигоцене. Последний, плейстоценовый, ледниковый цикл начался около 1 млн. лет назад и насчитывает около 10 ледниковых эпох. Сейчас Земля переживает межледниковье.

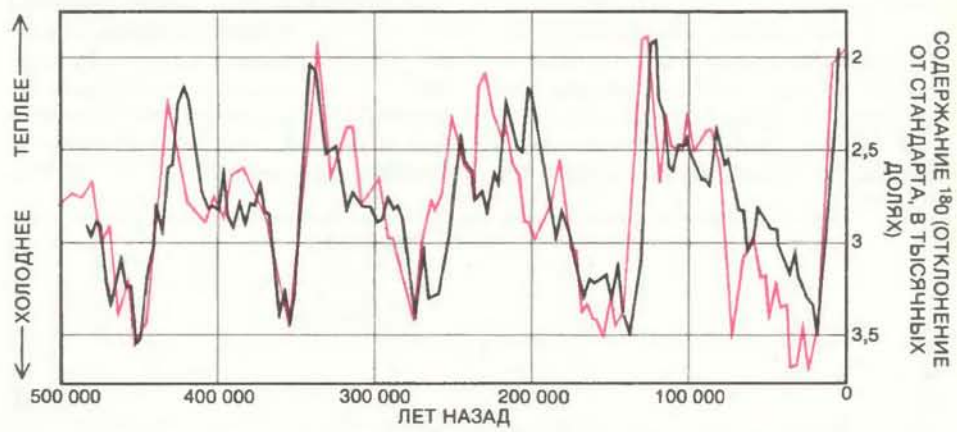
100 000 лет. Земная ось описывает в результате прецессии полный круг приблизительно за 26 000 лет.

Изменения параметров земной орбиты влекут за собой изменения локальной сезонной инсоляции. Уже в XIX в., когда был установлен сам факт оледенений, высказывалась мысль, что именно эти медленные изменения инсоляции явились причиной наступания и отступления ледников. Однако в наибольшей степени заслуга в разработке этой гипотезы принадлежит Миланковичу. В 20—30-е годы XX в. он рассчитал изменения инсоляции, связанные с вариациями орбиты, и высказал ряд догадок о их влиянии на климат.

В первую очередь обостряются сезонные контрасты. Увеличение наклона земной оси увеличивает амплитуду сезонных колебаний: в обоих полушариях зима становится холоднее, а лето — жарче. Прецессия влияет на инсоляцию слабее, но наряду с поворотом эллипса земной орбиты она определяет относительное время прохождения перигелия. Это время изменяется с периодом приблизительно 20 000 лет, т.е. несколько меньшим, чем период прецессии. В целом изменение времени прохождения перигелия увеличивает сезонные контрасты в одном полушарии и сглаживает их в другом. Сейчас прохождение перигелия приходится на 3 января, поэтому в Северном полушарии зима несколько теплее, чем могла бы быть, а в Южном полушарии наоборот. Приблизительно через 12 000 лет, когда земная ось будет направлена не на Полярную звезду, а на Вега, положение изменится на обратное.

ЭКСЦЕНТРИСИТЕТ земной орбиты двояко влияет на инсоляцию. Чем он больше, тем больше различие между максимальным и минимальным расстоянием от Земли до Солнца, и тем больше сказывается эффект прецессии. С изменением эксцентриситета изменяется и суммарная годовая инсоляция. Однако этот эффект незначителен; обусловленные им колебания в течение последнего миллиона лет составили самое большее 0,3%. По многим расчетам изменение глобальной инсоляции на 0,3% могло бы изменить среднюю температуру не более чем на несколько десятых долей градуса.

Итак, эксцентриситет вызывает лишь небольшие изменения глобальной инсоляции, а наклон и прецессия земной оси влияют не на суммарную инсоляцию, а лишь на ее распределение по широтам и по сезонам. Как же в таком случае вариации орбиты могли вызвать значительные изменения климата, сопровождавшиеся наступанием и отступанием материковых льдов? Миланкович предположил, что ледниковые эпохи регулировались не глобаль-



СООТНОШЕНИЕ ИЗОТОПОВ КИСЛОРОДА в океанических осадках является мерой глобального объема льдов в прошлом. По сравнению с океанской водой глетчерный лед содержит меньше молекул с тяжелым изотопом кислорода ^{18}O , поэтому рост континентальных ледниковых покровов приводит к обогащению изотопом ^{18}O океанской воды и, следовательно, раковин морских организмов. Чем выше концентрация ^{18}O в осадочном слое, тем, значит, больше был объем материковых льдов во время его отложения. Рисунок иллюстрирует две серии изотопных данных, каждая из которых объединяет результаты измерений для нескольких колонок океанических осадков. Одна серия обобщена Дж. Хейсом из Геологической обсерватории Ламонт-Догерти Колумбийского университета (черная линия), другая — Ч. Эмилиани из Университета Майами (цветная линия). Кривые поразительно схожи, хотя места отбора колонок отстоят далеко друг от друга; отсюда следует, что соотношение изотопов в осадках действительно отражает величину глобального объема льдов. Сейчас льда меньше, чем когда-либо за последние 120 тыс. лет.

ной инсоляцией, а скорее инсоляцией высоких широт Северного полушария в летний период, изменения которой достигали 20%, т.е. значительно превосходили глобальные вариации.

Летняя инсоляция играет более важную роль, чем зимняя, потому что в высоких широтах накопление снега происходит даже в мягкие зимы. Таким образом, наиболее существенно не то, сколько снега накопится зимой, а то, сколько его сможет сохраниться и не растаять в течение лета. Если высокие широты в летнее время будут получать меньше солнечной энергии, то снег с большей вероятностью сохранится до новой зимы. И если подобные условия продержатся много лет, то по мере уплотнения под собственной тяжестью снег будет превращаться в лед, формируя материковые ледниковые покровы, и на Земле наступит ледниковая эпоха. С другой стороны, при возрастании летней инсоляции льда успеет растаять больше, чем могут возместить зимние снегопады, и на Земле установится климат, близкий к современному.

Инсоляция Северного полушария наиболее важна, так как ледники могут образоваться только на суше, крупные массивы которой находятся в высоких северных широтах. В высоких широтах Южного полушария расположена одна лишь Антарктида, покрытая льдами до сих пор. Поэтому уменьшение здесь инсоляции не столь существенно для изменения климатических условий.

Теория Миланковича в течение долгого времени встречала скептическое

отношение по двум причинам. Во-первых, было не вполне ясно, насколько она подтверждается геологическими данными. Во-вторых, казалось маловероятным, чтобы небольшие изменения инсоляции могли стать причиной столь значительных изменений климата. Только в последние 10 лет были получены доказательства, убедившие большинство ученых в том, что между ледниковыми эпохами и изменениями орбиты действительно существует связь.

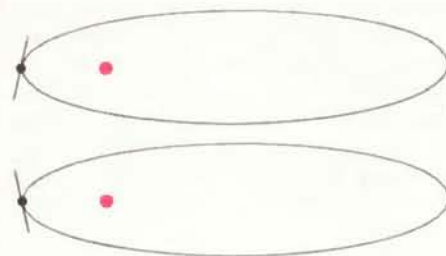
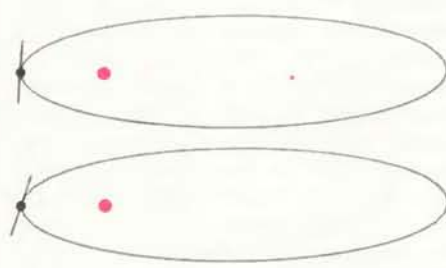
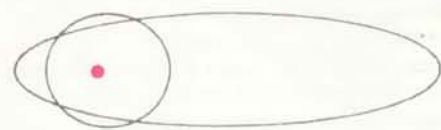
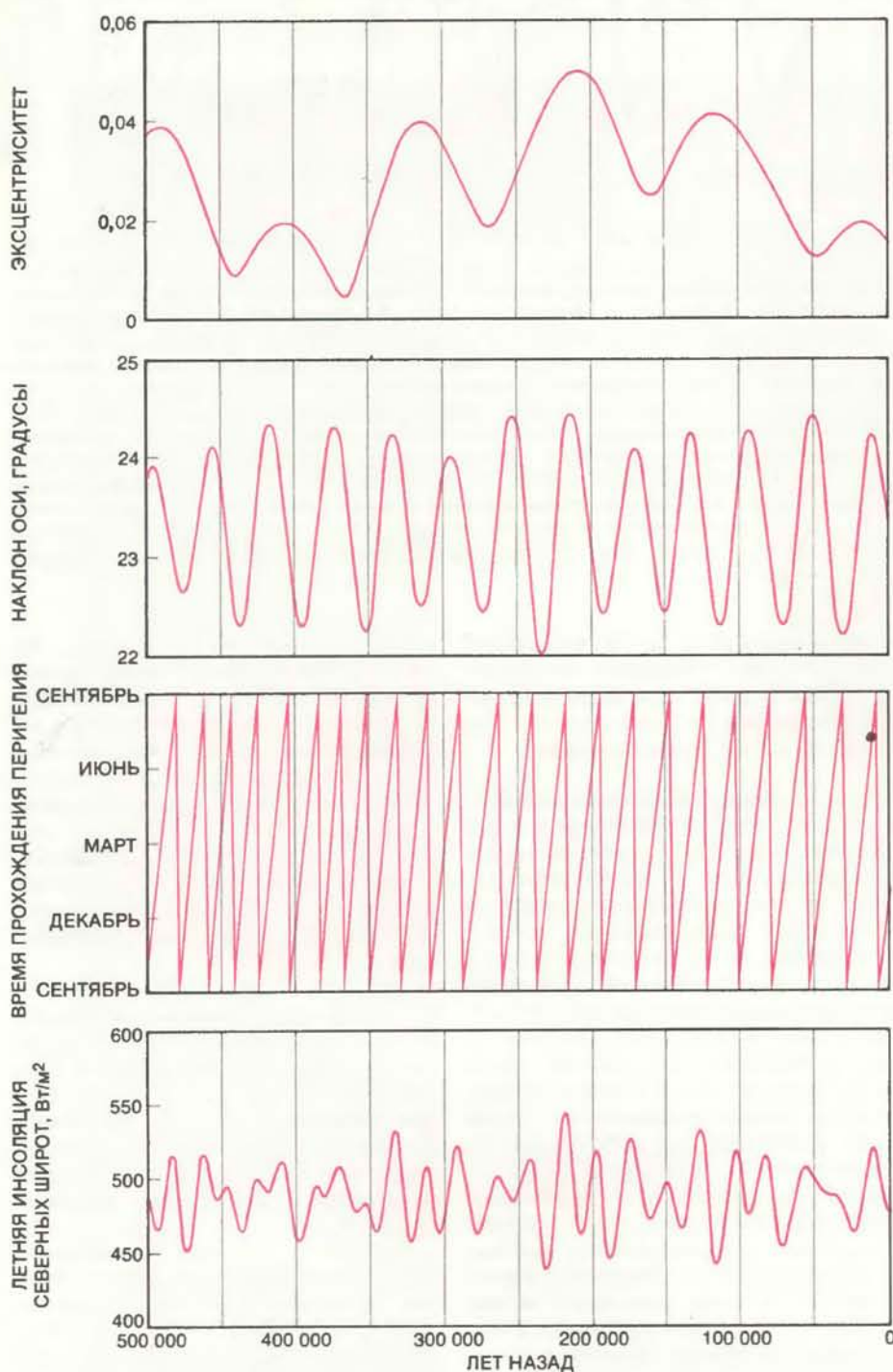
К ЭТИМ доказательствам относится, например, периодичность структуры ритмично-слоистых озерных осадков, называемых ленточными глинами, отложение которых определяется сезонными колебаниями. Периодичность наблюдается также в океанических осадках, образованных морскими организмами: в них чередуются слои остатков теплолюбивых и холоднолюбивых организмов. Однако решающими стали результаты изотопного анализа океанических осадков. В 1976 г. Дж. Хейс из Геологической обсерватории Ламонт-Догерти Колумбийского университета, Д. Имбри из Университета Брауна и Н. Шеклтон из Кембриджского университета опубликовали данные по изменениям соотношения изотопов кислорода. Хейс, Имбри и Шеклтон задались целью установить, в какой мере изменения объема льдов на Земле (отраженные в изотопном составе) могут быть отнесены на счет эффектов вариаций параметров земной орбиты — эксцентриситета (100 000 лет), наклона земной оси (40 000 лет) и пре-

цессии (20000 лет). Кривую изотопного состава они проанализировали методом Фурье, который обычно используется для выявления периодических колебаний и определения их частот.

В 1807 г. французский математик Жан Батист Жозеф Фурье доказал, что

график практически всякой функции может быть с любой степенью точности представлен как результат наложения синусоидальных и косинусоидальных кривых, различающихся по амплитуде и частоте; этот процесс получил название гармонического синтеза или

фурье-синтеза. Обратная процедура, обычно выполняемая с помощью ЭВМ, заключается в разложении данной кривой на элементарные гармоники — синусоиды и косинусоиды, амплитуды которых выбираются так, чтобы сумма гармоник давала наилуч-



ТЕОРИЯ МИЛАНКОВИЧА, сформулированная югославским астрономом Милутином Миланковичем, связывает наступление ледниковых эпох с изменениями трех параметров орбиты: эксцентриситета (степени отклонения орбиты от круговой), наклона земной оси (угла между осью и перпендикуляром к плоскости орбиты) и времени прохождения перигелия (момента наибольшего сближения Земли с Солнцем). Каждый из этих параметров медленно изменяется под влиянием притяжения Луны и других планет. Хотя глобальная годовая инсоляция меняется при этом мало, относительно сильные колебания испытывает летняя инсоляция высоких широт. Эксцентриситет, наклон оси и время прохождения перигелия рассчитаны по методу А. Берже. Эксцентриситет

достигает максимальных значений приблизительно каждые 100 000 лет, хотя в его вариациях выделяется также период около 400 000 лет. Циклы колебаний наклона оси и времени прохождения перигелия имеют продолжительность 40 000 и 20 000 лет соответственно. Кривая изменения времени прохождения перигелия не просто синусоида, в ней выделяются два цикла продолжительностью 19 000 и 23 000 лет. Показанные изменения июльской инсоляции относятся к полосе широт между 60 и 70° с.ш. Расчет инсоляции производился по программе для ЭВМ, разработанной Т. Ледли из Массачусетского технологического института и С. Томпсоном из Национального научно-исследовательского центра по изучению атмосферы.

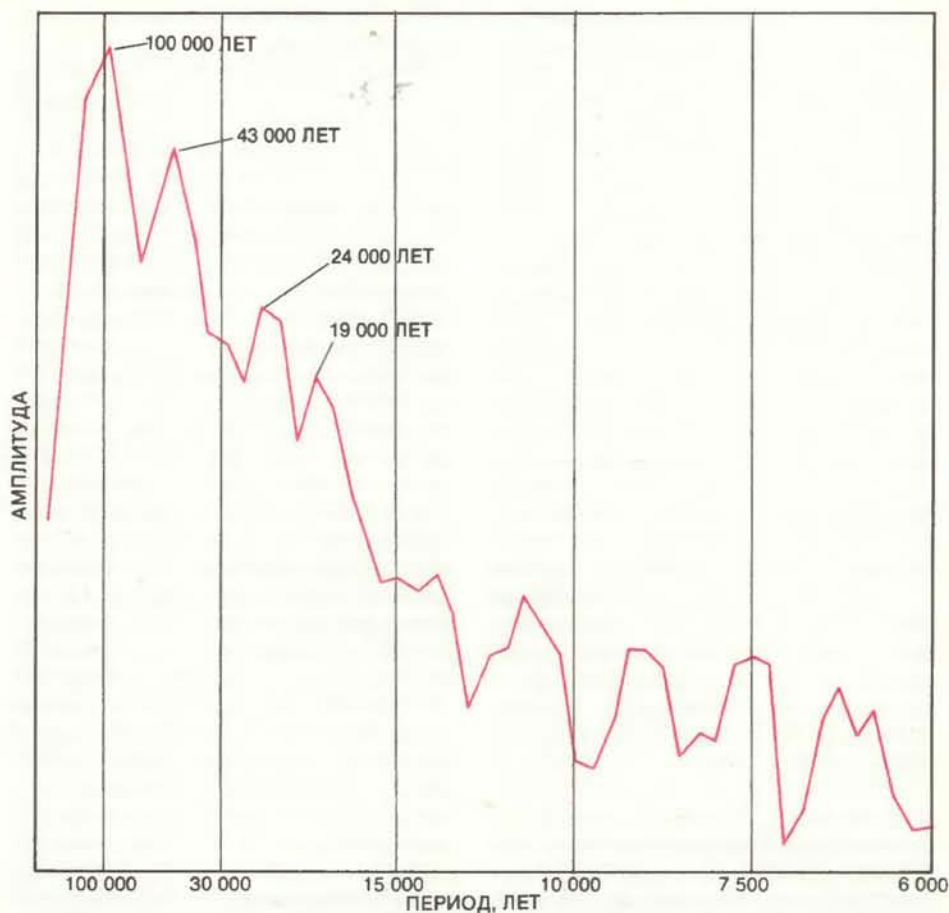
шее приближение к исходной кривой. Результат анализа Фурье обычно представляется в виде графика спектра, где амплитуда является функцией частоты (или периода). Если на графике обнаруживается пик, скажем на периоде 100 000 лет, это означает, что наибольшее количество информации, заложенное в исходной кривой, вносят колебания с таким периодом.

Спектральный анализ позволяет выделить несколько частот в колебаниях объема льдов. Наиболее отчетливо выражен 100 000-летний цикл, но существуют также несколько меньшие пики, приходящиеся на периоды около 40 000 и 20 000 лет. В целом около 60% колебаний экспериментальной кривой приходится на сумму гармоник, периоды которых близки к периодам изменений параметров орбиты. Это весомый аргумент в пользу теории Миланковича.

Хотя геологические данные представляются убедительными, они все же дают лишь косвенные доказательства, поскольку не позволяют однозначно выявить механизм, который изменения инсоляции «преобразует» в изменения объема льдов. Действие возможных механизмов проверяется на математических моделях климата.

Существует множество таких моделей различной сложности: от одного уравнения для глобальной среднегодовой температуры, которое может быть решено с помощью простейшей счетной машины, до моделей общей циркуляции, которые учитывают температуру, ветер и другие метеорологические переменные и их зависимость от времени, долготы и широты и высоты над уровнем моря. Большая часть моделей требует значительного объема вычислений; на расчет одного года исторического времени в моделях общей циркуляции расходуются многие часы работы наиболее быстродействующих ЭВМ. Ясно, что эволюция климата в масштабах сотен тысяч лет может изучаться только на упрощенных моделях.

ИЗ ВСЕХ климатических моделей для проверки теории оледенений наиболее пригодна модель баланса, основанная на законе сохранения энергии. Физические условия в ней определяются только в дискретных точках земной поверхности, обычно в узлах геодезической сетки. Скорость изменения температуры в каждой точке пропорциональна притоку тепла — приходящая в данную точку солнечная энергия минус энергия, уходящая в виде инфракрасного излучения, плюс тепло, поступающее из соседних точек. Основное упрощение, благодаря которому уравнения моделей баланса могут решаться настолько быстро, что их можно использовать для расчета ледниковых циклов, касается механизма переноса тепла из одной точки в другую. Принимается, что он происходит по простейшему за-



СПЕКТРАЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ определяет амплитуду синусоидальных волн различной частоты, сумма которых наилучшим образом аппроксимирует кривую изменения соотношения изотопов кислорода во времени. Частоты гармоник, соответствующие пикам, близки к частотам колебаний параметров орбиты; четыре гармоник, снабженные на рисунке надписями, обеспечивают около 60% вариаций соотношения изотопов кислорода.

кону — от более теплых точек к более холодным и со скоростью, пропорциональной разности температур. В действительности перенос тепла атмосферными и океанскими течениями имеет более сложный характер и часто непредсказуем. Тем не менее модели баланса успешно используются для расчета сезонных и широтных вариаций температур, и поэтому, вероятно, их можно применить для моделирования других изменений климата, но имеющих ту же причину, что и сезонные изменения.

Недавние эксперименты с моделями баланса показали, что вариации орбиты действительно могли вызвать значительные климатические изменения с цикличностью в 100 000 лет. Модель, разработанная Дж. Нортом и Д. Шортом из Годдардовского центра космических полетов Национального управления по аэронавтике и изучению космического пространства и Д. Менгелем из Корпорации прикладных исследований, показала, что небольшое уменьшение инсоляции могло повести к обширному оледенению. Ключом к пониманию этого процесса, как и полагал Миланкович, является инсоляция высоких северных широт.

Норт и его коллеги предположили,

что модели климата не могли правильно предсказать изменения объема льдов, оттого, что континенты в них рассматривались как один крупный массив. Если же в модель заложить более близкое к реальному распределение суши, то она оказывается более чувствительной к изменениям инсоляции и дает распределение льда, подобное тому, которое установлено по геологическим данным. Когда в качестве исходного значения выбиралась величина инсоляции 115 тыс. лет назад (в начале ледниковой эпохи), рост ледниковых покровов в модели начинался в северных широтах, в особенности в Северной Америке. Накопление льда в Евразии шло не так быстро вследствие больших размеров континента. Внутренняя часть Евразии, удаленная от смягчающего влияния океана, подвержена огромным сезонным перепадам температуры, так что весь накопившийся зимой снег стает в течение относительно теплого лета.

Этот результат все же не объясняет доминирующую роль 100 000-летнего периода ледникового цикла. Во многих отношениях это наиболее загадочная часть проблемы. Изменения эксцентриситета земной орбиты действительно обладают периодичностью около

100 000 лет, однако распределение инсоляции, которое, как представляется, во многом и определяет климат, значительно больше зависит от наклона и прецессии земной оси, чем от эксцентриситета. Почему же в таком случае 100 000-летний цикл выражен сильнее, чем 40 000-летнее колебание оси и 20 000-летний цикл ее прецессии?

Объяснение, возможно, заключается в явлении резонанса, свойственном многим физическим системам. Простейшим примером может служить маятник. Если его толкнуть, он будет раскачиваться с частотой, которая зависит только от его длины и от ускорения силы тяжести. Маятник можно заставить колебаться и с помощью толчков, производящихся через определенные промежутки времени; частота колебаний в этом случае будет зависеть от частоты толчков и не обязательно совпадет с собственной частотой маятника. Амплитуда колебаний увеличивается, если частота вынуждающей силы приближается к собственной частоте маятника. Это явление и представляет собой резонанс.

ВОЗМОЖНО, система, состоящая из атмосферы, океанов, континентов и ледниковых покровов, имеет собственный (предпочтительный) период колебаний около 100 000 лет. Хотя эксцентриситет влияет на инсоляцию в меньшей степени, чем наклон или прецессия оси, его изменения в этом случае могут оказаться более существенными для изменений климата, поскольку их ча-

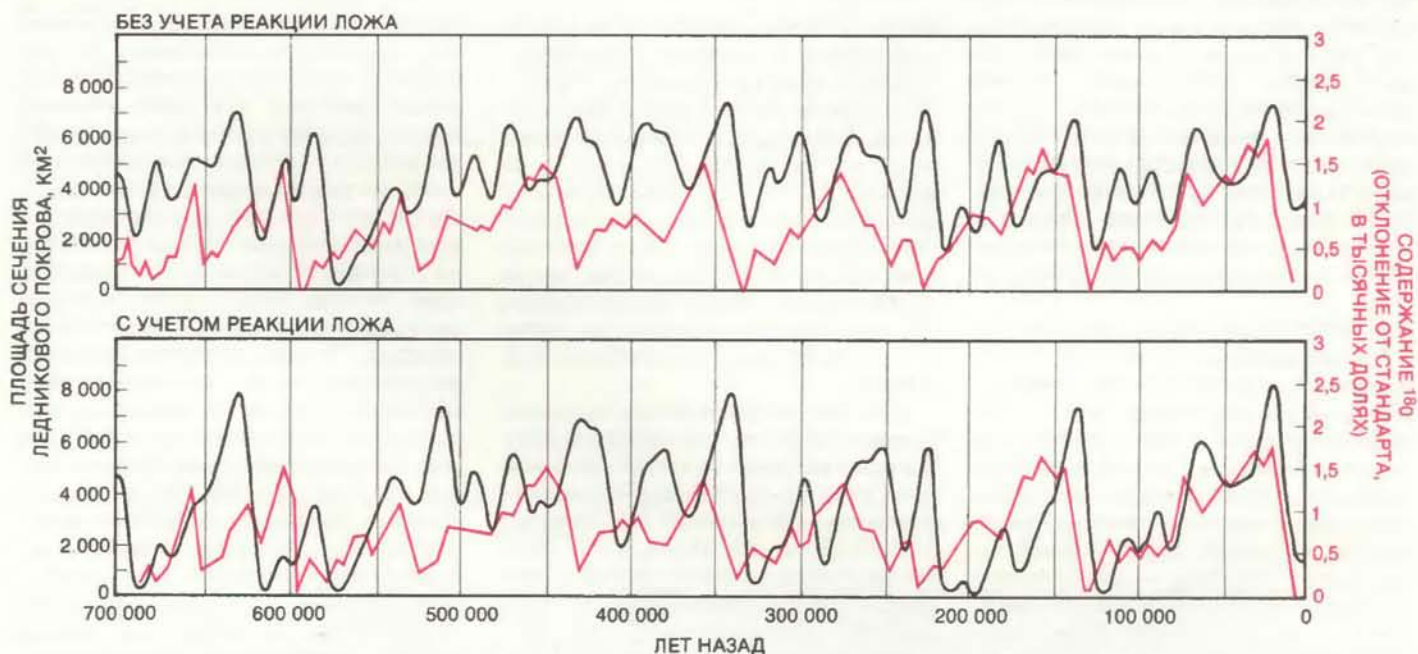
стота близка к собственной частоте колебаний системы.

Многие исследователи, в особенности Имбри и Гил из Нью-Йоркского университета, учитывали явление резонанса для объяснения 100 000-летнего цикла климатических изменений, включая в модели факторы, которые могли бы приводить к возникновению такой собственной частоты. По моему мнению, наиболее подходящей из этих моделей является та, что учитывает реакцию подстилающих пород на давление массивных ледниковых покровов. Ложе ледника опускается под тяжестью растущих льдов, но процесс полного приспособления к нагрузке растягивается по крайней мере на тысячи лет. Тем временем по мере роста ледника поверхность его поднимается все выше, а на высотах выпадение снега оказывается более вероятным. В результате рост ледника еще более ускоряется. Когда же, наконец, ложе опускается, поверхность ледника оказывается на высотах, где превалирует таяние. Таким образом, особенности реакции коренного ложа благоприятствуют вначале росту ледникового покрова, а затем процессу таяния: в этот период в результате разгрузки ложе ледника постепенно поднимается, вместе с ним поднимается и поверхность оставшегося льда и цикл возобновляется.

Влияние описанного механизма на изменения глобального объема льдов было продемонстрировано в модели Полларда из Орегонского университета. Изначально было принято, что ско-

рость роста ледника обратно пропорциональна инсоляции. Если реакция ложа не учитывалась, изменения объема льдов регулировались циклами колебаний земной оси (40 000 лет) и ее прецессии (20 000 лет). Когда в модель включили реакцию ложа (величина запаздывания была принята равной приблизительно 10 000 лет), период колебаний глобального объема льдов составил 100 000 лет. Реакция ложа ледника в действительности имеет гораздо более сложный характер, чем принято в модели Полларда, поэтому вопрос ни в коей мере нельзя считать решенным. Тем не менее эффект нагрузки на ложе представляется логичным объяснением возникновения собственной частоты климатических колебаний.

Хотя как будто ясно, что изменения параметров земной орбиты и ледниковые эпохи связаны между собой, стоит предостеречь от излишнего увлечения этой теорией. Изменения характеристик орбиты представляют лишь один из многих факторов, которые потенциально способны воздействовать на климат. Вполне возможно, например, что частицы, выбрасываемые в верхние слои атмосферы во время многочисленных вулканических извержений, поглощают или рассеивают солнечный свет в такой степени, что могут вызывать существенное похолодание в глобальных масштабах. Преимущество теории Миланковича состоит, однако, в том, что она поддается проверке: изменения параметров земной орбиты, а значит и инсоляции, могут быть легко



ЗАПАЗДЫВАНИЕ РЕАКЦИИ КОРЕННОГО ЛОЖА на нагрузку ледников может объяснить доминирующий 100 000-летний период колебаний объема льдов, несмотря на то, что вынуждающее воздействие с этим периодом — вариация эксцентриситета орбиты — меньше других влияет на инсоляцию в высоких широтах. Кривые изменения объема льдов рассчитаны с учетом данных об инсоляции по модели развития ледникового покрова Д. Полларда. В одном из экспе-

риментов (верхний график) принималось, что коренное ложе мгновенно прогибается под нагрузкой накапливающегося льда. В другом эксперименте (нижний график) приспособление ложа к нагрузке занимало около 10 000 лет, в течение которых поверхность ледника остается на большей высоте, и более холодных условиях. Результаты второго эксперимента ближе к кривой изменения соотношения изотопов во времени (цветная линия).

определены на основе расчетов гравитационного взаимодействия Земли с планетами Солнечной системы. Естественно, что климатологи предпочитают иметь дело с хорошо определяемыми внешними факторами, такими, как изменения орбиты, однако отсутствие данных о других факторах не исключает их важности.

Так или иначе, теория Миланковича не объясняет, почему ледниковые эпохи начались в плейстоцене. На протяжении большей части истории Земли материковые льды были или незначительны или полностью отсутствовали, а климат был значительно теплее, чем в последний миллион лет. Что же вызвало похолодание, повлекшее за собой оледенения? Одна из возможных причин — это перемещение континентов. Похолодание могло начаться, когда Северная Америка и Евразия достигли своего современного положения, т.е. несколько десятков миллионов лет назад, и когда начала формироваться новая система переноса тепла в атмосфере и океане. Вероятно, этот процесс был постепенным. В Антарктиде ледник образовался около 30 млн. лет назад, когда она отделилась от Южной Америки и оказалась отрезанной от циркуляции теплых экваториальных вод. Есть данные, что ледники в высоких широтах начали формироваться уже в миоцене.

ОЖИДАЮТ ли нас в будущем новые ледниковые эпохи? Колебания соотношения изотопов кислорода не проявляют тенденции к сглаживанию, тем не менее вполне возможно, что планета уже пережила свою последнюю ледниковую эпоху: развитию оледенений в будущем мешает воздействие человека на климат. По мере продолжающейся индустриализации в атмосфере повышается концентрация углекислого и некоторых других газов. К концу века это загрязнение может вызвать ощутимое потепление Земли; возрастание температуры станет настолько значительным, что если будет продолжаться, то окажется достаточным, чтобы компенсировать похолодание, связанное с изменениями орбиты.

Земля — не единственная планета, климат которой может испытывать влияние изменений орбиты или наклона оси. Марс подвержен гравитационным возмущениям еще больше, так как расположен ближе к тяжелому Юпитеру. Наклон оси вращения Марса меняется от 12 до 38° с периодом около 120 000 лет. Вызванные этим изменения инсоляции должны оказывать значительное воздействие на климат Марса. Возможно, отражением этих изменений являются некоторые из геологических особенностей планеты, недавно обнаруженные в ходе космических исследований, такие, например, как слоистые отложения вблизи полюсов.

Онкогены *in vivo*

ЗА ПОСЛЕДНИЕ пять лет накопились данные, убедительно свидетельствующие о том, что развитие по меньшей мере некоторых видов рака у человека определяется действием особых генов. Исследования, конечно, еще далеки от завершения. Сейчас твердо установлено, что некоторые обычно доброкачественные протоонкогены нормальных клеток могут активироваться и становиться онкогенами, которые обнаруживаются в линиях опухолевых клеток животных и человека, а также в самих опухолях. Если онкоген ввести в лабораторную культуру клеток мыши, происходит трансформация клеток — они приобретают свойства, характерные для клеток злокачественных образований. Однако для трансформации клеток, не прошедших большого числа делений в культуре и, по-видимому, более нормальных, требуется сочетание двух разных онкогенов или комбинация онкогена и канцерогена. Это согласуется с представлением о раке как о многостадийном процессе. Когда животным вводят клетки, трансформированные тем или иным способом, они дают начало опухолям. Но до сих пор роль онкогенов в образовании исходной опухоли не была продемонстрирована в прямых экспериментах. Для этого, а также для изучения многостадийности онкогенеза на молекулярном уровне нужно проследить за судьбой отдельных онкогенов с момента их активации канцерогеном до возникновения опухоли. В последнее время начаты эксперименты, цель которых — получить объект, удобный для таких исследований.

Первый шаг сделали А. Бэлмен и Я. Прагнелль из Битсоновского института по изучению рака (Шотландия, Великобритания); несколько месяцев назад их сообщение было опубликовано в "Nature". Они индуцировали возникновение чешуйчатоклеточных карцином кожи у мышей, последовательно подвергая животных действию двух канцерогенов, сначала «инициатора», а затем «промотора». Опухоли трансплантировали здоровым мышам, что усиливало их злокачественные проявления. ДНК из трансплантированных опухолей была способна трансформировать клетки мыши. Исследователи показали, что трансформированные клетки содержат онкоген из семейства генов *ras*, которые присутствуют в ряде опухолей человека. Авторы пришли к выводу, что под действием канцерогена активировался онкоген, действие которого приводит к развитию рака кожи.

Недавно журнал "Nature" поместил также статью, в которой описана более

детально охарактеризованная экспериментальная система и глубже вскрыт механизм активации онкогена *ras*. Авторы этой работы — С. Сукумар, В. Нотарио, Д. Мартин-Занка и М. Барбасид из Национального института рака (США). Сукумар и ее коллеги индуцировали карциномы молочной железы, подвергая самок крыс воздействию инициатора — метилнитрозомочевины (МНМ). ДНК, выделенная из 9 полученных опухолей, трансформировала клетки мыши, а ДНК из здоровых молочных желез трансформации не вызывала. Каждым из этих 9 препаратов опухолевых ДНК трансформировали клетки. Оказалось, что трансформированные клетки содержали каждая по определенному онкогену *ras*.

Следующий этап состоял в том, чтобы установить механизм активации. В 1982 г. в лаборатории М. Барбасида, а также в лабораториях под руководством А. Вайнберга (Массачусетский технологический институт) и М. Уиглера (Лаборатория в Колд-Спринг-Харборе) было доказано, что ген человека *ras* приобретает злокачественный характер в результате единичной точковой мутации. Мутация изменяет 12-й кодон гена: в протоонкогене он кодирует глицин, а в онкогене валин. Впоследствии выяснилось, что замена этого остатка глицина на любую другую аминокислоту также превращает протоонкоген в онкоген.

Исследователи из группы Барбасида выделили ген *ras* из опухоли молочной железы и определили последовательность нуклеотидов в его начальном участке. Сравнивая ее с последовательностью нормального гена *ras* из той же линии крыс, они также обнаружили одиночную нуклеотидную замену в 12-м кодоне: в данном случае он кодировал не глицин, а глутаминовую кислоту. Оказалось, что в остальных восьми опухолях молочной железы имела место мутация в этом же локусе гена.

Тот факт, что активация онкогенов МНМ воспроизводится, открывает возможности для новых исследований роли химического канцерогенеза в развитии рака. Барбасид и его коллеги отмечают, что обнаруженная мутация по характеру замены нуклеотида как раз такая, какую следовало ожидать от воздействия МНМ. Если эту связь удастся твердо установить, то индуцированная МНМ карцинома молочной железы и химический канцерогенез в целом послужат удобной модельной системой для изучения активации онкогенов и ее последствий. А поскольку характер активации одинаков и при карциноме у мышей, и при некоторых опухолях человека, знания, полученные с помощью подобной системы, пригодятся в борьбе с раком человека.

Структура белков в биологических мембранах

Мембранные белки частично погружены

в липидный бислой, а частично выступают в воду.

Новые методы электронной микроскопии дают возможность понять, какие особенности структуры этих белков позволяют им существовать в двух столь различных средах одновременно

НАЙДЖЕЛ АНУИН, РИЧАРД ХЕНДЕРСОН

ВСЕ клетки и различные органеллы внутри них окружены очень тонкими, но необычайно прочными пленками, состоящими из липидов и белков, — биологическими мембранами. Основная функция мембран — создание непроницаемого для многих веществ барьера между клеткой и внешней средой или между различными отсеками внутри клетки, благодаря чему содержимое их не смешивается и в живой клетке поддерживается стройная система химических процессов. Однако биологические мембраны — это не просто перегородки, они служат высокоспецифичными посредниками между клеткой и средой или между органеллами и их окружением. Разнообразные функции клеток и органелл в значительной степени определяются строением их мембран и свойствами мембранных белков.

Мембранные белки выполняют целый ряд жизненно важных функций. Так, высокая избирательность проницаемости мембран достигается благодаря тому, что специальные белки образуют каналы, пропускающие лишь определенные ионы и молекулы, а также помпы, способные переносить вещества против градиента их концентрации. Мембранные белки-рецепторы обеспечивают передачу через мембрану внутрь клетки сигналов от внешних эффекторов, таких, как гормоны, нейромедиаторы или чужеродные антигены. Некоторые реакции должны протекать не в растворе, а на поверхности клеток или органелл, и осуществляется это также мембранными белками — ферментами и антигенами, — прикрепленными к мембранам.

Для того чтобы понять, как работают мембранные белки, необходимо знать, какова их трехмерная структура и как она изменяется в ответ на те или иные внешние стимулы. Мы исследовали структуру мембранных белков с помощью электронного микроскопа. Это позволило выяснить некоторые важные детали.

Липиды и белки

Основой биологической мембраны является бимолекулярный слой липидов. Липидная молекула амфифильна, т.е. часть ее гидрофильна, а часть гидрофобна. «Голова» молекулы гидрофильна: она легко взаимодействует с водой, образуя с ней водородные связи. Два длинных углеводородных «хвоста» молекулы гидрофобны: они не способны образовывать водородные связи и не имеют сродства к воде. В физиологических условиях в водной среде такие молекулы стремятся образовать бислоюную мембрану. Их гидрофильные головы при этом образуют поверхность мембраны и взаимодействуют с водным окружением — межклеточной средой, цитоплазмой или матриксом органелл, а гидрофобные хвосты взаимодействуют друг с другом внутри бислоя. Такая липидная мембрана имеет толщину около 45 Å. Молекулы липидов находятся в постоянном тепловом движении и могут перемещаться в плоскости мембраны. Таким образом, липидный бислой представляет собой по существу двумерную пленку жидкости, лишь немного более вязкой, чем вода. Несмотря на малую толщину и свойства жидкости, бислой очень стабилен, так как амфифильные молекулы липидов собраны в нем в наиболее энергетически выгодную структуру.

Мембранные белки плотно встраиваются между липидными молекулами бислоя. Они могут быть разбросаны в мембране по одной или же образовывать скопления. Как ни разнообразны мембранные белки, все они отличаются от водорастворимых тем, что одновременно контактируют с двумя различными средами — липидным слоем и водой (часто мембранный белок насквозь пронзает бислой и соприкасается с водной фазой по обе стороны от него), т.е. находятся на границе раздела фаз. Белки прочно связаны с бислоем (хотя и могут перемещаться в пло-

скости мембраны) благодаря тому, что так же, как липиды, обладают амфифильными свойствами. Гидрофильные участки белка взаимодействуют с водой и головами липидов, а гидрофобные участки погружены в мембрану и взаимодействуют с хвостами липидных молекул. Мембранные белки могут взаимодействовать также с водорастворимыми белками, друг с другом и с небольшими молекулами, способными растворяться в липидах.

Мы исходим из того, что, с одной стороны, особые свойства липидного окружения накладывают определенные ограничения на структуру мембранных белков, а с другой — к этим белкам вполне приложимы фундаментальные принципы белковой химии. Все белки состоят из аминокислот, соединенных пептидными связями в линейные последовательности. Полипептидная цепь (или несколько цепей) уложена в пространстве строго определенным образом, который диктуется самой последовательностью аминокислот. Последовательность определяет укладку цепи потому, что 20 аминокислотных остатков, входящих в состав белков, различаются по размеру, форме, заряду, способности образовывать водородные связи и химической активности. В ходе эволюции были отобраны такие последовательности, которые дают стабильные и функционально активные белковые структуры.

α-спираль и β-структура

В большинстве исследованных водорастворимых белков более или менее упорядоченные участки полипептидной цепи — α-спирали или β-структуры — чередуются с менее упорядоченными.

α-Спираль представляет собой жесткую стержнеобразную структуру: полипептидный остов, скрученный в плотную спираль, образует цилиндр, из которого выступают наружу боко-



СТРУКТУРА БАКТЕРИОРОДОПСИНА — белка мембраны со-
лелюбивых бактерий, осуществляющих особый тип фото-
синтеза. Таким увидели его на дисплее компьютера один из
авторов этой статьи, Р. Хендерсон, и А. Леск. Белок состоит
из единственной полипептидной цепи (248 аминокислот), с
которой связана светопоглощающая молекула ретиналя.

Большая часть цепи уложена в 7 α -спиральных столбов. Они
соединены между собой шестью неспиральными участками,
но ни эти участки, ни ретиналь неразличимы при том
разрешении (7 Å), при котором получены контурные карты
электронной плотности (см. нижний рисунок на с. 43), позво-
лившие построить данное изображение.

вые цепи аминокислот. В β -структуре, напротив, две или несколько полипептидных цепей почти полностью растянуты и расположены параллельно друг другу, так что боковые цепи аминокислот выступают перпендикулярно образовавшемуся слою по обе его стороны. Как α -спираль, так и β -структура стабилизируются водородными связями между гидрофильными группами NH и CO, образующими остов полипептидной цепи. В α -спирали связи образуются между группами в соседних витках одной и той же цепи, а в β -структуре — между группами разных (соседних) цепей.

В менее упорядоченных участках белка (например, между двумя α -спиралями) таких стабилизирующих связей нет, а гидрофильные группы остова полипептидной цепи образуют водородные связи с молекулами воды. Структуры, в которых гидрофильные группы не могут взаимодействовать ни друг с другом, ни с водой, нестабильны. Стабильность растворимых белков достигается такой укладкой молекулы, что α -спирали и β -структуры располагаются в основном внутри глобулы, в которую сворачивается полипептидная цепь, а неупорядоченные участки — на ее поверхности, где они контактируют с водой.

Сходные представления об укладке молекулы можно применить и к белкам, погруженным в мембрану. На границе раздела водной и липидной фаз вследствие гидрофильности/гидрофобности различных участков проявляется, пожалуй, еще более отчетливо. Наименее упорядоченные участки полипептидной цепи со свободными гидрофильными группами должны в основном располагаться в тех частях белка, которые контактируют с гидрофильными головами липидов и с водным

окружением. α -Спиральные и β -структурные участки, в которых гидрофильные группы образуют водородные связи друг с другом, а также наиболее гидрофобные боковые цепи аминокислот, окажутся, видимо, внутри мембраны в гидрофобном окружении липидных углеводородных хвостов. Возможны самые разнообразные конформации мембранных белков, например пучки α -спиралей, цилиндры из β -структур и их комбинации. Такие структуры могут быть функциональны сами по себе или в качестве субъединиц в составе более сложных комплексов.

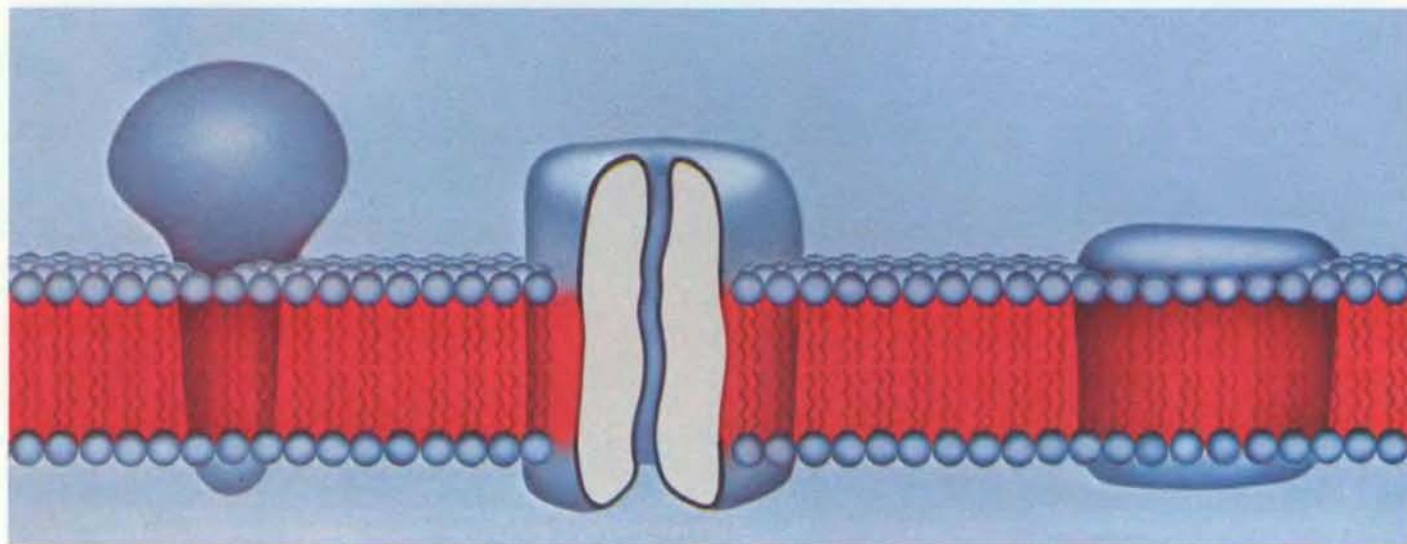
Электронно-микроскопический анализ

Десять лет назад мы решили исследовать структуру мембранных белков с помощью электронного микроскопа по методике, разработанной для рентгеноструктурного анализа кристаллов растворимых белков. Всякий кристалл состоит из множества одинаковых молекул, расположенных строго регулярно. Положение и ориентация каждой молекулы зависят от ее структуры. В целом кристалл представляет собой совокупность повторяющихся элементарных ячеек. Изучая дифракцию рентгеновских лучей на кристалле, можно получить информацию о расположении атомов в отдельных молекулах, образующих кристалл. Большая часть данных о структуре растворимых белков, включая детали строения α -спирали и β -структуры, была получена именно с помощью рентгеновского дифракционного анализа крупных трехмерных белковых кристаллов.

Провести аналогичное исследование мембранных белков было невозможно, поскольку не удавалось получить их

трехмерные кристаллы. Эти белки приспособлены к существованию в двумерном пространстве липидного бислоя и склонны образовывать двумерные, а не трехмерные агрегаты. Некоторые мембранные белки в природных мембранах существуют в виде двумерных решеток, которые по существу являются двумерными кристаллами. Другие белки можно заставить образовывать подобные структуры. Для этого белки экстрагируют из мембраны с помощью детергента, очищают и реконструируют с добавленным в определенной пропорции липидом. Рентгеновские лучи, проходя через такие тонкие кристаллы, практически не рассеиваются, но электроны, которые способны взаимодействовать с ядрами атомов, рассеиваются значительно сильнее и дают дифракционные картины. Более того, поскольку электроны — это заряженные частицы, их поток можно сфокусировать и получить изображение объекта — электронную микрофотографию. Такое изображение несет даже большую информацию о структуре отдельной молекулы, чем дифракционная картина.

Для обычной электронной микроскопии мембраны приходится негативно окрашивать. Препарат погружают в раствор соли тяжелого металла, который не пропускает поток электронов. «Краска» контрастирует внешние гидрофильные участки молекул, что позволяет выявить поверхностные структуры. Структуры же, погруженные в липидный бислой или находящиеся внутри белковых глобул, остаются недоступными для наблюдения. Чтобы исследовать их, необходимо исключить окрашивание и наблюдать образец непосредственно. Добиться этого непросто, потому что биологические объекты в отличие от электроплотной



БИОЛОГИЧЕСКАЯ МЕМБРАНА состоит из белков, погруженных в бислой плотно упакованных молекул липида. Гидрофильные «головы» липидов (синие шарики) направлены в сторону водной среды (голубая), а их углеводородные

«хвосты» (красные) обращены друг к другу. Белки имеют как гидрофильные, так и гидрофобные участки. Они взаимодействуют и с полярным окружением (головы липидов и вода), и с гидрофобными хвостами липидных молекул.

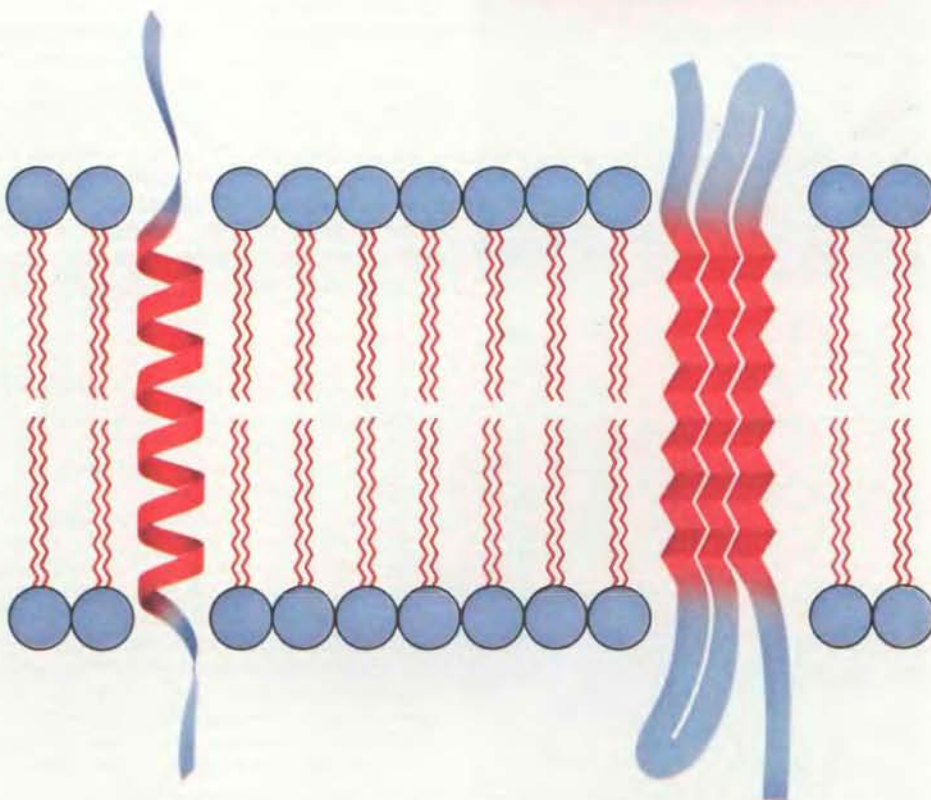
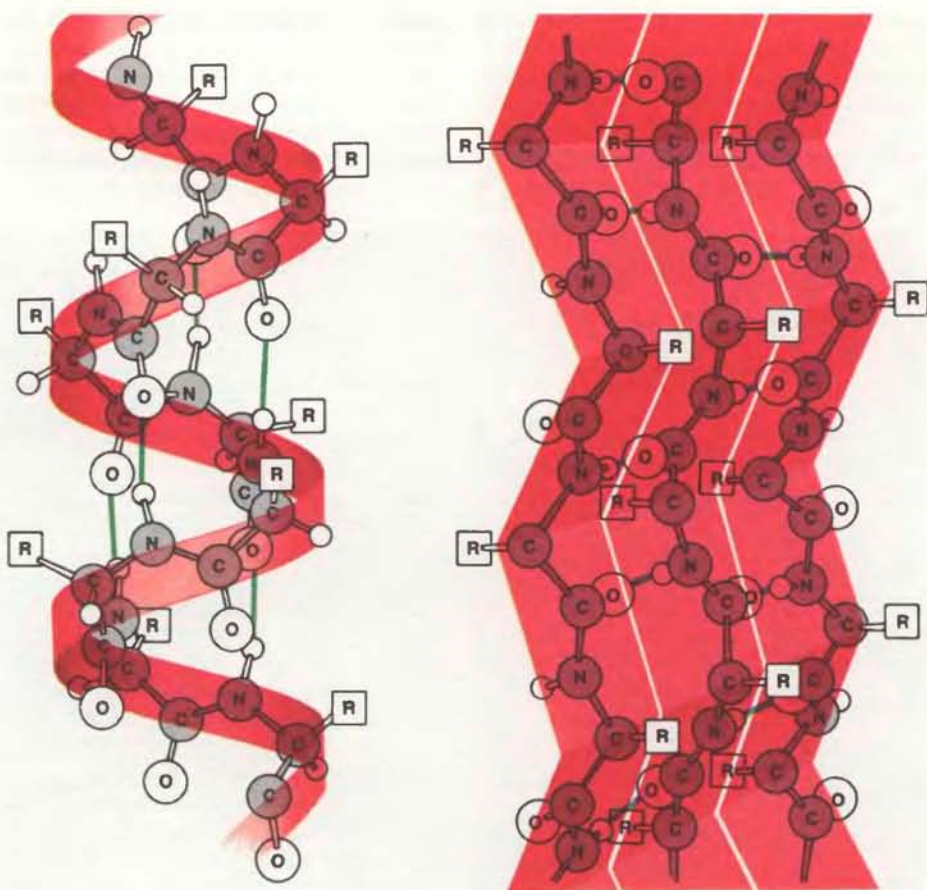
«краски» быстро разрушаются под воздействием пучка электронов. Как α -спирали, так и β -структуры повреждаются при дозах облучения, даже значительно меньших, чем те, которые необходимы для получения микрофотографии отдельной молекулы.

Выход состоит в том, чтобы облучать белковые кристаллические решетки, состоящие из нескольких тысяч молекул, низкими, не разрушающими их дозами электронов, а затем суммировать полученные изображения. Процедура суммирования усилит те детали, которые соответствуют повторяющимся элементам решетки и снивелирует значительную часть шума, возникающего из-за случайных столкновений электронов и существенного при низкой дозе облучения. Таким образом, полная и достоверная картина молекулы создается по совокупности информации о каждой из повторяющихся ячеек кристалла.

Фурье-преобразование

Один из способов добиться усиления (усреднения) изображения заключается в том, что повторные изображения накладывают одно на другое, так что повторяющаяся информация суммируется. Этот путь, однако, может не дать положительного результата, так как часто трудно установить точное расположение повторяющихся элементов. Более эффективен остроумный подход, разработанный несколько лет назад Д. Де Розье и А. Клугом (лаборатория молекулярной биологии Совета медицинских исследований в Кембридже) для анализа электронных микрофотографий таких упорядоченных агрегатов, как вирусные частицы. По их методу усреднение происходит в несколько этапов. Первый шаг — сканирование фотографий кристаллического объекта с помощью микроденситометра, которое дает двумерный массив чисел, соответствующих электронной плотности в каждой точке изображения. Вторая стадия — фурье-преобразование полученной решетки, что дает численный аналог дифракционной картины. На третьем этапе из преобразованных данных отбирают информацию о повторяющихся элементах образца. И наконец, реконструируют изображение объекта, для чего проводится второе фурье-преобразование — фурье-синтез, который позволяет получить изображение без шума.

Этот путь, за исключением третьего этапа, аналогичен формированию изображения в простом двухлинзовом оптическом микроскопе. Первая линза, создающая дифракционную картину объекта, эквивалентна первому фурье-преобразованию, а вторая, проектирующая изображение, соответствует второму преобразованию — фурье-



α -СПИРАЛЬ И β -СТРУКТУРА — два типа упорядоченной конформации полипептидной цепи в белке. В α -спирали (слева вверху) пептидный остов (серые шарики) свернут винтом в жесткую структуру, из которой выступают боковые цепи аминокислот (R). В β -структуре (справа вверху) две или несколько полипептидных цепей располагаются параллельно. Обе структуры стабилизированы водородными связями (зеленые) между группами NH и CO, образующими остов цепи; эти группы гидрофильны. Те части белка, которые погружены в гидрофобную область мембраны, представлены преимущественно α -спиралями и β -структурой (внизу). В менее упорядоченных участках цепи группы NH и CO не «защищены» взаимодействием друг с другом. Такие участки имеют сродство к воде и располагаются в основном на гидрофильной поверхности мембраны или в водном окружении.

синтезу. Действительно, часто, прежде чем переходить к дальнейшей обработке, исследуют микрофотографии с помощью оптического дифрактометра, что дает их дифракционные картины (это соответствует первому преобразо-

ванию) и позволяет проверить их качество.

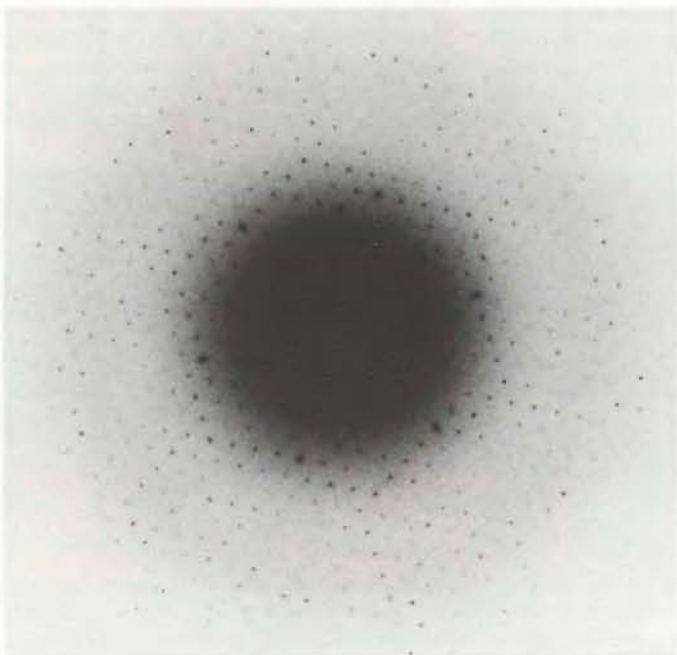
Чтобы понять, каким образом на третьем этапе информация, связанная с повторяющимися деталями, отделяется от случайных флуктуаций (шума),

необходимо рассмотреть некоторые свойства фурье-преобразования. Всякое изображение можно представить в виде суммы синусоидальных волн, причем их длина, амплитуда, направление и величина смещения (фаза) раз-



КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ АГРЕГАТЫ молекул бактериородопсина. Электронная микрофотография (увеличение $\times 100\,000$) получена Р. Хендерсоном и Д. Шоттоном. Препарат был приготовлен методом замораживания — скалывания: стопку мембран замораживали и раскалывали под малым углом к плоскости мембраны, затем на поверхность скола напыляли платину и углерод и получали реплику. Мембраны при такой обработке раскалываются, как правило, по плоскости,

проходящей в центре бислоя. Бугристые участки на фотографии соответствуют внутримембранной поверхности обращенной к цитоплазме слоя липидов. Гексагонально упакованные молекулы бактериородопсина после скалывания оказались связанными со слоем липидов на цитоплазматической стороне мембраны. Гладкие области представляют собой обращенную в сторону внеклеточной среды поверхность скола внешнего слоя мембраны.



ЭЛЕКТРОННЫЙ МИКРОСКОП дает возможность получить как дифракционную картину (*слева*), так и изображение неокрашенного кристаллического агрегата бактериородопсина (*справа*). Анализ дифракционной картины дает значения амплитуд синусоидальных волн, характеризующих структуру. Однако величины их фаз могут быть определены лишь



путем анализа электронных микрофотографий. Фотография неокрашенной мембраны сильно отличается от предыдущей иллюстрации: сигнал лишь ненамного превышает шум и не удается различить каких-либо регулярных структур. Для того чтобы получить из такой фотографии полезную информацию, необходимо прибегнуть к анализу Фурье.

личаются. После фурье-преобразования каждая такая волна, т.е. член ряда Фурье, представляется в виде двух острых пиков, расположенных симметрично относительно начала координат. Расстояние от пика до начала координат обратно пропорционально длине волны. Каждый пик характеризуется амплитудой и фазой. Распределение пиков после преобразования отражает регулярность и симметрию изображения.

Поскольку атомы (и, следовательно, электронная плотность) в кристалле собраны в повторяющиеся ячейки, первое фурье-преобразование дает упорядоченную картину пиков, соответствующих тем немногим синусоидам, которые характеризуют данную кристаллическую решетку. Картина содержит также пики, соответствующие шуму. Но поскольку флуктуации плотности, создающие шум, характеризуются всеми возможными параметрами синусоидальных волн, соответствующие им пики оказываются беспорядочно разбросанными. Таким образом, первое фурье-преобразование дает решетку интенсивных пиков, наложенную на неупорядоченный фон. На следующем этапе с помощью ЭВМ отделяют регулярные пики от тех, что появились из-за шума. Когда реконструируют изображение, в заключительный фурье-синтез вводится информация, связанная лишь с повторяющимися элементами. При этом удается также выделить и суммировать пики, отражающие симметрию кристаллов. Это уточняет изображение.

Идея о том, что, анализируя изображения, полученные при облучении образца низкими дозами электронов, можно исследовать структуру не только агрегатов, но и отдельных молекул, возникла еще до того, как была разработана методика, пригодная для решения этой задачи. Р. Глезер из Калифорнийского университета в Беркли смоделировал такой анализ на ЭВМ и показал, какие большие возможности таит в себе метод. Однако изучение природных объектов стало реальным, лишь когда появились мощные компьютеры, способные сравнительно быстро проводить фурье-преобразование, дающее ряд из нескольких сотен тысяч членов. Кроме того, исследователи научились избегать повреждения неокрашенных мембранных структур, прежде неминуемого в тех условиях, которые необходимы при электронной микроскопии. Так, мы обнаружили, что для защиты от вакуума можно погружать образец в раствор глюкозы. После того как большая часть воды в вакууме испаряется, концентрированный глюкозный раствор создает гидрофильную среду, которая заменяет мембранному препарату водное окружение. Другой способ, предложенный

К. Тейлором и Р. Глезером из Калифорнийского университета в Беркли, состоит в том, что образцы замораживают в тонкой пленке воды или солевого раствора и исследуют при очень низкой температуре, так что сублимации льда практически не происходит.

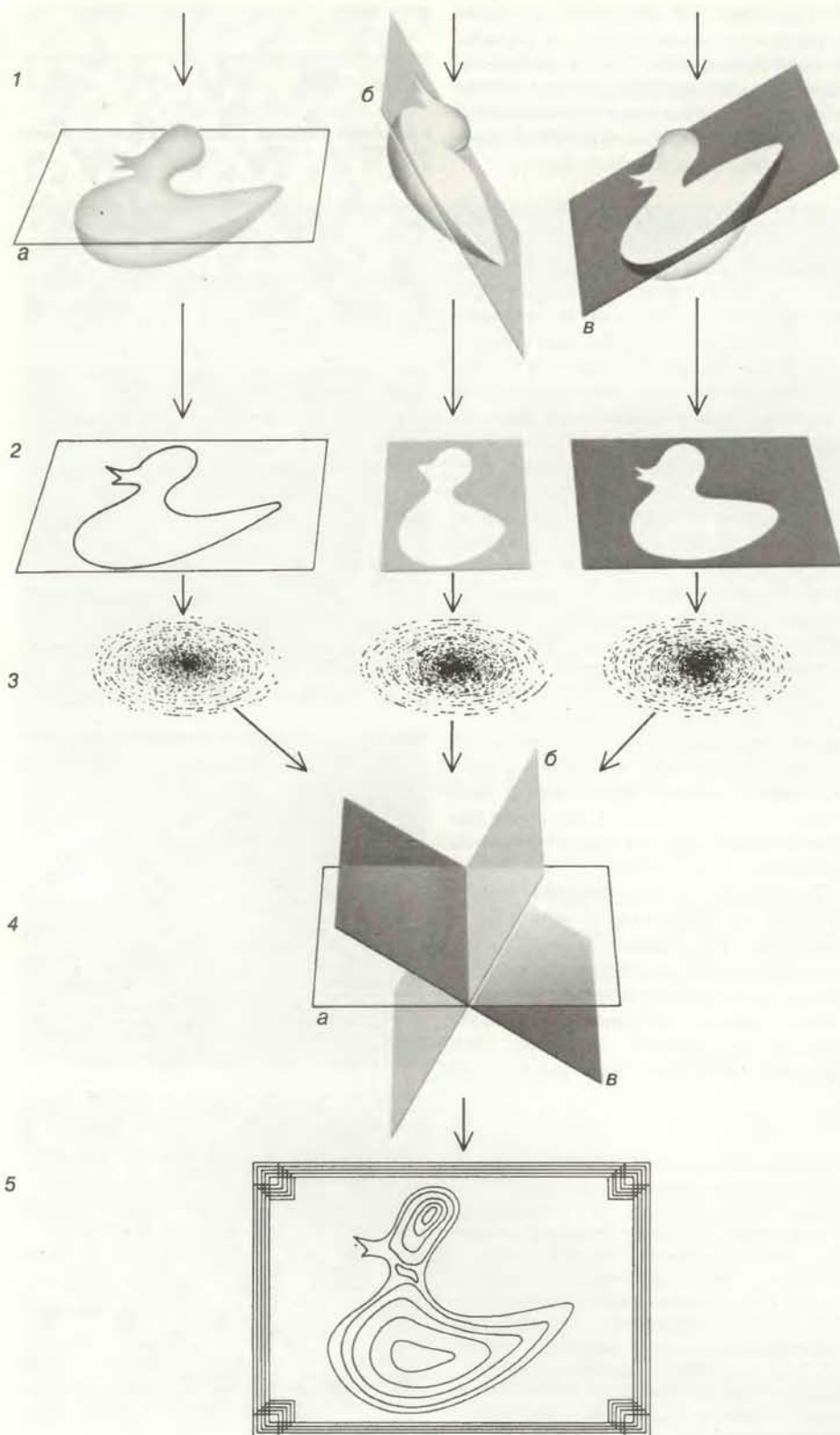
Бактериородопсин

Впервые описанные выше методы мы применили для изучения структуры бактериородопсина — относительно простого белка, обнаруженного в клеточной мембране галобактерий. Эти бактерии могут жить только при очень высокой концентрации хлорида натрия; в природе они встречаются в соленых озерах и в пересыхающих прудах. Бактериородопсин состоит из 248 аминокислот и содержит связанную молекулу ретиналя. Ретиналь — светочувствительный компонент зрительных пигментов животных; он входит в состав родопсина — «зрительного пурпура», который находится в клетках палочках сетчатки человеческого глаза. В мембране галобактерий бактериородопсин функционирует как светозависимая протонная помпа, с помощью которой осуществляется особый бесхлорофильный тип фотосинтеза (см. «The Purple Membrane of Salt-loving Bacteria», by W. Stoerkenius; "Scientific American", June, 1976).

Бактериородопсин обладает удивительной способностью к агрегации в мембране. Он образует кристаллические «бляшки», состоящие из десятков тысяч молекул белка и сотен тысяч молекул липидов, упакованных в плотную гексагональную решетку. Эти «бляшки» легко выделить и суспенди-



ИНФОРМАЦИЯ О СТРУКТУРЕ отделяется от шума с помощью усреднения по Фурье. Проиллюстрируем этот процесс на примере картинке с утками. Регулярная структура (вверху) была сфотографирована через крупнозернистый негатив. Полученное изображение (второе сверху) имитирует электронную микрофотографию с высоким шумом. Фотография была просканирована с помощью денситометра и набор значений плотности подвергнут фурье-преобразованию. Этот этап соответствует дифракционной картине (третье сверху). Только теперь сигнал, соответствующий уткам (яркие пятна, расположенные регулярно), удается отделить от шума (случайно расположенные пятна), который был введен в исходное изображение. «Отфильтрованный» таким образом сигнал еще раз преобразуется (фурье-синтез), что позволяет реконструировать четкое изображение уток (второе снизу), в котором шум уже невелик. Еще более четкое изображение (внизу) получается в результате усреднения информации от симметричных элементов решетки.



ПОЛУЧЕНИЕ ТРЕХМЕРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ. Образцы исследуют при различных углах наклона по отношению к падающему лучу (1). Получается набор фотографий, соответствующих различным плоским проекциям (2). Фурье-преобразование (3) каждой проекции дает плоскость, проходящую через начало координат в трехмерном фурье-преобразовании (4). По большому числу плоскостей рассчитывают полное преобразование и строят контурные карты электронной плотности на разных уровнях погружения в мембрану. Карты наносят на прозрачные листы, и при их наложении создается изображение трехмерной структуры (5).

ровать в присутствии глюкозы, что делает возможным прямые исследования.

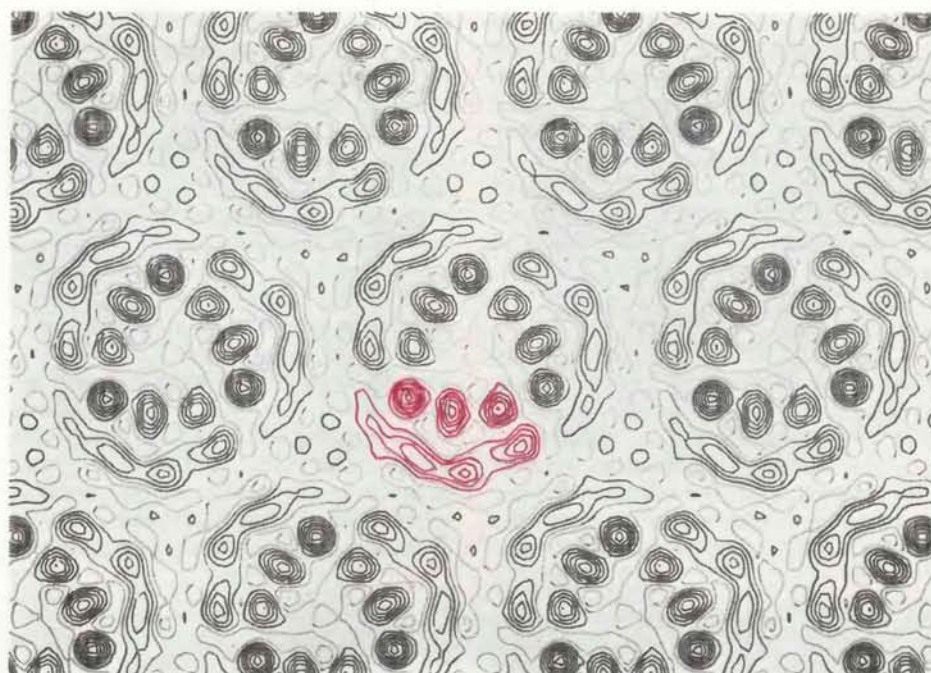
Мы решили по картинам дифракции электронов на кристаллических участках блишек реконструировать их изображения с помощью фурье-преобразований. Чтобы получить дифракционные картины, достаточно было просто нарушить нормальную последовательность операций, выполняемых при электронно-микроскопическом анализе. Электроны, рассеянные атомами образца, сразу регистрировали на фотопленке, а не фокусировали магнитной линзой, как это требуется для получения изображения. Пурпурные мембраны оказались очень чувствительными к облучению электронами, и нельзя было поступать, как обычно, т.е. получать дифракционную картину на флуоресцентном экране, а затем записывать ее, — картина исчезала прямо на глазах. Лишь после того как удалось сократить время облучения, мы стали получать четкие дифракционные картины гексагональной структуры. По интенсивности пятен рассчитывались амплитуды членов ряда Фурье, характеризующих упаковку молекул в блишке.

Чтобы получить информацию о фазах волн, мы должны были построить реальное изображение молекулярной упаковки. При исследовании неокрашенных пурпурных мембран с помощью низких доз электронов получались такие нечеткие микрофотографии, что они привели бы в ужас всякого специалиста по электронной микроскопии. Однако когда эти фотографии рассматривали в оптическом дифрактометре, выявлялась четкая кристаллическая дифракционная картина. Слабо выраженные детали, разбросанные по тысячам повторяющихся ячеек, концентрировались и давали малое число четких пятен.

Микрофотографии, содержавшие изображения по меньшей мере нескольких тысяч молекул бактериородопсина, сканировали с помощью микроденситометра. С полученными значениями плотности провели фурье-преобразования, что в сочетании с амплитудами, рассчитанными на основании дифракционных картин, позволило построить усредненное изображение молекулярной решетки. Были составлены контурные карты атомной плотности, отражающие структуру пурпурной мембраны в проекции на плоскость (двумерную проекцию, вид «сверху»). Достигнутое при этом разрешение лимитировалось свойствами микроскопа и составляло 7 Å (это значит, что детали, разделенные меньшим расстоянием, различить было нельзя).

Полученная карта представляла собой совокупность отдельных пятен и выглядела так, как если бы мы смотрели на систему столбиков с торца. Рас-

стояние между центрами пятен составляло около $10,5 \text{ \AA}$. Во многих ранее исследованных белках подобная картина, как показано, соответствует α -спирали. Создавалось впечатление, что основу структуры бактериородопсина составляют несколько α -спиралей, перпендикулярных плоскости бислоя и пересекающих его. Именно такая α -спиральная укладка пептидной цепи была предсказана Р. Хендерсоном и А. Блуроком из Лондонского королевского колледжа на основании данных о дифракции рентгеновских лучей на осажденных пурпурных мембранах. Подтверждение нашей гипотезы было само по себе весьма приятно, но оставался еще целый ряд волнующих вопросов. В частности, невозможно было судить, насколько глубоко спиральные столбы погружены в бислой и какую часть молекулы они составляют. Помимо ярко выраженных пятен на проекционной карте каждой молекулы имелись протяженные полосы с более низкой плотностью, которые не поддавались интерпретации. Ясно было, что необходимо исследовать структуру белка в трех измерениях.

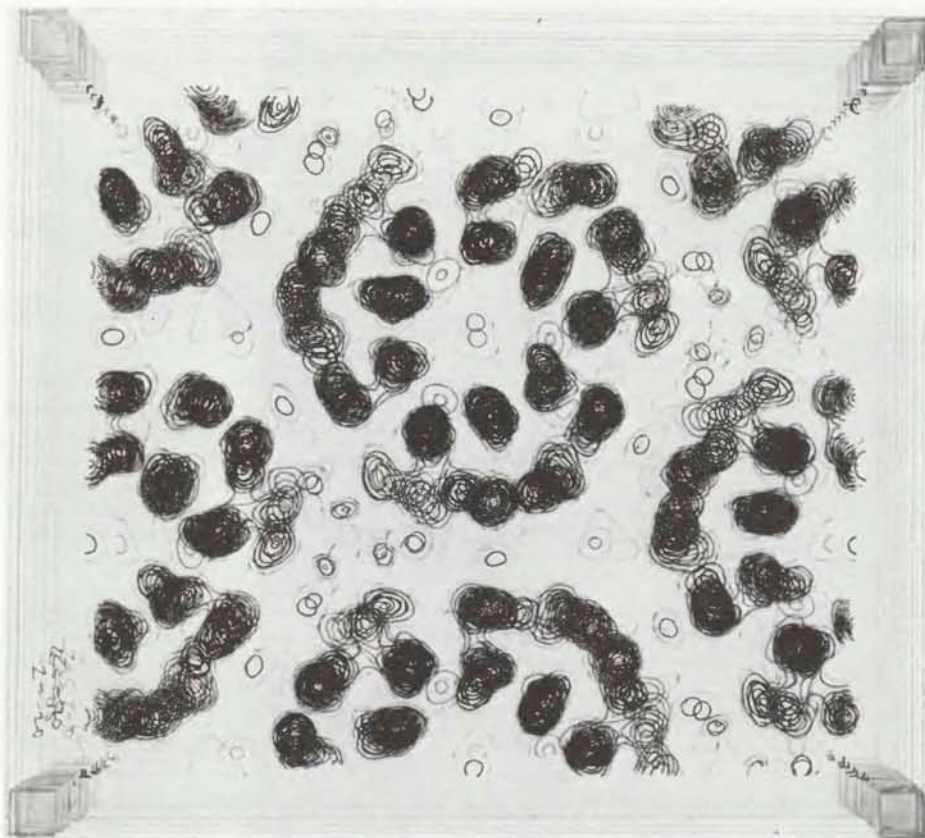


ДВУМЕРНАЯ КОНТУРНАЯ КАРТА, полученная после усреднения по Фурье, соответствует проекции кристаллического агрегата бактериородопсина и липидов на плоскость. Одна молекула белка выделена цветом. Контуры на карте соединяют точки одинаковой электронной плотности. Хорошо различимы только те структуры, которые расположены перпендикулярно мембране: три максимума плотности (округлые контуры) в каждой молекуле бактериородопсина соответствуют трем α -спиральным столбам, на которые мы «смотрим» точно с торца. Вытянутые контуры нельзя однозначно интерпретировать исходя из двумерного изображения.

Трехмерная структура

Де Розье и Круг сформулировали общие принципы получения трехмерной структуры биологической молекулы по ее двумерным проекциям. В оптическом стереомикроскопе каждый глаз наблюдателя рассматривает объект под своим углом наклона, а в мозгу из двух плоских изображений создается единый трехмерный образ. С помощью электронного микроскопа тоже можно сделать две фотографии объекта под разными углами и рассматривать их затем через стереоприставку. Этот способ, однако, не позволяет получить нужного количества деталей для точной трехмерной реконструкции объекта. Из теории Фурье следует, что подобная реконструкция возможна, если имеется не два, а серия двумерных изображений, полученных при немного различающихся углах. Каждое из них может быть подвергнуто фурье-преобразованию и затем «отфильтровано» от шума. Члены ряда Фурье для всех проекций в сумме составляют трехмерный набор. Последующая операция фурье-синтеза даст трехмерную реконструкцию объекта.

Чтобы построить точное трехмерное изображение, следовало получить электронные микрофотографии пурпурной мембраны при углах наклона от 0 до 90° . Сделать это было невозможно, но, перемещая образец так, чтобы каждый раз фотографировалась новая область, не пострадавшая от электронного пучка, нам удалось получить 18 снимков для углов от 0 до 57° . Фурье-



ТРЕХМЕРНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ кристаллического агрегата молекул бактериородопсина и липидов построено путем наложения контурных карт электронной плотности, соответствующих различным уровням сечения структуры. В вытянутых контурах, которые видны на двумерных картах, удается различить четыре отдельных округлых контура. Они соответствуют четырем α -спиральным участкам, не перпендикулярным плоскости мембраны. Таким образом, молекула бактериородопсина содержит 7 α -спиральных участков. «Гладкое» изображение на с. 37 получено с помощью компьютера по контурам электронной плотности.

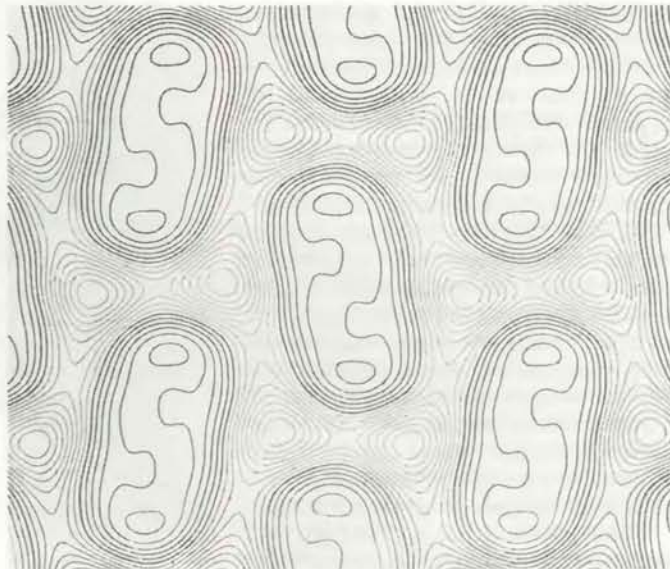
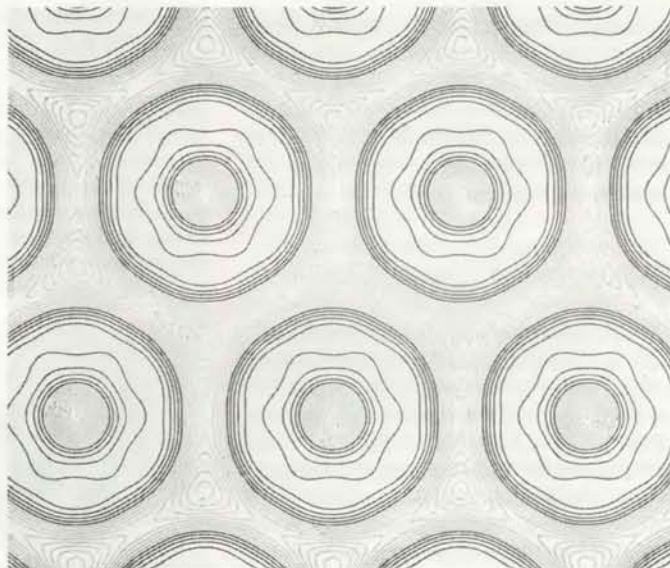
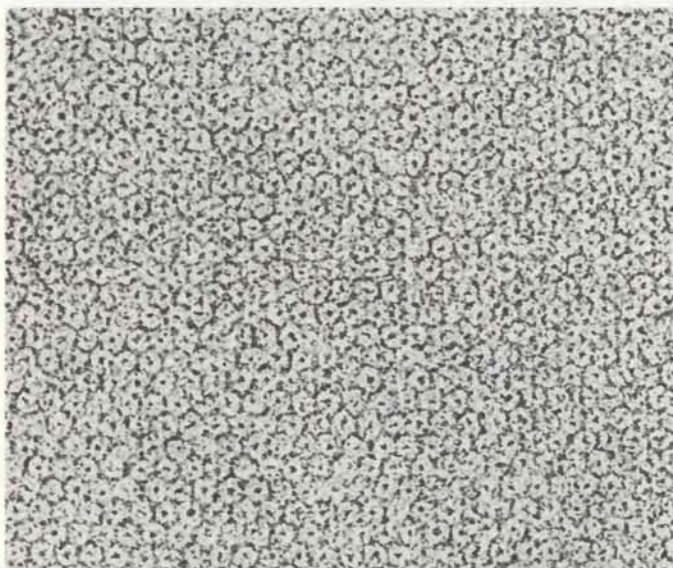
преобразование этих изображений дало амплитуды и фазы трехмерного набора членов ряда Фурье. Чтобы точнее определить амплитуды, мы получили также 15 картин дифракции электронов, соответствующих разным углам наклона. Мы объединили данные этих двух методов, обработали их с помощью фурье-синтеза и построили 10 контурных карт, каждая из которых соответствовала «разрезу» на той или иной «глубине» мембраны.

Оказалось, что молекула бактериородопсина состоит из 7 электроноплотных столбов, представляющих собой, по-видимому, α -спиральные участки полипептидной цепи, пронзающие мембрану. Три столба располагаются перпендикулярно плоскости би-

нии плоской проекции. Остальные четыре столба слегка наклонены, поэтому различные их поперечные сечения при наложении частично перекрывались и эти столбы не очень четко разрешались. Угол их наклона хорошо согласуется с теоретическими представлениями о параллельной упаковке и взаимодействии α -спиралей, выдвинутыми Ф. Криком еще в 1953 г.

Участки полипептидной цепи, соединяющие семь столбов, не удается различить при разрешении 7 Å. Можно, однако, определить общую длину неспиральных участков, если вычесть число аминокислот, необходимое для образования семи α -спиралей из общего числа аминокислот (их 248), составляющих белок. Получается всего около 70 аминокислот, следовательно, неспи-

ральные участки, соединяющие α -спиральные столбы на обеих сторонах мембраны, довольно короткие. Этот вывод подтвердился после того, как Ю. А. Овчинников с сотрудниками в Институте биорганической химии им. М. М. Шемякина (Москва) и группа Х. Кораны в Массачусетском технологическом институте расшифровали первичную структуру бактериородопсина. В последовательности аминокислот оказалось 7 участков, состоящих в основном из гидрофобных аминокислот, гидрофобные участки были разделены короткими гидрофильными сегментами. Такая последовательность хорошо укладывалась в структуру из 7 α -спиральных столбов, погруженных в мембрану и соединенных небольшими связками, выступающими по обе сто-



КОННЕКСОН (вверху) и ЦИТОХРОМ *c*-ОКСИДАЗА (внизу). Слева — микрофотографии, справа — карты проекций. Негативно окрашенные препараты этих белков дают значительно более контрастные фотографии, чем неокрашенный бактериородопсин, но в них меньше повторяющихся элементов на единицу площади. Из-за этого разрешение на картах плотности невысокое: всего 18 Å в случае коннексона и

около 25 Å для цитохром *c*-оксидазы. На карте коннексона видны кольца с шестью выступами, окружающие области пониженной электронной плотности — каналы, пронизывающие мембрану. Карта цитохром *c*-оксидазы показывает, что белок представляет собой димер, симметричный относительно оси второго порядка. Трехмерные контурные карты выявляют структуру белков более детально.

роны от нее.*

Химические и структурные данные пока не достаточны для полного описания молекулы бактериородопсина и механизма, с помощью которого он переносит через мембрану протоны. Для этого необходимо прежде всего знать точное расположение отдельных аминокислотных остатков и молекулы ретиналя. Наши исследования, однако, показали, что общие принципы, разработанные для рентгеноструктурного анализа водорастворимых белков, могут быть успешно применены и к гидрофобным белкам, погруженным в мембрану.

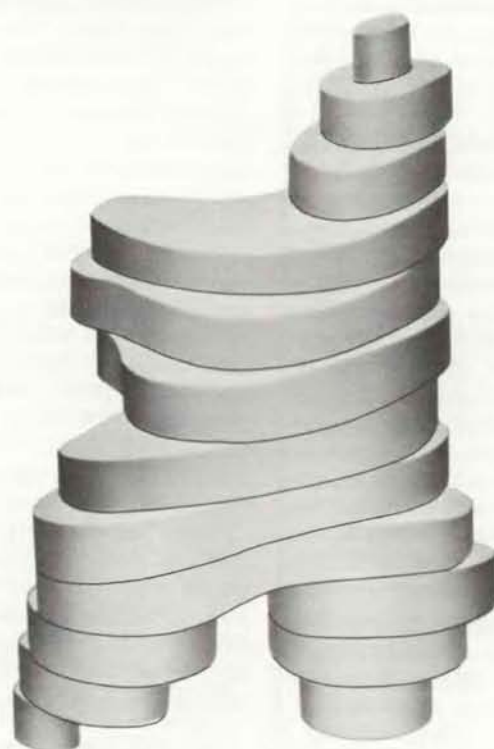


Коннексоны

Соседние клетки одной ткани должны сообщаться друг с другом для того, чтобы координировать свою жизнедеятельность и функционировать как целое в соответствии со спецификой ткани. Такое сообщение достигается с помощью специальных коротких «трубочек», которые собраны в дискообразные структуры в местах так называемых щелевых контактов. Каждая трубочка состоит из двух цилиндрических белковых молекул — коннексонов. Молекула коннексона частично погружена в клеточную мембрану, а ее выступающая часть способна связываться в межклеточном пространстве с коннексоном соседней клетки, так что образуется непрерывный канал, соединяющий внутреннее пространство двух клеток. Коннексон состоит из нескольких субъединиц, молекулярная масса каждой из них близка к массе молекулы бактериородопсина. Субъединицы располагаются так, что в центре молекулы коннексона имеется канал — просвет межклеточной трубочки. Диаметр канала можно определить, если ввести в отдельные клетки флуоресцентные молекулы разного размера и наблюдать их проникновение в соседние клетки. Такие эксперименты, проделанные В. Левенштайном и его коллегами (Медицинская школа Университета в Майами), показали, что диаметр канала составляет 15—20 Å. Этого вполне достаточно, чтобы пропускать не только небольшие ионы, но и молекулы некоторых питательных веществ, а также некоторые регуляторные молекулы, например циклический аденозинмонофосфат.

Если обработать клетки раствором детергента, то можно выделить структуры щелевых контактов: кристалли-

* Имеются данные, из которых следует, что в молекуле бактериородопсина может содержаться до 40% β -структуры, а полипептидная цепь пересекает мембрану 9 раз (см. В. К. Jar, M. F. Maestri, S. B. Hayward. *Biophys. J.* **43**, 1983, pp. 81—89). — *Прим. перев.*



СХЕМАТИЧЕСКИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ коннексона (вверху) и цитохром с-оксидазы (внизу), построенные на основании трехмерных карт. Кальций вызывает поворот шести субъединиц молекулы коннексона. Прежде наклоненные, они становятся почти перпендикулярно плоскости мембраны и закрывают центральный канал (справа). Мономер цитохром с-оксидазы имеет форму буквы Y. Ее «ствол» выступает из внутренней мембраны митохондрии в межмембранное пространство и обеспечивает связывание фермента с цитохромом с.

ческие агрегаты гексагонально упакованных коннексонов в двух соседних мембранах. Связь между двумя коннексонами трубочки при этом сохраняется. В таких кристаллах гораздо меньше повторяющихся ячеек, чем в бляшках пурпурных мембран, поэтому их электронно-микроскопический анализ удалось провести пока лишь с довольно низким разрешением. Мы применили два различных, но дополняющих друг друга подхода.

Во-первых — негативное окрашивание, которое выявляло поверхностные гидрофильные структуры. Во-вторых — метод замораживания мембран в тонкой пленке воды, уже упоминав-

шийся выше. Разница в электронной плотности между белком, липидом и льдом достаточно велика, что позволяет рассмотреть внутренние детали структуры щелевого контакта. Разность электронной плотности между белком и водой (которая значительно выше, чем между белком и глюкозой) дает возможность изучить те части белка, которые выступают из бислоя. В данном случае преимущества исследования структуры в водном окружении оказываются более существенными, чем трудности, связанные с необходимостью обеспечить стабильность замороженного образца в вакууме электронного микроскопа.

При негативном окрашивании щелевых контактов каждый коннексон выглядит как кольцо, окружающее центральную область (канал), в которой концентрируется краска. Чтобы исследовать расположение субъединиц вокруг канала, Г. Зампиги (Медицинский центр Университета Дюка) и один из авторов этой статьи, Н. Ануин, применили описанный выше метод анализа и реконструкции изображений. Была получена плоская проекция с разрешением 18 Å. Контурные линии на ней складывались в кольцо с шестью выступами, что указывало на существование шести субъединиц, окружающих канал. Интерпретация, однако, затруднялась тем, что изображения коннексонов, которые принадлежали двум контактирующим мембранам, перекрывались. Вновь, как и в случае бактериородопсина, необходимо было трехмерное изображение.

Анализ изображений, полученных при различных углах, подтвердил предположение о шести субъединицах. Они выступают на обеих сторонах клеточной мембраны: менее чем на 10 Å в цитоплазму и на 15—20 Å в межклеточную среду, где они соединяются с коннексоном соседней клетки. На разных сторонах канала субъединицы наклонены в противоположных направлениях и, следовательно, составляют угол с его центральной осью. Угол наклона оказался примерно таким же, как у α -спиральных столбов молекулы бактериородопсина. Было установлено также, что сам канал сужается: если вне клетки его просвет имеет диаметр около 20 Å, то вблизи цитоплазмы он узок настолько, что становится плохо различимым при данном разрешении.

Эффект ворот

В живой ткани каналы щелевых контактов могут открываться и закрываться в ответ на изменение внутриклеточных условий. Механизм "ворот" очень важен для нормального функционирования ткани. Благодаря закрыванию каналов изолируются мертвые клетки и не происходит утечки важных компонентов из соседних здоровых клеток. Интересные соображения о молекулярном механизме открывания и закрывания каналов следуют из анализа некоторых изображений щелевых контактов. Были обнаружены особые формы коннексонов, отличающиеся от тех, с которыми мы столкнулись вначале. Центральный канал в них не был выражен. Трехмерная реконструкция, сделанная по этим изображениям, показала, что субъединицы в таких коннексонах расположены иначе: они меньше наклонены и вблизи цитоплазмы почти смыкаются, фактически закрывая канал. Видимо, помимо небольшого изменения угла наклона, произошло смещение субъединиц вдоль линий их контактов. Мы предположили, что смыкание и размыкание субъединиц, подобное движению лепестков диафрагмы в фотоаппарате, обеспечивает открывание и закрывание каналов *in vivo*.

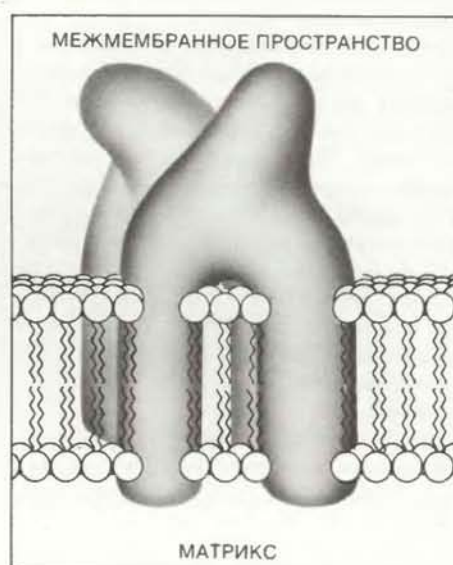
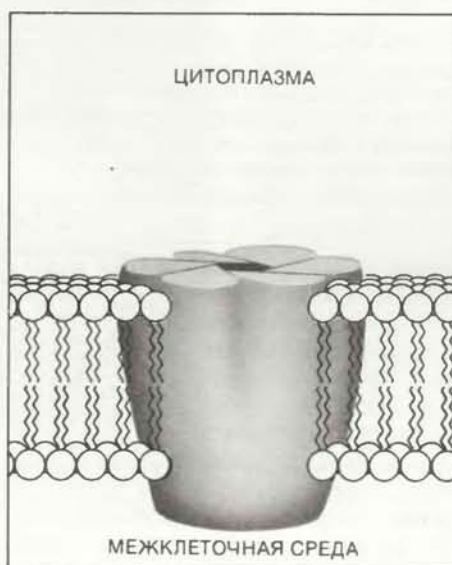
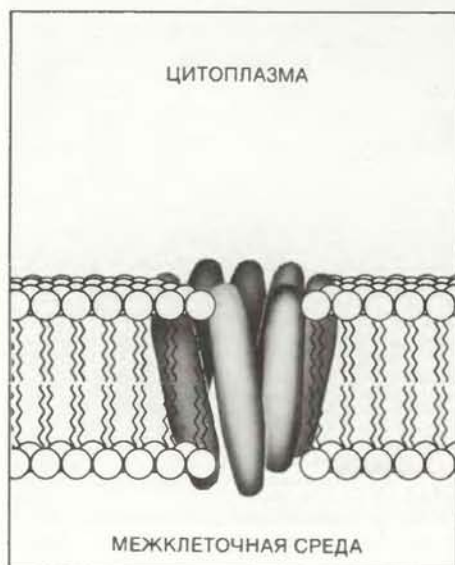
Недавно П. Эннис (Медицинская школа Стэнфордского университета) и Н. Ануин попытались проверить эту гипотезу. Ранее было показано, что состояние щелевых контактов (открыты они или закрыты) зависит от концентрации ионов кальция в клетке. Применяя методику замораживания в присутствии и в отсутствие ионов кальция, исследователи установили, что кальций действительно вызывает сближе-

ние субъединиц и перекрывание канала. По всей видимости, именно такая перестройка регулирует движение молекул по межклеточным каналам.

Мы пока еще многого не знаем о деталях устройства коннексонов. Новые данные были недавно получены в результате рентгеноструктурных исследований. Результаты Л. Маковски, Д. Каспара, Д. Гуденоу и У. Филлипса (Университет Брэндайса), которые получили картины дифракции рентгеновских лучей на осажденных комплексах щелевых контактов, свидетельствуют о том, что в отличие от бактериородопсина полипептидная цепь коннексона содержит довольно много участков β -структуры. Мы надеемся получить кристаллические агрегаты коннексонов со значительно большим числом повторяющихся элементов, чем нам удавалось до сих пор. Тогда мы сможем повысить разрешение и сократить время пребывания образца в пучке электронов, а значит, существенно уменьшить разрушение материала от облучения. Карты, построенные при более высоком разрешении, выявят детальное строение коннексонов.

Цитохром с-оксидаза

Третий мембранный белок, чья пространственная структура стала нам отчасти понятна, — это цитохром с-оксидаза. Ее молекула состоит по крайней мере из семи полипептидных цепей и примерно в шесть раз больше молекулы бактериородопсина. Цитохром с-оксидаза располагается не в плазматической мембране, а во внутренней мембране митохондрий (эти органеллы играют основную роль в энергетическом обмене клетки). Она катализиру-



МЕМБРАННЫЕ БЕЛКИ, для которых наиболее хорошо изучена трехмерная структура, изображены в одном масштабе. Бактериородопсин (слева) представляет собой мономер, коннексон (в центре) — гексамер из шести одинако-

вых субъединиц, цитохром с-оксидаза (справа) — димер, каждая половина которого состоит из семи полипептидных цепей. Первые два белка расположены в плазматических мембранах, третий — во внутренней мембране митохондрий.

ет окисление цитохрома *c*. В этой реакции четыре протона из внутримитохондриального пространства (матрикса) соединяются с молекулой кислорода и четырьмя электронами, поступающими от молекул цитохрома *c*, которые находятся на внешней поверхности внутренней мембраны, в результате чего образуются две молекулы воды. Вследствие поглощения протонов из матрикса на мембране создается протонный градиент. Энергия этого градиента используется затем для синтеза аденозинтрифосфата, который служит источником энергии для всего метаболизма клетки.

Нормальные мембраны митохондрий не содержат участков с кристаллической упаковкой цитохром *c*-оксидазы. Однако такие агрегаты можно получить, обработав митохондрии детергентами, которые экстрагируют одни компоненты мембраны и концентрируют другие. Проведя подобную процедуру, Р. Капальди (Университет шт. Орегон) обнаружил два типа кристаллических структур, образованных только молекулами цитохром *c*-оксидазы. Дж. Детередж и Р. Хендерсон совместно с Капальди и С. Фуллером исследовали эти комплексы. Чтобы «увидеть» те части белка, которые выступают из мембраны, препараты подвергали негативному окрашиванию, а участки, погруженные в мембрану, изучали с помощью метода глюкозных пленок.

Все семь полипептидных цепей, составляющих цитохром *c*-оксидазу, разные — и по размеру, и по аминокислотной последовательности. Соответственно асимметрична и форма ее молекулы. Погруженная в мембрану часть белка состоит из двух хорошо различимых структурных доменов, которые выступают в матрикс менее чем на 20 Å. Эти два домена соединены с третьим, большего размера, который выступает примерно на 55 Å с противоположной (внешней) стороны мембраны — там, где фермент взаимодействует с цитохромом *c*. В целом молекула похожа на букву Y: две ее ветви погружены в мембрану, а ствол выступает в межмембранное пространство митохондрии. Нам повезло в том, что в двух исследованных кристаллических агрегатах молекулы белка оказались расположены по-разному. Это позволило различить границы между соседними молекулами в кристалле. В одном из агрегатов, в котором фермент, по видимому, находился в нормальном состоянии, молекулы образовали димеры, симметричные относительно оси второго порядка.

Как и в случае кристаллических структур щелевых контактов, разрешение полученных нами изображений цитохром *c*-оксидазы лимитировалось тем, что число повторяющихся элемен-

тов на двумерных проекциях кристаллов было невелико. Оксидаза относится к числу очень больших белков: ее димер имеет молекулярную массу около 300 000. Скорее всего, структура бактериородопсина и коннексонов будет определена с высоким разрешением раньше, чем цитохром *c*-оксидазы.

Структура мембранных белков

Что же говорят нам эти далеко не исчерпывающие исследования трехмерной структуры об общих принципах устройства мембранных белков? Прежде всего, способы укладки полипептидных цепей и другие особенности их строения те же, что и у водорастворимых белков. Специфика же в том, что цепи мембранных белков сворачиваются, по-видимому, так, что α -спиральные и β -структурные участки оказываются погруженными в гидрофобную область мембраны, а в находящихся вне мембраны частях молекулы образуются преимущественно неупорядоченные структуры. Группы α -спиралей и β -структур складываются в компактные глобулярные молекулы, различные по форме, размеру и числу полипептидных цепей. Эти молекулы могут располагаться в мембране по отдельности, либо скапливаться по нескольку штук и образовывать плоские комплексы. Такие структуры напоминают некоторые сложные водорастворимые белки, которые состоят из нескольких субъединиц и способны претерпевать кооперативные перестройки в ответ на специфические изменения условий.

Если мы хотим понять, как работают мембранные белки, нужно детально исследовать их структурные особенности. Достижения электронно-микроскопической техники в сочетании с анализом аминокислотных последовательностей позволяют в скором времени построить карты по крайней мере некоторых белков с разрешением до 2 Å, что выявит детали на уровне атомов. Недавно Х. Михель (Институт биохимии им. Макса Планка в Мюнхене) разработал новый метод получения трехмерных кристаллов мембранных белков путем обработки мембран низкомолекулярными детергентами. (Сходный метод был также предложен Ю. Розенбушем и М. Гаравито из Базельского биологического центра.) Располагая надежным способом приготовления больших трехмерных кристаллов мембранных белков, возможно применять апробированные методы рентгеновской дифракции, позволяющие расшифровывать структуру с атомным разрешением. Исследователи, работающие в Мюнхене и Базеле, с двумя различными мембранными белками уже достигли замечательных успехов на пути к этой цели.

Издательство
МИР
предлагает:

СЕРИЯ «МАТЕМАТИКА. НОВОЕ В ЗАРУБЕЖНОЙ НАУКЕ»

Книги этой серии выпускаются издательством на протяжении многих лет. Они рассчитаны на математиков и специалистов других областей с различной степенью подготовки — физиков-теоретиков, механиков и т.д. Ими с успехом пользуются студенты и аспиранты вузов, молодые специалисты и ученые.

В 1982—83 гг. вышли в свет:

Вопенка П. Математика в альтернативной теории множеств. Перевод с английского. Цена 1 р. 10 к.

Автор — известный чехословацкий математик — предлагает новый вариант нестандартного анализа. Он вводит понятие размытых множеств и дает определение основных математических структур.

Джеймс Г. Теория представлений симметрических групп. Перевод с английского. Цена 1 р. 70 к.

В книге известного английского математика в сжатой форме излагается теория представления групп подстановок. Автор прослеживает развитие этого направления математики от его зарождения до современного состояния.

Сато М., Дзимбо М., Мива Т. Голономные квантовые поля. Сборник статей 1981. Перевод с английского. Цена 2 р. 30 к.

Книга японских математиков объединяет различные математические теории решения актуальной задачи современной математической физики — вычисления корреляционных функций в точно решаемых моделях квантовой теории поля и статистической механики.



Лазерная абдоминальная хирургия

Практически все операции на органах брюшной полости могут быть выполнены с использованием лазерного излучения. Новые методы лазерной хирургии позволили существенно уменьшить количество осложнений и летальных исходов после таких операций

О. К. СКОБЕЛКИН, Е. И. БРЕХОВ, В. И. КОРЕПАНОВ

ПЕРВЫЕ попытки применения лазерного излучения во время хирургических вмешательств относятся к 1962-1963 гг. Эти лазерные операции производились по поводу небольших доброкачественных, а затем и злокачественных опухолей кожи. В настоящее время, по-видимому, нет ни одной области хирургии, где бы не использовалось лазерное излучение. Операции с лазером становятся привычными, чему способствует все увеличивающийся выпуск медицинских лазерных установок, накопление клинического опыта, подготовка специалистов по лазерной хирургии. Однако есть важная область хирургии, в которой использование лазерной техники пока еще не получило достаточного распространения. Это абдоминальная, или гастроэнтерологическая, хирургия. Специалисты в этой области имеют дело с хирургическим лечением заболеваний органов брюшной полости — пищевода, желудка, кишечника, желчных путей, печени, поджелудочной железы и селезенки.

Длительное время лазерный скальпель не находил клинического применения в абдоминальной хирургии. Появлялись даже отдельные сообщения о нецелесообразности его применения при операциях на толстой кишке ввиду образования широкой зоны некроза (омертвения ткани) по краю разреза. Объясняется это тем, что лазерные установки, особенно малой мощности (20 — 30 Вт), обладают небольшой скоростью разрезания и приходится многократно направлять лазерный луч в одну и ту же точку для завершения разреза, что приводит к обугливанию прилегающих тканей. Усиление мощности лазера до 100 — 150 Вт позволяет существенно повысить скорость разрезания. Однако при этом происходит перегрев тканей в зоне рассечения, что также неблагоприятно сказывается на процессах регенерации. Кроме того, при повышении мощности излучения возрастает возможность поражения

близлежащих органов и тканей больного. Устранение этих нежелательных последствий путем охлаждения тканей инертным газом, жидкостями и другими способами сложно и малоэффективно.

В СССР впервые в мировой практике созданы лазерные хирургические инструменты для вмешательств на органах брюшной полости и предложены новые методы операций с их использованием, которые внедрены в широкую клиническую практику. Принципиально аналогичные инструменты и методы вмешательства разработаны для операций на легких, а также для применения в гинекологической и урологической практике. Автором этих разработок является коллектив ученых из Всесоюзного центра по применению лазеров в хирургии (ВЦПЛХ), возглавляемого проф. О. К. Скобелкиным. В этом центре выполнено свыше 700 лазерных вмешательств на органах брюшной полости, а по разработанным в нем методикам уже произведено более 3 тыс. аналогичных абдоминальных операций в других клиниках страны.

КАК ИЗВЕСТНО, брюшная полость включает в себя два типа органов: полые и паренхиматозные. К полым органам относятся пищевод, желудок, тонкая и толстая кишка, червеобразный отросток, желчный пузырь и желчные протоки. Эти органы характеризуются тем, что имеют просвет и поэтому содержат или пищевые массы (желудок и кишечник), или желчь (желчный пузырь, желчные протоки). К паренхиматозным органам относятся печень, поджелудочная железа и селезенка, т.е. массивные органы, два из которых содержат, помимо кровеносных сосудов, протоки для выведения желчи (печень) и панкреатического сока (поджелудочная железа).

Многие заболевания полых органов брюшной полости излечиваются благодаря удалению (резекции) всего орга-

на или его части. Такие вмешательства состоят из трех этапов. Сначала производят мобилизацию больного органа, например желудка, т.е. освобождение его от связей, кровеносных сосудов и сращений с соседними органами. Этот этап операции хорошо разработан и осуществляется с использованием обычных режущих инструментов — скальпеля и ножниц. Более сложным является второй этап, заключающийся в рассечении и вскрытии просвета больного органа. Третий этап состоит в восстановлении непрерывности желудочно-кишечного тракта, т.е. в анастомозировании (соединении) выше и ниже лежащих сегментов пищевода, желудка или кишки после резекции одного из этих органов или его части. Анастомоз должен быть прочным и непроницаемым для микробной флоры, находящейся в просвете полого органа. Проникновение микробов в брюшную полость сопровождается серьезными и опасными для жизни пациента осложнениями, такими, как перитонит или абсцессы брюшной полости. Микроорганизмы появляются в брюшной полости вследствие плохого заживления, или сращения, тканей анастомозируемых органов. Возникает так называемая несостоятельность швов анастомоза. Следующие важные требования к анастомозам: во-первых, способность активно участвовать в эвакуации содержимого органа в естественном (сверху вниз) направлении непосредственно после операции и, во-вторых, заживление без деформаций, рубцевания и сужений.

Учитывая такие серьезные требования, техника формирования анастомозов постоянно совершенствуется. Достаточно сказать, что к настоящему времени насчитывается несколько сотен различных методов наложения анастомозов, что вместе с тем свидетельствует об отсутствии оптимального метода. В последнее время хирургами СССР и США созданы механические сшивающие аппараты для опера-

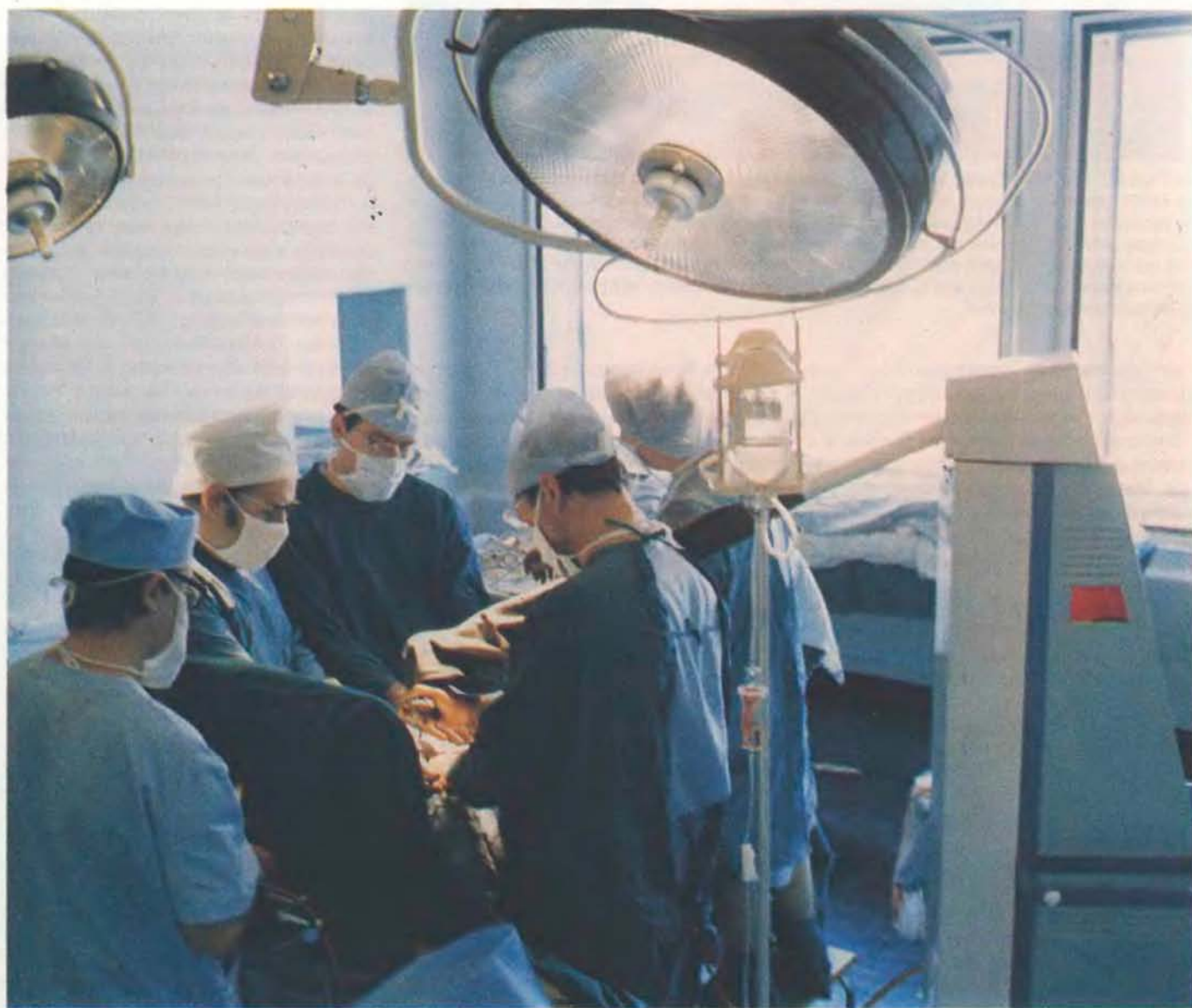
ции резекции органов брюшной полости и для наложения анастомозов. Однако механическому шву присущи определенные недостатки, поэтому в настоящее время абсолютное большинство хирургов формируют анастомозы с помощью «ручного» шва.

При выполнении второго этапа вмешательства, т.е. собственно резекции полого органа, обычными режущими инструментами возникают три проблемы. Первая — кровоточивость по линии рассечения стенки полого органа, вторая — образование микроскопических кровяных сгустков (микрогематом) в стенке органа вдоль линии рассечения и третья — инфицирование поверхности среза. Кровоточивость затрудняет работу хирурга, отнимает время на проведение кровоостанавливающих мероприятий (гемостаза); образование мик-

рогематом и инфицирование поверхности среза стенки полого органа ухудшает заживление тканей. Для решения этих проблем необходим хирургический инструмент, который обладал бы способностью рассекать ткани с одновременным гемостазом и стерилизацией линии рассечения. Таким инструментом оказался лазерный скальпель, обладающий выраженными режущими и гемостатическими свойствами.

Каковы же принципиальные отличия лазерного скальпеля от других хирургических инструментов и устройств? Во-первых, луч лазера воздействует на биологические ткани без прикосновения к ним механических частей аппарата; т.е. в отличие от режущих инструментов и электроножа лазер является бесконтактным хирургическим инструментом. Это качество гарантирует от

распространения микроорганизмов и злокачественных клеток. Во-вторых, луч лазера герметизирует кровеносные и лимфатические сосуды, т.е. обладает гемостатическим действием, следовательно, при использовании лазерной техники операция выполняется на «сухом» операционном поле и с меньшей кровопотерей. Одновременно снижается опасность распространения клеток злокачественных опухолей за пределы операционного поля по кровеносным и лимфатическим сосудам у онкологических больных. Кроме того, луч лазера стерилизует рану, что особенно ценно при хирургических вмешательствах в условиях гнойных и загрязненных ран. Важно также отметить, что зона некробиотических изменений рядом с линией разреза минимальна по сравнению с ранами, нанесенными режущими



ОПЕРАЦИОННАЯ базовой клиники Всесоюзного центра по применению лазеров в хирургии. Идет операция по поводу рака желудка. Лазерная установка «Скальпель-1» расположена справа от операционного стола, сзади оперирующего хирурга. От верхней ее части отходит лазерный шарнирный

светопровод. Луч лазера попадает по этому светопроводу в манипулятор, с помощью которого осуществляется наведение лазерного излучения на объект. Держа одной рукой манипулятор, хирург выполняет разрез биологических тканей в выбранной зоне операционного поля.



МОМЕНТ РАССЕЧЕНИЯ желудка лучом лазера. Желудок фиксирован зажимом. Хирург держит в руке манипулятор, откуда выходит лазерный луч, который рассекает стенку желудка, производя одновременно гемостаз и стерилизацию. Операционное поле почти свободно от крови. С помощью трубчатой насадки (видна на переднем плане) дымоотсосного устройства осуществляется отсос дыма, образующегося в результате взаимодействия лазерного излучения с облучаемой биологической тканью.

инструментами, электроножом или манипулятором криохирургического прибора. Этим объясняется, почему «лазерные» раны заживают быстро и с минимальной воспалительной реакцией. Не менее существенно и то, что луч лазера не оказывает влияния на высокочувствительные датчики медицинской электронной аппаратуры.

Для клинического применения в СССР разработано около 10 различных моделей лазерных медицинских установок на углекислом газе; к настоящему времени в медицинских учреждениях страны эксплуатируется более 400 лазеров. Наиболее широко распространены лазерные установки «Скальпель-1» и «Ромашка-2» мощностью до 50 Вт на выходе и «Ромашка-1» мощностью до 120 Вт.

Механизм действия лазерного излучения на биологические ткани заключается в их нагреве за счет поглощения этими тканями энергии излучения и проявляется в виде их испарения. В свою очередь степень нагрева тканей зависит от поверхностной плотности мощности лазерного луча, которая определяется двумя факторами — мощностью лазерной установки и диаметром лазерного луча или, как это принято в специальной терминологии, диа-

метром «светового пятна». Мощность лазерной установки регулируется сменной диафрагм, диаметр светового пятна изменяется приближением манипулятора к объекту или удалением от него.

Разрез биологической ткани осуществляется сфокусированным лазерным излучением за счет ее послышного испарения. При мощности излучения 20 Вт и диаметре сфокусированного пучка 1 мм достигается поверхностная плотность мощности $2,5 \text{ кВт/см}^2$. Толщина слоя ткани, на который действует излучение CO_2 -лазера указанной мощности, составляет около 50 мкм. С учетом такой глубины проникновения лазерного излучения объемная плотность мощности лазерного излучения составляет 500 кВт/см^3 , что обеспечивает быстрый, практически мгновенный нагрев и испарение ткани в зоне воздействия лазерного луча, где температура достигает нескольких сотен градусов. Глубина разреза определяется продолжительностью экспозиции. Толщина слоя некротических изменений на стенках разреза биологической ткани составляет 200 — 600 мкм.

УЧИТЫВАЯ описанные выше положительные стороны лазерного скальпеля как хирургического инстру-

мента, хирургами Европы, США и Японии были предприняты многочисленные попытки применить его для рассечения стенок полых органов брюшной полости. Рассечение биологических тканей осуществлялось оперирующим хирургом за счет приближительной фокусировки и свободного перемещения светового пятна лазерного луча по биологической ткани. Хирург перемещал луч вдоль намеченной линии разреза, визуально контролируя глубину фокусировки и скорость перемещения луча. Глубина разреза при таком способе определяется глубиной фокусировки, зависящей от расстояния между оконечной выходной частью светопровода и поверхностью оперируемого органа, а также скоростью перемещения луча вдоль линии разреза и свойствами рассекаемых тканей.

Указанный способ рассечения биологических тканей имеет ряд недостатков. Один из них заключается в том, что при рассечении возможно инфицирование поверхности разреза содержимым оперируемого полого органа, что не позволяет использовать в полной мере асептическое действие лазерного излучателя. При таком способе разреза не всегда удается выполнить бескровное рассечение органов, особенно таких насыщенных сосудами, какими являются, например, желудок и кишечник. Рассечение кровеносных сосудов среднего и крупного калибров лазерным лучом вызывает обильное кровотечение; излившаяся кровь экранирует рассекаемую биологическую ткань от лазерного излучения и делает невозможным ее дальнейшее рассечение и коагуляцию. Кроме того, при использовании такого метода постоянно существует опасность поражения нижележащих органов.

Увеличение мощности лазеров до 100 — 150 Вт позволяет добиться эффекта бескровного рассечения тканей, но за счет образования вдоль линии среза обширной, до 5 мм, зоны ожога тканей, так называемой зоны коагуляционного некроза. Это является причиной неудовлетворительного сращения тканей анастомоза. Результаты выполненных с лазером операций на желудке и кишечнике не имели преимуществ перед обычно применяемыми методами.

ПОЛОЖЕНИЕ с лазерной резекционной хирургией полых органов брюшной полости изменилось после того, как в 1973 г. советские хирурги (О. К. Скобелкин с сотрудниками) предложили новые принципы лазерной абдоминальной хирургии. Было установлено, что временное прекращение кровообращения вдоль линии разреза позволяет осуществить рассечение тканей с одновременной лазерной, или «биологической», сваркой при мощно-

сти лазерного излучения всего 15 — 25 Вт. Эффект биологической сварки особенно ценен в хирургии желудка и кишечника. Легкая спайка за счет поверхностной коагуляции тканей удерживает на одном уровне разные слои раны (серозная и слизистая оболочки, мышечный слой). Такое качество разреза создает оптимальные условия для выполнения наиболее трудоемкой и ответственной части операции — сшивание раны или наложение соустья. Этот этап операции протекает в условиях хорошей видимости без загрязнения операционного поля кровью. Значительно меньше травмируются края кишки в зоне анастомоза, так как нет необходимости в «осушивании» этой зоны и гемостатических мероприятиях. Кроме того, зона коагуляционного некроза, возникающая на поверхности лазерного разреза, играет роль биологического барьера, препятствующего проникновению инфекции в морфологически сохраненные ткани.

С целью обеспечения бескровного асептического рассечения стенки полого органа был предложен оригинальный способ лазерного рассечения биологических тканей. Другие цели разработки этого способа — при минимальной подводимой мощности лазерного излучения увеличить в несколько раз скорости рассечения биологических тканей, а также устранить обугливание, уменьшить толщину некрозоны в 2—4 раза на стенках разреза оперируемого органа, экранировать от повреждения рядом расположенные и нижележащие стенки здоровых органов.

Новый способ лазерного рассечения биологических тканей заключается в том, что одну или обе (в зависимости от характера операции) стенки оперируемого полого органа сжимают между браншами специально сконструированного зажима. При этом достигается дозированная степень сжатия. После этого производят рассечение оперируемого органа сфокусированным лазерным лучом по полосе сжатия вдоль жестко фиксированной линии разреза.

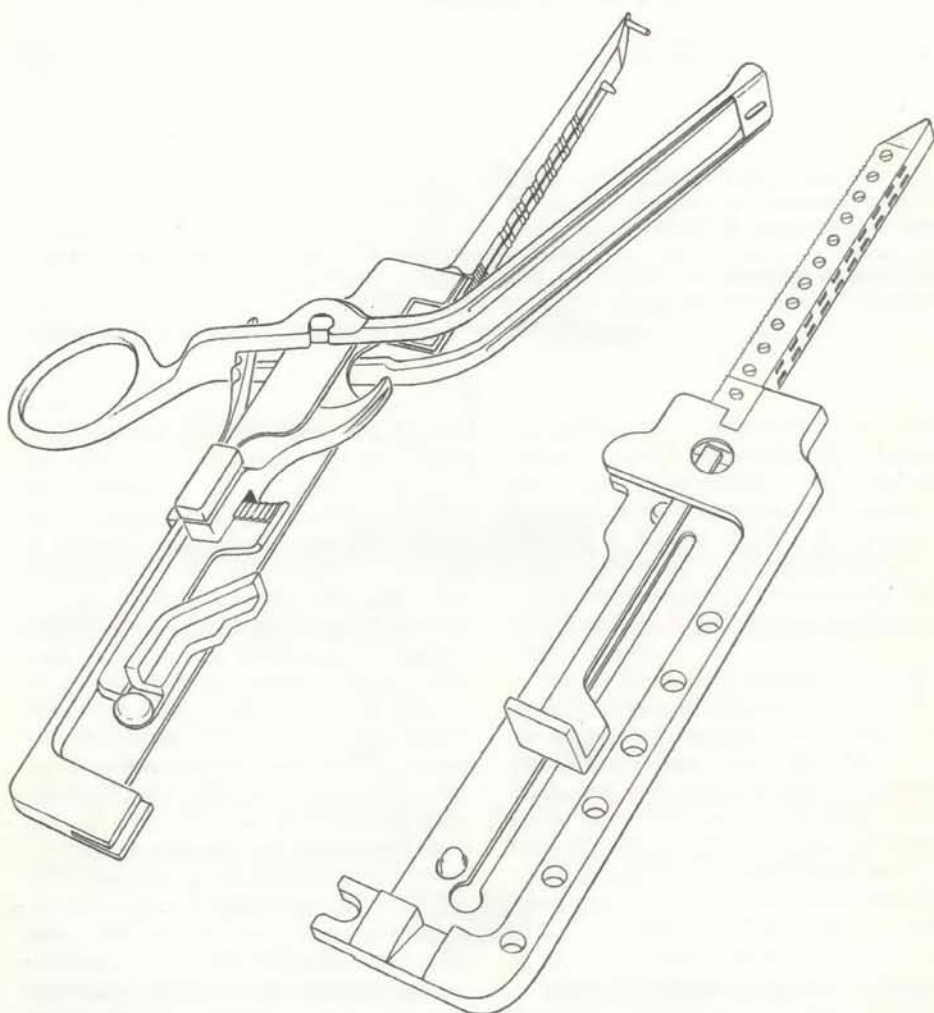
Нами были разработаны инструменты для лазерных операций на различных органах брюшной полости. Для исключения опасности отражения лазерного луча инструменты выпускаются с покрытием черного цвета. Их конструкция позволяет избежать такого осложнения лазерной хирургии, как непреднамеренное повреждение ниже или рядом расположенных тканей и органов. Это достигается тем, что задняя бранша каждого инструмента является цельной и играет роль экрана для лазерного луча. Компрессия тканей достигается за счет сдавливания их этими металлическими инструментами, в результате происходит обескровливание узкой полоски стенки органа, но без механического поврежде-

ния ее. Более того, конструкция инструментов позволяет производить, помимо сдавливания, растяжение тканей, что еще более усиливает гемостатический эффект и ускоряет процесс рассечения.

Хирургические вмешательства на полых органах желудочно-кишечного тракта сопровождаются вскрытием их просвета и, следовательно, той или иной степенью микробного загрязнения брюшной полости. Предложенные в СССР и за рубежом для предупреждения этого осложнения механические сшивающие аппараты позволяют уменьшить степень микробного инфицирования операционного поля. Однако, как показали проведенные нами специальные исследования, механический шов не всегда обладает механической герметичностью, биологическая же его герметичность, под которой понимается устойчивость к проникновению микробов из просвета полого органа в брюшную полость, при механической герметичности почти всегда отсутствует. Для применения лазерной техники нами были созданы новые и

модифицированы серийные механические сшивающие аппараты, в которых также используется принцип дозированной компрессии тканей перед их рассечением лазерным лучом. Это аппараты для операций на желудке и кишечнике. Принцип работы лазерных механических сшивающих аппаратов заключается в следующем: сначала производят прошивание стенки полого органа танталовыми скобками, затем вдоль линии шва с обеих сторон достигается компрессия тканей рамкой — составной частью аппарата, — после чего лазерным лучом выполняют рассечение стенки органа между рядами наложенных скобок. Рассеченная лучом лазером стенка стерильна, герметична механически и биологически, не кровоточит. Тонкая пленка коагуляционного некроза вдоль линии разреза препятствует проникновению микробов в глубь тканей.

Для эффективного использования лазерного скальпеля в сочетании с лазерными инструментами и сшивающими аппаратами были разработаны оригинальные методы операций на полых



СКОБОЧНЫЙ ШИВАЮЩИЙ АППАРАТ НЖКА-60 отечественного производства, модифицированный авторами статьи для применения с лазерными хирургическими установками.

органах. Опыт ВЦПЛХ и других лечебных учреждений, использующих эти методы, основанный на статистическом материале более 2 тыс. вмешательств, позволил прийти к заключению, что лазерные операции в отличие от традиционных сопровождаются в 2—4 раза меньшим количеством осложнений и в 1,5—3 раза меньшим числом летальных исходов. Кроме то-

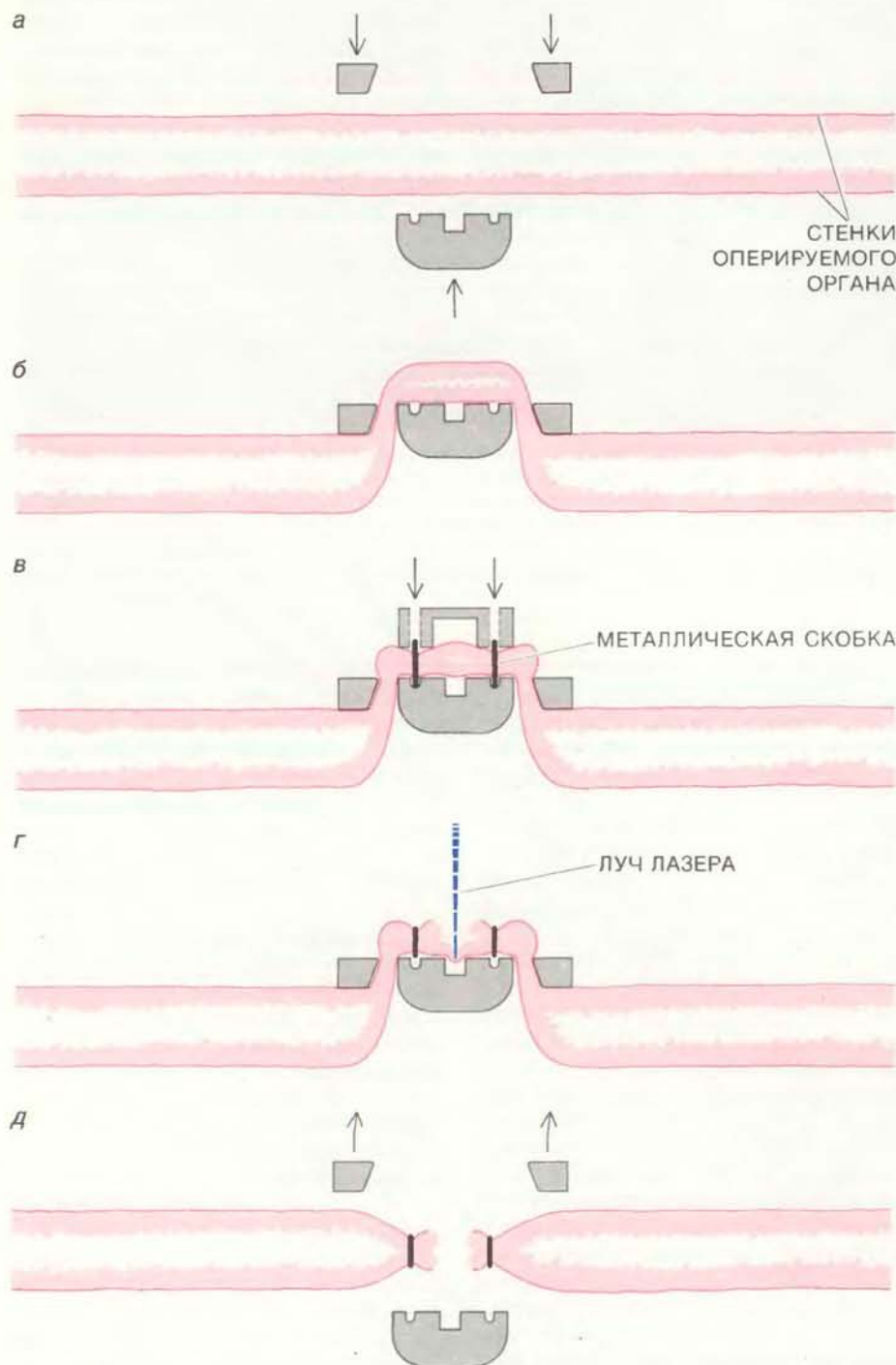
го, при использовании лазерной техники заметно улучшены отдаленные результаты хирургического лечения.

В ЧЕМ ЖЕ конкретно заключаются преимущества лазерных хирургических вмешательств? Для ответа на этот вопрос были проанализированы результаты операций у больных, оперированных на желудке и кишечнике.

Выполнялись 3 вида операций: гастрэктомия, резекция желудка и резекция толстой кишки. Больные, оперированные с лазером, составили основные группы для каждого вида операций, а традиционными методами — контрольные группы. Основные и контрольные группы были рандомизированы, т.е. сравнимы по основным характеристикам: возрасту и полу больных, диагнозу и объему выполненного вмешательства. Хирургические вмешательства, как с лазером, так и без него выполнялись в один и тот же период (1978—1981 гг.) и одними и теми же хирургами.

Одной из наиболее сложных операций на органах брюшной полости является удаление всего желудка, т.е. гастрэктомия. В подавляющем большинстве случаев эта операция выполняется по поводу рака желудка с локализацией опухоли преимущественно в средней его части или верхней трети. Осложнения гастрэктомии довольно разнообразны, среди них можно выделить специфические (хирургические) и неспецифические (терапевтические, или общесоматические) осложнения. Среди хирургических осложнений гастрэктомии наиболее опасны расхождение, или недостаточность, швов анастомоза между пищеводом и тонкой кишкой, кровотечения и воспаление поджелудочной железы (панкреатит). Состояние больного также может ухудшиться из-за развития воспаления в области анастомоза — анастомозит а

Как показали исследования, гастрэктомия с применением лазера сопровождается значительно меньшим числом осложнений, непосредственно связанных с хирургической техникой (см. рис. на с. 54). В этих исследованиях основная группа состояла из 34 больных, а контрольная — из 92 больных. После такой сложной операции нередко возникают осложнения со стороны дыхательной и сердечно-сосудистой систем. Это общесоматические осложнения, которые можно рассматривать как неспецифические. Такие осложнения развились у 24% больных основной группы и у 42% больных контрольной. В последней группе от этих осложнений умерло 5% больных. Необходимо отметить, что число больных с развившимися осложнениями в обеих группах было меньше общего числа осложнений за счет того, что у некоторых больных зарегистрировано по два осложнения одновременно. Так, в основной группе специфические и неспецифические осложнения развились у 26% больных, в то время как в контрольной, где лазер не применяли, у 41%. Вполне очевидно, что частота неспецифических осложнений также, хотя и в меньшей степени, зависит от качества хирургической техники, т.е. чем технически совершеннее и быстрее выполнено вмешательство, тем меньше выражена



СХЕМАТИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ применения скобочного швающего аппарата при операциях на полых органах брюшной полости с использованием лазера. а — наложение инструмента на оперируемый орган; б — закрытие инструмента, чем достигается компрессия тканей с временным прекращением кровотока в них; в — прошивание тканей двумя рядами металлических скобок; г — рассечение органа лучом лазера; д — снятие инструмента.

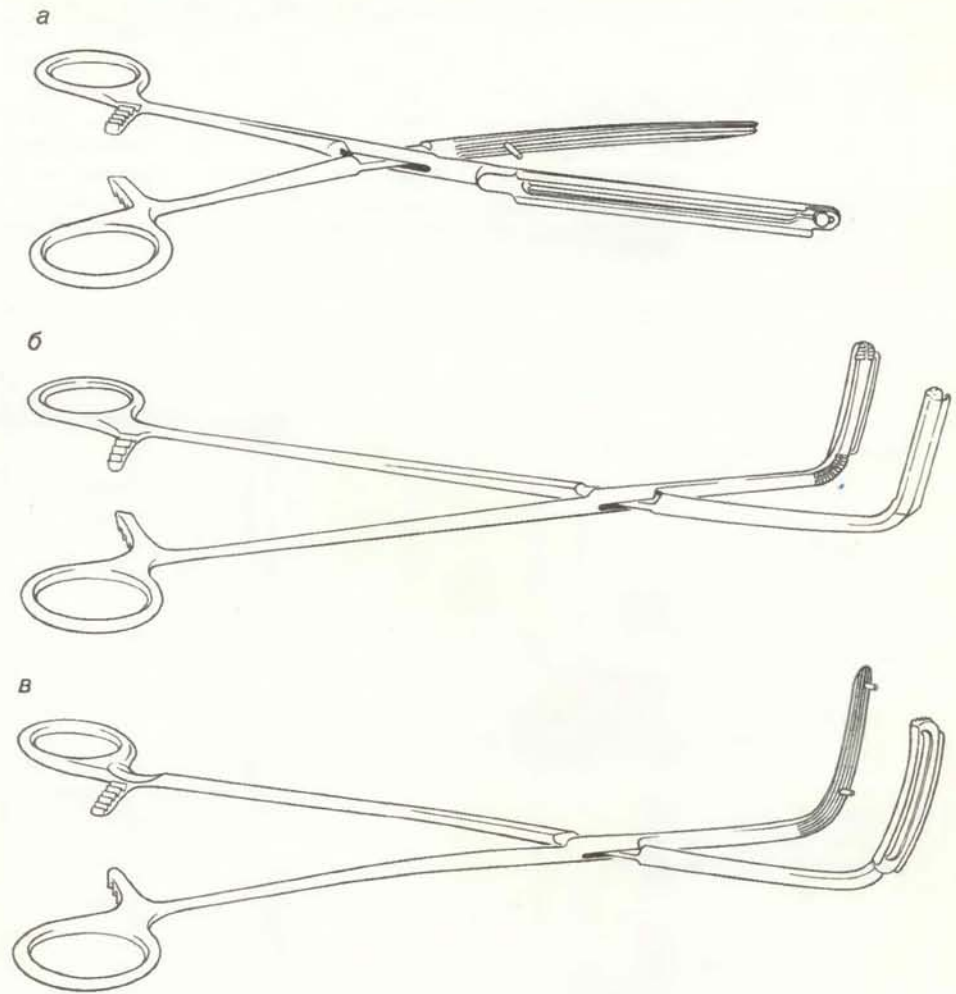
неблагоприятная реакция на операцию со стороны основных жизненно важных систем организма.

Как показал анализ, из семнадцати больных, умерших в контрольной группе, у девяти гастрэктомия сочеталась с резекцией одного или двух соседних с желудком органов (печени, поджелудочной железы, толстой кишки), также пораженных опухолевым процессом, что, естественно, значительно ухудшало прогноз вмешательства. В основной группе больных все этапы вмешательства, включая операции на других органах, выполнены с лазером. Именно применение лазерного излучения, особенно для резекции печени и поджелудочной железы, позволило избежать тяжелых, смертельно опасных осложнений.

Важным критерием эффективности хирургической техники является сравнительная оценка результатов различных методов в отдаленные сроки после операции. К наиболее частым осложнениям гастрэктомии в эти сроки относятся рефлюкс-эзофагит и стеноз (сужение просвета) анастомоза. Рефлюкс-эзофагит возникает вследствие забрасывания содержимого кишечника в пищевод и характеризуется воспалительной реакцией слизистой оболочки пищевода. Стеноз анастомоза — это сужение просвета до такой степени, что возникают затруднения для прохождения пищи из пищевода в кишечник. Стеноз пищеводно-кишечного анастомоза нередко развивается как следствие рефлюкс-эзофагита.

В отдаленные сроки, от 2 до 5 лет, обследованы 43 больных, оперированных без лазера, из них у нескольких человек выявлен рефлюкс-эзофагит различной степени и у одного больного — стеноз анастомоза. В группе больных, оперированных с лазером, таких осложнений не зарегистрировано.

Оценка результатов частичных дистальных резекций желудка также произведена в рандомизированных группах больных. Дистальными резекции называются потому, что при этих вмешательствах удаляются нижние отделы желудка. Частичная резекция, далее называемая резекцией желудка, выполняется по поводу злокачественных и доброкачественных опухолей этого органа, хронических язв его и двенадцатиперстной кишки. При злокачественных опухолях желудка задача вмешательства заключается в удалении опухоли в пределах неизмененных тканей, при этом обычно резецируется 65-85% органа. Для лечения доброкачественных опухолей и хронических язв желудка удаляют несколько меньшую массу органа — от 50% до 70%, при хронических язвах двенадцатиперстной кишки резецируют кислотопродуцирующую зону желудка — около 75%. Однако показания к резекции желудка при этом



ЛАЗЕРНЫЕ ХИРУРГИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ при использовании их с установкой типа «Скальпель-1» значительно увеличивают скорость рассечения биологических тканей. На рисунке показаны лазерные хирургические зажимы, разработанные авторами статьи. а — универсальный; б — для резекции пищевода; в — для резекции прямой кишки. В одной из губок каждого зажима имеется направляющая планка со сквозным пазом, который предназначен для подведения лазерного излучения к зажатой биологической ткани.

заболевания в последнее время ставятся относительно редко, так как такой же результат, т.е. излечение, достигается при помощи менее травматичной и опасной операции — денервации желудка.

Осложнения резекции желудка, связанные с техникой ее выполнения, такие же, как и в гастрэктомии. Однако у больных, оперируемых по поводу язвы двенадцатиперстной кишки, в связи с трудностями зашивания этой кишки из-за наличия язвы, иногда возникает недостаточность швов культи кишки. На рисунке на с. 55 представлены результаты резекции желудка в основной (189 больных) и контрольной (165 больных) группах. Учитывая в целом типичные осложнения резекции желудка при различных его заболеваниях (рак, язва желудка, язва двенадцатиперстной кишки), статистические данные решено суммировать. Согласно этим данным, количество специфических осложнений и связанных с ними летальных исходов в

основной группе примерно в 2 — 3 раза меньше, чем в контрольной. Неспецифические осложнения со стороны сердечно-сосудистой и дыхательной систем в основной группе развились у 4,7% больных, в контрольной — у 6,7%. В основной группе от этих осложнений умерло 1% больных, в контрольной — 1,2%.

У трех больных основной группы и у пяти контрольной было сочетание одного специфического осложнения с одним неспецифическим, поэтому среди больных, оперированных с лазером, число больных с осложнениями составило 12,7%, а среди больных, оперированных обычными режущими инструментами, — 30,5%. В общей сложности в основной группе умерло 3,2% больных, в контрольной — 5%.

У девяти больных основной группы и у семи контрольной резекция желудка сочеталась с резекцией печени, поджелудочной железы или толстой кишки, т.е. им были выполнены комбиниро-



ГАСТРЭКТОМИЯ — одна из наиболее сложных и опасных операций на органах брюшной полости. Как показали статистические исследования, эта операция, выполненная с лазером, сопровождается меньшим числом специфических осложнений (23,2%) по сравнению с обычным способом оперирования (48,9% осложнений). Соответственно и различие в летальности — 0 и 13,0%. В этих исследованиях основная группа (красный цвет) состояла из 34 больных, контрольная группа (синий цвет) — из 92 больных. Черной штриховкой показано количество умерших больных в контрольной группе. Приведенные статистические данные подтверждают преимущества лазерной техники с использованием созданных в ВЦПЛХ инструментов для формирования анастомоза пищевода с кишкой.

ванные вмешательства. После комбинированных операций умерло трое больных в контрольной группе, из них двое от специфических осложнений и один от тромбоэмболического осложнения.

В отдаленные после хирургического вмешательства сроки, от 2 до 5 лет, обследованы 186 больных, из них 102 из основной группы и 84 из контрольной. В основной группе из 102 больных у 94 (92%) результат вмешательства оценен как хороший или удовлетворительный и только у восьми больных выявлены различные осложнения, требующие си-

стематического проведения медикаментозной терапии. В контрольной группе излечение достигнуто у 71 больного из 84 (85%), у тринадцати больных регулярно проводится поддерживающая медикаментозная терапия. Неудовлетворительные результаты резекций желудка в отдаленные сроки являются следствием нарушений ритма и скорости эвакуации пищевых масс из культи желудка через анастомоз в кишку. Чем точнее хирургическая техника формирования анастомоза, чем меньше травматичность этого этапа вмешательства, тем лучше функции

анастомоза и тем реже возникают нарушения эвакуации. В этом отношении более эффективны операции с лазером, сопровождающиеся примерно в два раза меньшим количеством неудовлетворительных результатов (8%) по сравнению с вмешательствами, выполненными традиционными режущими хирургическими инструментами (15%).

Технически сложными являются операции на толстой кишке при ее злокачественных опухолях. Хирургические вмешательства по поводу рака толстой кишки заключаются в резекции пораженного участка кишки с восстановлением ее непрерывности формированием анастомоза. Кровоснабжение в толстой кишке хуже, чем в желудке и тонкой кишке, поэтому заживление толстокишечных анастомозов происходит медленнее и с меньшей надежностью. Несостоятельность швов толстокишечных анастомозов наблюдается в 2-4 раза чаще, чем швов анастомозов между культей желудка и тонкой кишкой после резекции желудка. В хирургии толстой кишки особое значение приобретают аккуратность и точность хирургической техники, здесь все исключительно важно: бескровность и асептичность разреза, прецизионное сопоставление шиваемых слоев анастомозируемых сегментов кишки, наложение прочных швов, не нарушающих местное кровообращение в тканях. Поставленным задачам в наилучшей степени отвечает использование лазерной техники.

В клинических условиях резекция части толстой кишки в пределах от 15 до 55% ее длины с одновременным наложением анастомоза выполнена у 109 больных. У 56 больных для пересечения кишки был использован лазерный луч (основная группа) и у 53 — режущие инструменты (контрольная группа).

Количество специфических осложнений в группе больных, оперированных с лазером, оказалось почти в 3 раза меньше, чем в контрольной, а количество летальных исходов — в 2,5 раза меньше (см. верхний рис. на с. 56).

Неспецифические осложнения (пневмония, острая сердечно-сосудистая недостаточность, тромбоэмболия легочной артерии) в контрольной группе развились у 15% больных, 5,7% больных умерло от этих осложнений. В основной группе неспецифические осложнения развились у 3,6% больных, но без летальных исходов.

У одного больного в основной группе и у трех больных в контрольной было сочетание одного из специфических осложнений с одним из неспецифических. Всего же число больных с возникшими осложнениями среди больных основной группы составило 10,6%, а число умерших — 3,6%. В контрольной группе осложнения возникли у 35,8%, а летальные исходы составили 15%.

При обследовании в отдаленные сроки, от 2 до 5 лет, в основной и контрольной группах оперированных каких-либо патологических нарушений со стороны анастомозов (сужение просвета анастомоза, нарушение пассажа кишечного содержимого) не обнаружено.

Онкологи интересуют, имеют ли лазерные операции на желудке и кишечнике какие-либо преимущества перед обычными с позиций радикальности вмешательства у больных раком этих органов? Чтобы ответить на этот вопрос, нужны дальнейшие исследования на большем статистическом материале. Согласно полученным нами данным, выживаемость больных раком в основных и контрольных группах почти одинакова. Это естественно, так как радикальность вмешательства зависит прежде всего от своевременного выполнения операции, достаточного ее объема и опыта хирурга. Применение тех или иных инструментов не играет, по видимому, существенной роли.

Вместе с тем, использование лазерной техники, как это продемонстрировано выше, позволило значительно уменьшить количество специфических осложнений, характерных для того или иного вида операций. Более того, выявлено, что после лазерных вмешательств реже возникают и неспецифические осложнения, отражающие степень травматичности операции, ее продолжительность, объем кровопотери, продолжительность восстановления функций оперированных органов.

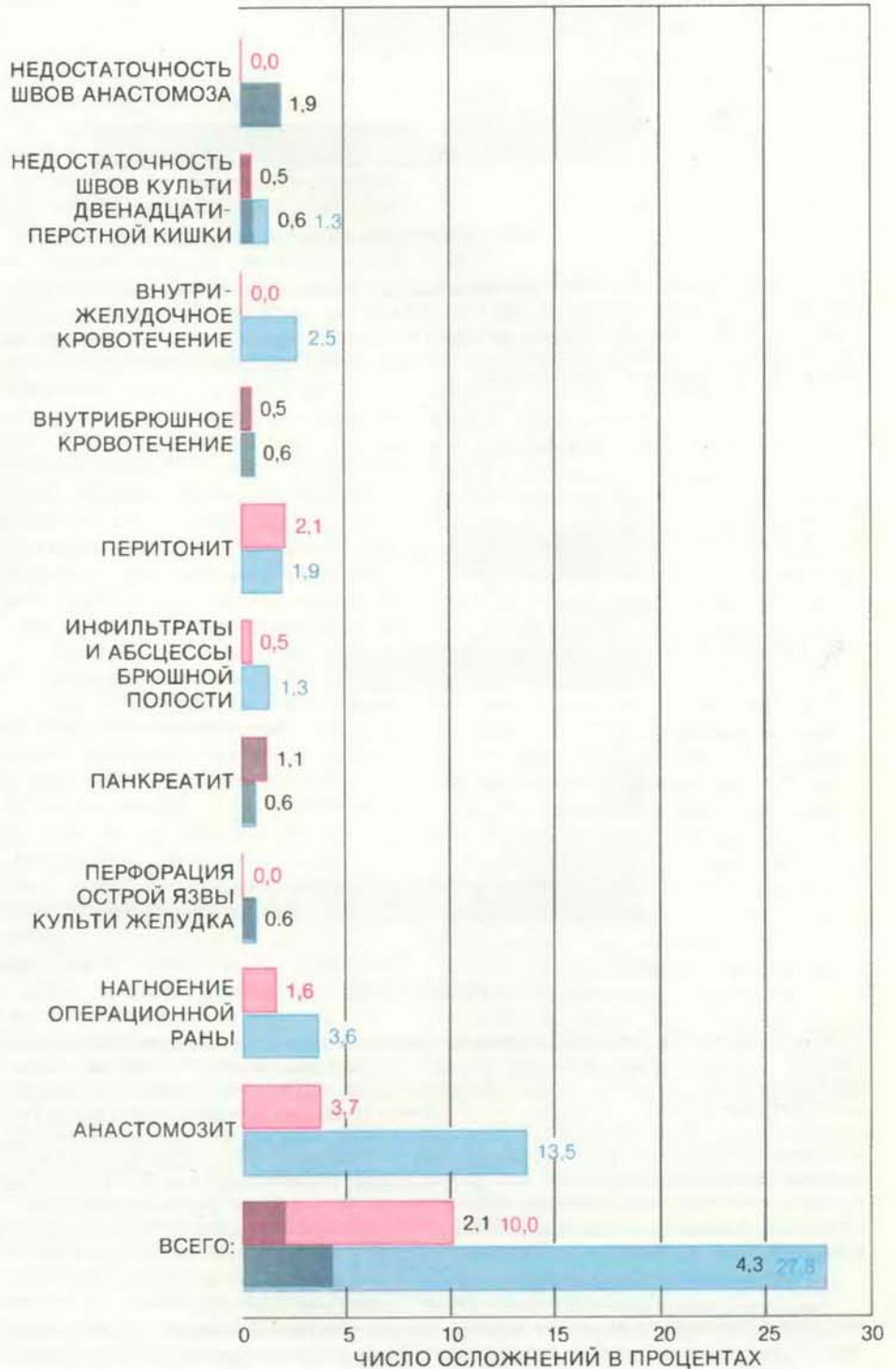
Среди специфических осложнений целесообразно выделить те, которые непосредственно зависят от второго и третьего этапов операции, т.е. от качества формирования анастомоза. К этим осложнениям относятся: недостаточность швов анастомоза, анастомозит и кровотечения из швов анастомоза в просвет полого органа. В результате суммирования данных по трем видам операций (см. рис. на с. 56) на полых органах желудочно-кишечного тракта: гастрэктомии, резекции желудка и резекции толстой кишки, было установлено, что применение лазерных методов при формировании анастомозов позволило снизить число хирургических осложнений с 17,4 до 3,5%, т.е. примерно в 5 раз, а летальных исходов с 4,5 до 0,7%, более чем в 6 раз. Особенно важно подчеркнуть то обстоятельство, что летальность снижена за счет уменьшения числа случаев несостоятельности анастомозов, одного из самых грозных осложнений хирургических вмешательств в гастроинтестинальной хирургии.

Есть косвенный, но информативный показатель качества хирургической техники, а именно число случаев нагноений операционной раны. Чем меньше содержимого полых органов в процессе хирургического вмешательства по-

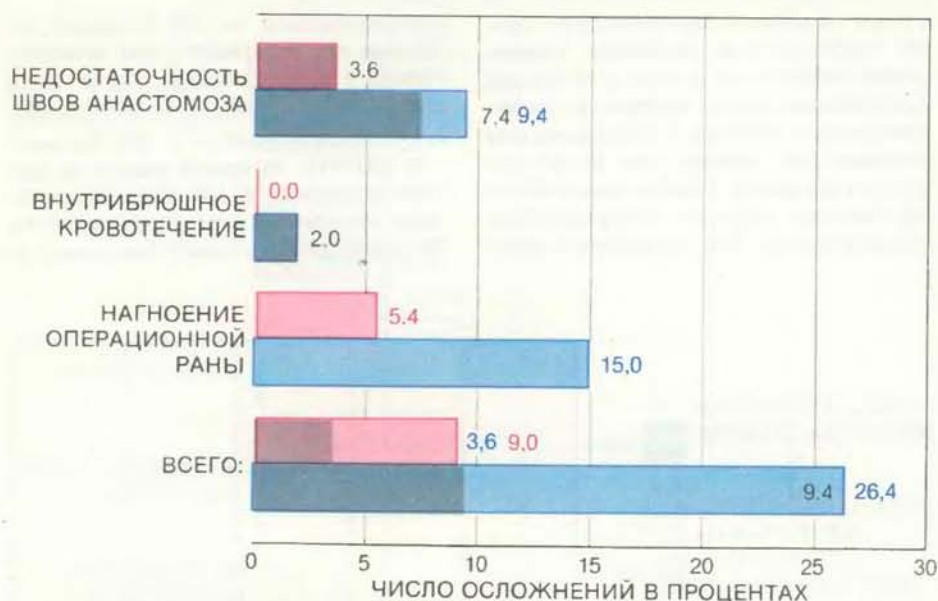
ступает в область операции, тем меньше вероятность ее нагноения. Применение лазерного излучения в сочетании с созданными нами лазерными хирургическими зажимами и механическими сшивающими аппаратами позволило резко уменьшить степень микробного загрязнения области хирургического вмешательства. Так, в основной группе

(суммированной — 279 больных) нагноение операционной раны возникло только у 3,2% больных, тогда как в контрольной (также суммированной, 310 оперированных) — у 8% больных.

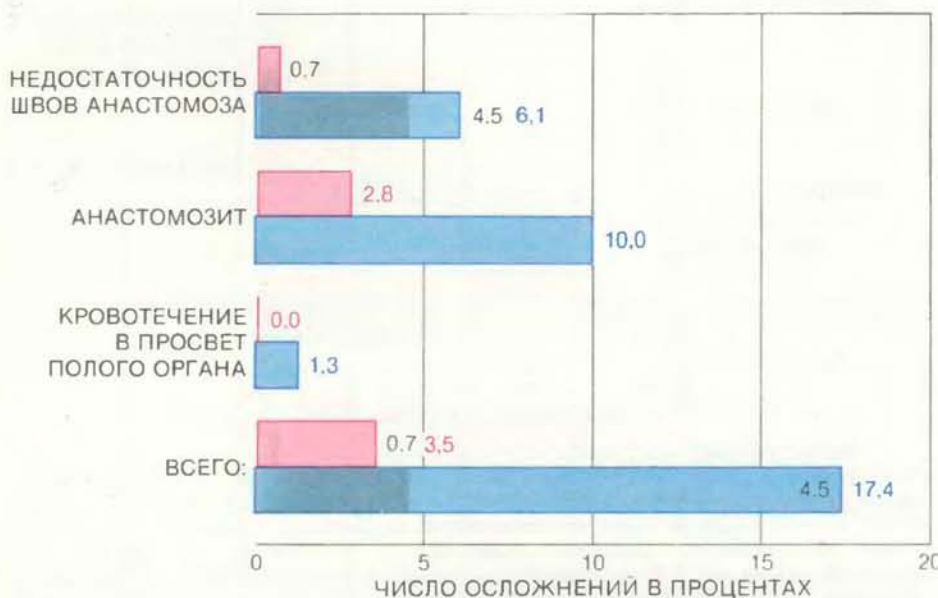
В ВЦПЛХ лазерный скальпель широко применяется для удаления желчного пузыря по поводу холецистита. Эта операция протекает бескровно, а в



РЕЗУЛЬТАТЫ РЕЗЕКЦИИ ЖЕЛУДКА в основной (красный цвет) и контрольной (синий цвет) группах. В основной группе было 189 больных, в контрольной — 165. Согласно представленным данным, общее число специфических осложнений и летальных исходов (показано черной штриховкой) в контрольной группе составило 27,8 и 4,3% соответственно, а в основной — 10,0 и 2,1% соответственно, т.е. было примерно в 2—3 раза меньше.



ПОСЛЕ РЕЗЕКЦИИ ТОЛСТОЙ КИШКИ специфические осложнения в контрольной группе (синий цвет) развились у 26,4% больных, а в основной группе (красный цвет) — у 9% больных. Летальных исходов (показано черной штриховкой) в основной группе, состоявшей из 56 больных, было примерно в 2,5 раза меньше, чем в контрольной, состоявшей из 53 больных.



СУММИРОВАННЫЕ ДАННЫЕ по трем видам операций на полых органах брюшной полости: гастрэктомии, резекции желудка и резекции толстой кишки. Из специфических осложнений выделены те, которые непосредственно зависят от второго и третьего этапов операции, т.е. от качества формирования анастомоза. Основную группу (красный цвет) составили больные, оперированные с лазером (279 человек), контрольную группу (синий цвет) — больные, оперированные традиционными режущими инструментами (310 человек). Применение лазерных методов при формировании анастомозов позволило снизить число хирургических осложнений с 17,4 до 3,5%, т.е. примерно в 5 раз, а летальных исходов (показано черной штриховкой) — с 4,5 до 0,7%, более чем в 6 раз.

послеоперационном периоде не наблюдается подтекания желчи в брюшную полость из ложа удаленного желчного пузыря, что нередко возникает после холецистэктомии острым путем. Нами разработаны также лазерные методы с использованием лазерных инструментов наложения анастомозов между желчными протоками и полыми орга-

нами желудочно-кишечного тракта для лечения или профилактики механической желтухи. В общей сложности оперированы 79 больных, ни у одного из них не возникло хирургических осложнений. В контрольной группе из 66 больных кровотечение в послеоперационном периоде зарегистрировано у одного и длительное желчеистечение у

трех больных. Летальных исходов в обеих группах не было.

В КЛИНИЧЕСКОЙ практике приходится прибегать к вмешательствам на паренхиматозных органах брюшной полости — печени, поджелудочной железе и селезенке. Эти органы насыщены кровеносными сосудами, что делает проблему гемостаза особенно острой. При вмешательствах на этих органах (всего нами выполнено 27 операций) сначала перевязываем наиболее крупные сосуды или прошиваем ткань органа механическими сшивающими аппаратами. Кровотечение из сосудов мелкого и среднего калибра останавливаем аппликацией расфокусированного луча CO_2 -или гранатового лазера. Этот метод гемостаза наиболее эффективен при резекциях печени любого объема и ранениях селезенки. Луч CO_2 -лазера применяется нами для резекции поджелудочной железы с предварительной компрессией ее ткани описанными в начале статьи лазерными хирургическими зажимами, модифицированными для этого вмешательства. В резекционной хирургии печени и поджелудочной железы представляет особое практическое значение свойство лазерного луча герметизировать выводные протоки этих органов. Как показал клинический опыт, применение лазерной техники при хирургических вмешательствах на печени и поджелудочной железе исключает развитие осложнений, таких, как перитонит и формирование абсцессов брюшной полости, желчных и панкреатических свищей, благодаря предупреждению истечения в брюшную полость желчи и ферментативно активного сока поджелудочной железы. Все больные, оперированные с лазером, выздоровели без хирургических осложнений в послеоперационный период. В контрольных группах число осложнений находилось в пределах 17 — 29%, а летальность — от 8 до 13%.

Во Всесоюзном центре по применению лазеров в хирургии, где работают авторы данной статьи, лазерное излучение применяется также в кожно-пластической и гнойной хирургии, в хирургии ожогов и для фотокоагуляции опухолевых заболеваний желудочно-кишечного тракта, для остановки острых желудочно-кишечных кровотечений.

Перспективными представляются наши клинические исследования по использованию лазерного излучения в хирургии нарушений ритма сердца, т.е. операции на проводящей системе сердца. В последнее время сотрудниками центра проведены экспериментальные исследования по применению импульсного лазерного излучения для лечения ишемической болезни сердца и для профилактики инфаркта миокарда.

Наука и общество

Посланец с Луны

В НАЧАЛЕ 1970 г. впервые обнаружилось, что льды Антарктиды способны длительно сохранять метеориты, подвергающиеся разрушению в других районах Земли. С тех пор ежегодные антарктические экспедиции добавили тысячи образцов внеземных горных пород в мировую коллекцию метеоритов. Один из них, получивший обозначение ALHA 81005, вызвал особый интерес у специалистов по метеоритам с момента своего обнаружения в январе 1982 г. в районе Аллан-Хиллз. Из статей, опубликованных в специальном выпуске журнала «Geophysical Research Letters», становится ясно, почему это так. Дело в том, что исследователи уверены, что этот невзрачный камень массой всего 31 г и размером 3 см в поперечнике — первый известный метеорит с Луны.

Что же о нем известно? Прежде всего, метеорит ALHA 81005 *выглядит* так же, как образцы лунных пород, доставленных экспедициями «Аполлона». Его тонкозернистая структура и стекловатые бурые составляющие показывают, что это брекчия (порода, сложенная разнородными фрагментами), типичная для лунного реголита (поверхностного слоя, образовавшегося под действием метеоритной бомбардировки). По минеральному составу он также сходен с известными образцами лунных пород и совсем не похож на другие метеориты, содержащие приблизительно 75% плагиоклаза (силиката алюминия и кальция). Надежные свидетельства в пользу лунного происхождения получены из данных химического и физического анализов. Отношение содержания железа к марганцу, относительное содержание трех изотопов кислорода, высокая концентрация захваченных инертных газов, таких, как гелий и аргон, — все это отличает ALHA 81005 от обычных метеоритов. Кроме того, наличие инертных газов доказывает, что порода не является земной. Газы могут быть внедрены в породу только из солнечного ветра, не достигающего защищенной атмосферой земной поверхности.

Однако, что еще интереснее, порода не полностью идентична известным лунным образцам. По-видимому, она происходит из областей Луны, не посещавшихся ни американскими пилотируемыми космическими кораблями «Аполлон», ни советскими автоматическими межпланетными станциями серии «Луна», которые опускались на поверхность Луны в центральной части видимого полушария. Основным аргументом для такого вывода является практическое отсутствие в метеори-

те KREEP-элементов (устойчивой совокупности калия, редкоземельных элементов и фосфора), которые в виде постоянных примесей были найдены в большинстве образцов, доставленных «Аполлонами» и «Лунами». Согласно мнению К. Питерса и его коллег из Университета Брауна, дистанционные данные по лунной геохимии (полученные с установленных на двух кораблях «Аполлон» рентгеновских и гамма-спектрометров) позволяют предположить, что метеорит ALHA 81005 появился либо с обратной стороны Луны, либо с края ее видимой стороны.

Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства (НАСА) дало разрешение группе ученых, возглавляемой К. Кейлом из Университета шт. Нью-Мексико, взять 10 г метеорита для более детального изучения его химического состава. Кейл сообщает об идентификации в нем «древних» фрагментов, т.е. частей, которые не переплавились и «радиоактивные часы» которых не переводились с тех пор, как минералы впервые кристаллизовались в лунной магме. Радиоактивная датировка первичных фрагментов дает возможность определить их возраст. Метеорит ALHA 81005 мог бы, таким образом, пролить свет на раннюю историю лунной коры, которая, как полагают, сформировалась около 4,5 млрд. лет назад. Кейл отмечает, что такие счастливые возможности редки: возрасты кристаллизации определены только для нескольких лунных образцов.

Метеорит ALHA 81005 может оказать влияние на решение проблемы 8 загадочных объектов, известных в науке как ШНШ-метеориты (от названий метеоритов Шерготти, Накла, Шассиньи). Большинство прочих метеоритов кристаллизовалось 4,5 млрд. лет назад, что, по-видимому, говорит об их происхождении от астероидов — единственных тел, которые достаточно малы, чтобы остыть вскоре после образования Солнечной системы. Возраст же ШНШ-метеоритов не превышает 1,3 млрд. лет. Следовательно, они произошли от тел, существенно более крупных и достаточно теплоемких, чтобы сохранить вулканическую активность до недавнего времени. Популярна основная на косвенных геохимических соображениях гипотеза, согласно которой мощный удар метеорита выбросил ШНШ-метеориты с поверхности Марса. Главное возражение против этой гипотезы заключается в том, что пока никому не удалось убедительно показать, каким образом камень можно разогнать до скорости убегания с Марса, равной 5 км/с, не разрушив его.

До обнаружения ALHA 81005 тот же аргумент выдвигался, чтобы объяснить, почему на Земле не найдено метеоритов, которые могли бы появиться с Луны. В свою очередь отсутствие метеоритов с Луны служило серьезной мотивировкой отказа от признания возможности того, что горные породы Марса могут достигнуть Земли. Петрографы и геохимики, допускающие марсианское происхождение ШНШ-метеоритов, считают, что ALHA 81005 подтверждает их мнение. Он не только не был разрушен при выбросе с Луны, но даже не обнаруживает признаков ударного изменения во время этого процесса, таких, например, как плавление некоторых компонентов до стекла. Это поучительная неожиданность, поскольку общепринято, что единственным событием, способным удалить камень с Луны или Марса, является падение на них гигантского метеорита.

Г. Меллош из Аризонского университета предлагает такое возможное объяснение. Когда метеорит внедряется в лунный грунт на глубину нескольких своих поперечников, ударный фронт распространяется вверх как волна сжатия и отражается от поверхности как волна разрежения. Общее давление в какой-либо точке под поверхностью дается суммой амплитуд двух волн. Однако на поверхности эти две волны гасятся и давление равно нулю. Поэтому, согласно Меллошу, тонкий поверхностный слой может «отколоться» от Луны, не подвергшись ударному воздействию. Метеорит ALHA 81005 представляет собой поверхностную породу, так что гипотеза об откалывании соответствует наблюдениям.

Однако существует много аргументов в пользу того, что данная гипотеза не способна объяснить выброс с Марса ШНШ-метеоритов. Наиболее важный аргумент следующий: некоторые из ШНШ-метеоритов являются сильно ударно-измененными, но явно вулканическими породами, залегающими на достаточной глубине. Кроме того, скорость убегания с Луны 2,4 км/с, а с Марса вдвое больше. Далее, среди ШНШ-метеоритов есть в 10 раз превышающие по размеру ALHA 81005, а попытки теоретического моделирования выброса с Марса приводят к выводу, что их стартовый размер должен быть еще больше, по крайней мере несколько метров в поперечнике. Таким образом, по мнению Меллоша, динамические аспекты гипотезы о марсианском происхождении метеорита вызывают серьезные сомнения. Тем не менее, как утверждает Д. Бодард из Космического центра им. Джонсона НАСА, большинство геохимиков сейчас принимают эту гипотезу и возлагают надежду на специалистов по динамике, которые должны подвести под нее соответствующую физическую базу.

Числа и меры в древнейших письменных документах

Уже в конце IV тысячелетия до н.э. были созданы протошумерские и протоэламские развитые системы счисления и мер, в том числе и такие, которые предвосхитили современную десятичную систему

ЙОРАН ФРИБЕРГ

КСАМЫМ древним в мире письменным документам относятся надписи на глиняных табличках, которые находят в Ираке и Иране, в особенности в руинах двух великих древних городов: шумерского города Урука и эламского города Сузы. Эти надписи, главным образом счета и разного рода расписки, были составлены в конце IV — самом начале III тысячелетия до н.э. Теперь, после десятилетий научных исследований, удалось идентифицировать все системы счислений и мер, встречающиеся в «протописьменных» текстах. Среди этих систем оказались и предтечи более поздней шумеро-вавилонской шестидесятеричной системы (счет велся десятками и шестидесятками) и нашей современной десятичной (ведущей счет только десятками). Кроме того, была обнаружена и оставшаяся ранее не замеченной система мер емкости, использовавшаяся в тех документах, где речь шла о ячмене, который в тот древний период был основной зерновой культурой и выполнял функцию всеобщего эквивалента (денег).

Читателю, которого заинтересуют протописьменные системы счисления и мер, придется вместе со мной предпринять путешествие сразу в двух направлениях: мы будем углубляться все дальше в прошлое, ведя речь об исторических документах, и в то же время двигаться от прошлого к настоящему, говоря об ученых, изучавших древние таблички. Причина, вынуждающая нас поступать таким образом, заключается в том, что наиболее ранние таблички находились в самых нижних слоях и потому были извлечены на свет и стали объектом изучения позже других. К тому же древнейшие таблички труднее поддавались интерпретации.

В качестве отправного пункта выберем остров Кос, находящийся у берегов Греции, в 20 милях к северо-западу от острова Родос. Здесь приблизительно в 340 г. до н.э. основатель астрологической школы, некий вавилонянин по имени Бросс, написал историю Вавилона, в которой он поведал своим гре-

ческим читателям, что числа *sossos* (60), *negos* (600) и *sagos* (3600) занимали особое место в вавилонской арифметике и астрономии. Последующие 2200 лет практически ничего не добавили к знаниям о вавилонских числах и мерах. Только в 1855 г. сэр Генри Роулинсон, один из пионеров дешифровки клинописи, опубликовал автографию маленькой глиняной таблички, найденной в руинах древнемесопотамского города Ларса, с нанесенными на нее клинописными числами. Среди прочего Роулинсон понял, что последние две строки таблички фактически гласили: «58 1 есть квадрат 59» и «1 есть квадрат 1». Он пришел к заключению, что табличка представляла собой последнюю часть таблицы квадратных корней, начиная с 49^2 (что равно 2401, или $40 \times 60 + 1$) и кончая 60^2 (что равно 3600, или 60×60). Разумеется, его интерпретация была возможной лишь в том случае, если допустить, что числа 60 и 60×60 обозначались одним и тем же символом, а именно знаком, использовавшимся для обозначения 1.

Роулинсон сделал вывод, что вавилоняне использовали шестидесятеричную систему нумерации, которая была почти позиционной по своей природе, или, другими словами, систему нумерации, в которой символ для 1 применялся также для обозначения степеней 60, а символ, обозначающий 10, использовался и для степеней 60, кратных 10. Он также пришел к заключению, что у вавилонян не было специального знака для обозначения нуля.

ЗДЕСЬ необходимо кратко остановиться на сравнительных достоинствах систем счисления, имеющих основанием разные числа. Начнем с так называемой метрической системы, которая, по существу, представляет собой совокупность взаимосвязанных систем единиц для различных мер. Метрическая система стала ныне общепризнанной благодаря простоте своей структуры и тому обстоятельству, что она строится на основе числа 10, т.е. в соответствии с десятичной системой,

используемой сейчас для всех обычных способов расчета. Возникнув во Франции во время Великой Французской революции, метрическая система постепенно распространилась по всему миру.

Уже одно то, что метрической системе потребовалось столько времени для получения всеобщего признания, является доказательством, как трудно вытеснить иные, «привычные» системы мер и весов. Примером таких традиционных систем служат английские меры длины: миля, фарлонг, чейн, род, ярд, фут, дюйм; меры жидкостей и сыпучих тел: баррель, бушель, пек, кварта и пинта; меры веса: тонна (англ. тонна равна 907,2 кг. — *Ред.*), центнер (в Англии традиционный центнер составляет 112 фунтов, т.е. 50,8 кг. — *Ред.*), фунт и унция. По той же причине метрическая система включает и недесятичные системы: год, состоящий из 12 месяцев, сутки, имеющие 24 часа, час, разделяющийся на 60 минут, и минуту — на 60 секунд, окружность, которую делят на 360 градусов, причем градус состоит из 60 минут, а минута — из 60 секунд. Эти традиционные меры своими корнями уходят в классическую греческую астрономию и далее, к шестидесятеричной системе, принятой для всех видов расчетов и измерений в Вавилонии и Шумере. Однако многим другим традиционным системам мер и весов суждено было уступить место метрической системе, так как они недостаточно соответствовали широко принятой десятичной системе счисления.

И все же сохранение некоторых традиционных систем отчасти объясняется недостатками самой десятичной системы. Слабость десятичной системы заключается в том, что ее основание, число 10, слишком мало. Это станет более наглядным, когда я приведу дополнительные примеры расчетов, выполненных в шестидесятеричной системе, имеющей большее основание: $60 = 3 \times 4 \times 5$ (тогда как $10 = 2 \times 5$). Как мы увидим, основанная на числе 60 система позволила предшественникам шумеров уже в протописьменный пери-

од разработать совокупность взаимосвязанных систем мер, использовавших ряд реально существующих единиц измерения, которыми было легко оперировать при подсчетах.

Найти правильное объяснение системе клинописной записи, служившей для обозначения шестидесятеричной (основанной на 60) нумерации, было сравнительно просто. Гораздо труднее оказалось понять, как сложились различные системы мер, встречающиеся в многочисленных клинописных документах. Ключ к решению некоторых из этих проблем содержался в определенном виде табличках, которые как счи-

тают ученые, использовались в качестве учебных текстов.

КОПИРОВАНИЕ текстов-образцов составляло важнейшую часть программы обучения учеников в старовилонский период (1900 — 1500 гг. до н.э.). Многие из этих текстов представляли собой различные списки и таблицы: перечни географических названий и названий птиц и рыб, списки слов на двух языках, грамматические таблицы для изучения шумерского языка и т.п. Кроме того, копировались различные математические таблицы и списки или таблицы единиц измерения. Делая та-

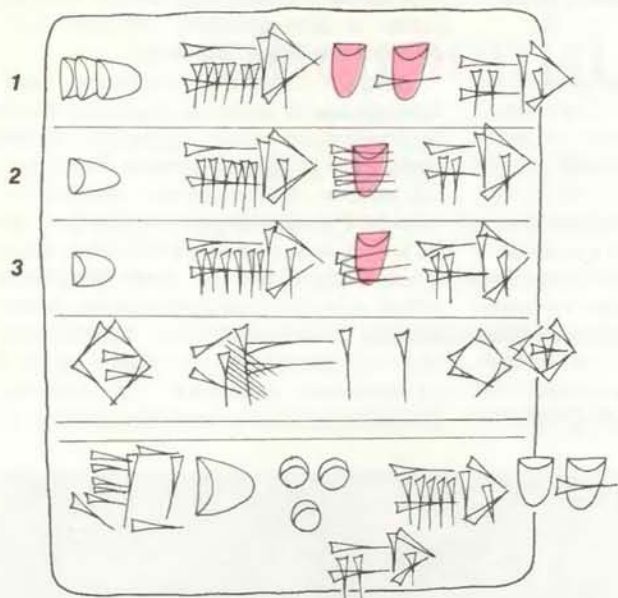
кие копии, ученик овладевал клинописью и одновременно набирал личную библиотечку табличек.

Первым образцом таблицы мер, описанным в научном издании, была фрагментированная табличка, также найденная в Ларсе. Джордж Смит, выдающийся исследователь клинописи, писал об этой таблице еще в 1872 г., но до конца понять ее смысл удалось лишь спустя много лет. На этой табличке с левой стороны каждой колонки помещается систематически упорядоченный ряд линейных мер, выраженных в стандартных единицах. Эти единицы, расположенные в порядке возраста-

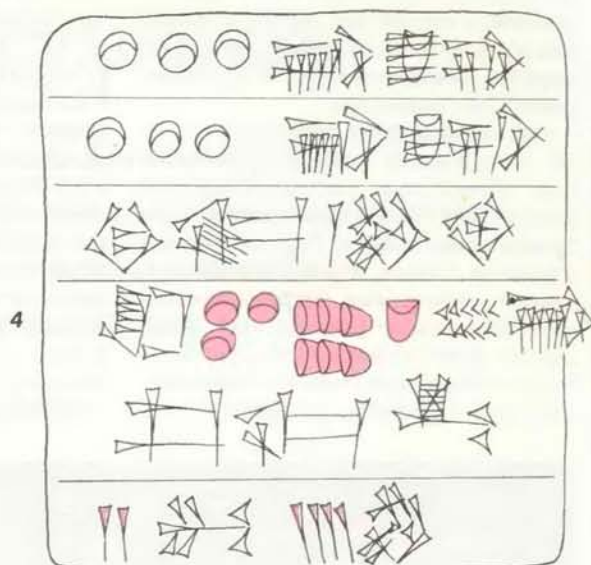


ПРОТОШУМЕРСКАЯ ТАБЛИЧКА из Джемдет Насра в Ираке содержит сведения о выдаче продуктов питания для сорока человек в течение пятидневной недели. Самые левые значки в трех верхних рядах означают соответственно: «день 1», «день 2» и «день 3». Текст на оборотной стороне

таблички свидетельствует, что каждый человек получал паек, равный двум малым мерам ячменя в день. Ячмень в этот период был всеобщим эквивалентом стоимости. Треугольный знак у правого края четвертого ряда, вероятно, означает «работники». Табличка хранится в Британском музее.



ЖЕРТВОПРИНОШЕНИЯ ПИВА зафиксированы на лицевой (слева) и оборотной (справа) сторонах этой таблички из Уммы (Ирак) эпохи Саргона Аккадского. Знаки слева в трех верхних рядах на лицевой стороне таблички означают соответственно: три кувшина пива, один кувшин и один кувшин. Закрашенные символы в правой части первой строки — меры емкости, левый — bariga, а правый — ban (6 ban составляют 1 bariga). Во второй строке закрашенный символ означает 5 ban, а в третьей — 3 ban. Эти три строки гласят, что



ежедневные жертвоприношения состоят из трех кувшинов пива емкостью по одному ban и стоимостью 1 bariga и 1 ban ячменя, одного кувшина пива стоимостью 5 ban ячменя и дополнительного кувшина стоимостью три ban. Широкая строка (4) на оборотной стороне таблички указывает итог стоимости месячных (за 30 дней) жертвоприношений: слева направо (закрашено) три раза по 10 gur плюс 6 gur плюс 1 bariga (4 bariga составляют 1 gur). В последней строке на оборотной стороне проставлена дата: «Год 2, месяц 4».

40 01 E 49 IBSI
40 × 60 + 1 (Т.Е. 2401) РАВНЯЕТСЯ 49 В КВАДРАТЕ

41 40 E 50 IBSI
41 × 60 + 40 (Т.Е. 2500) РАВНЯЕТСЯ 50 В КВАДРАТЕ

58 01 E 59 IBSI
58 × 60 + 1 (Т.Е. 3481) РАВНЯЕТСЯ 59 В КВАДРАТЕ

1 00 00 E 1 00 IBSI
60 × 60 (Т.Е. 3600) РАВНЯЕТСЯ 60 В КВАДРАТЕ

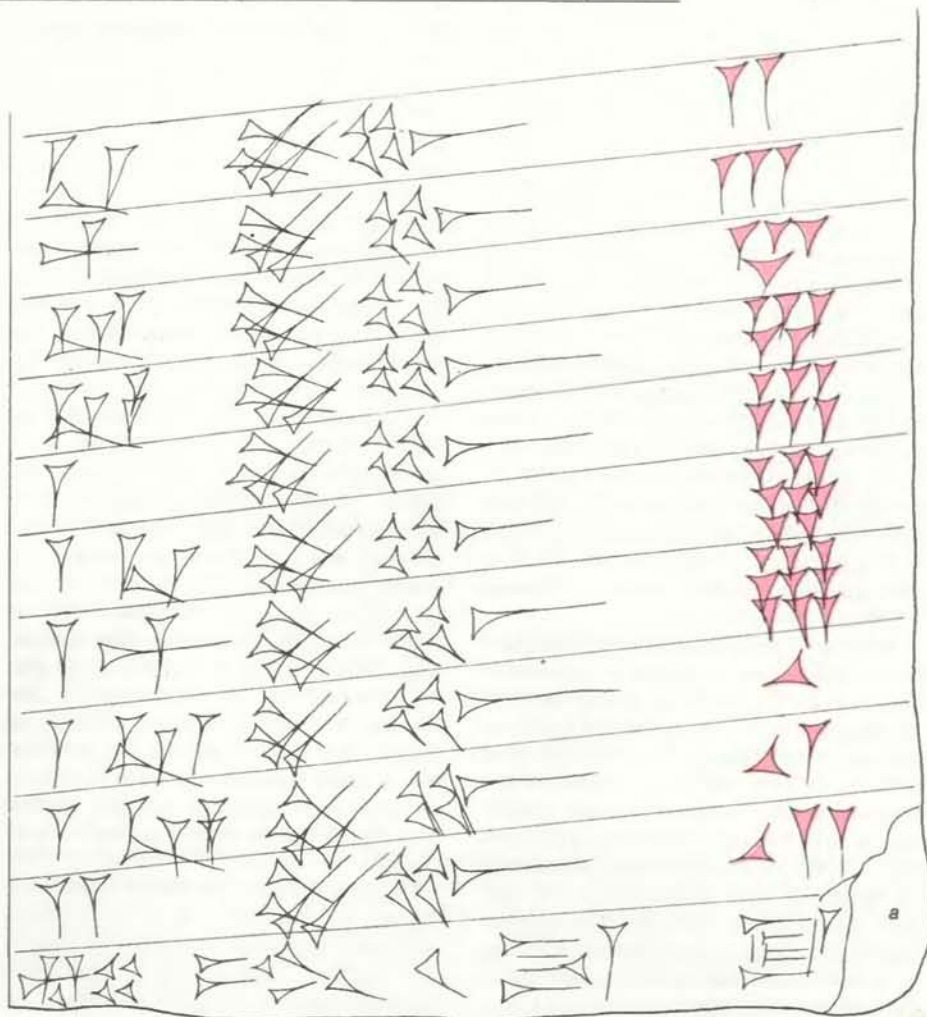
КЛИНОПИСНАЯ ТАБЛИЧКА ИЗ ЛАРСЫ (фрагмент), которую в 1855 г. исследовал Генри Роулинсон. Текст написан старовавилонскими клинописными знаками и представляет собой таблицу квадратных корней. Рядом с двумя верхними и

двумя нижними строками дана транслитерация английскими знаками и арабскими цифрами (черные), а ниже (в цвете) помещен перевод. Многие из подобных табличек были копиями, выполненными начинающими писцами в процессе обучения.

ния, таковы: *še* (зерно), *šu-si* (палец), *kuš* (локоть) и т.д., вплоть до *beru*, равного $30 \times 60 \times 12$ (6×60^2), или 21600, локтям. С правой стороны каждой колонки те же линейные меры даны в пересчете на локти по шестидесятеричной системе. Например, строка "а" в нижней правой части таблички, воспроизведенной справа, читается: «2 *beru* [равны]12». Следует отметить, что *beru* — это вавилонский эквивалент шумерского слова *danna* (обычно писавшегося *kas-gid*, что значит «длинный путь»). Однако 12 означает здесь вовсе не 12 локтей, а значительно больше: 12×60^2 локтей. При том, что локоть равен примерно полуметру, длина *beru* была больше 10 километров.

Вскоре после находки первого фрагмента удалось идентифицировать еще один обломок этой же таблички. Оказалось, что он содержит дополнительную метрологическую таблицу того же типа, как и на первом фрагменте; различие состояло в том, что правая сторона колонок давала величины в пересчете на *nindan* (равные 12 локтям) по шестидесятеричной системе. Лишь значительно позднее, работая над вавилонскими математическими текстами, посвященными вычислению объемов, исследователи поняли, что «локоть» был основной единицей при измерении высоты, тогда как *nindan* — единицей измерения длины или ширины. Отсюда происходила самая малая шумеро-вавилонская мера площади, *šar*, равная одной квадратной *nindan*. Тем же символом обозначалась и самая малая мера объема, также называвшаяся *šar*, которая имела в основании одну квадратную *nindan* и высоту в один локоть. Этот на первый взгляд странный выбор единиц измерения был на самом деле весьма удобным, так как обычно позволял при расчетах обходиться без мелких долей единиц объема.

Две эти метрологические таблицы красноречиво говорят о том, насколько хорошо шумеро-вавилонская система линейных мер была согласована с шестидесятеричной системой счисления. Рассмотрим правила преобразования единиц системы линейных мер. Шесть *še* составляли один *šu-si*, 30 *šu-si* — один *kuš*, 12 *kuš*, — одну *nindan*, 60 *nindan* — один *UŠ*, 30 *UŠ* — одну *danna* (или *beru*). Информацию, содержащуюся в этой последовательности соотношений единиц измерения, можно кратко сформулировать следующим образом: в вавилонской системе линейных мер «коэффициентами преобразования» являются 6, 30, 12, 60 и 30. Отметим, что каждый из этих коэффициентов является одновременно и числовым множителем в шестидесятеричной системе счисления. Для сравнения можно привести англосаксонскую систему мер длины от дюйма до мили, которая включает следующие коэффи-



ДРУГАЯ ТАБЛИЧКА ИЗ ЛАРСЫ, содержащая часть таблицы пересчета линейных мер и представляющая, по-видимому, упражнение начинающего писца. С правой стороны (в цвете) сверху до десятой строки идет колонка чисел от 2 до 12 (7 пропущена). Последняя неповрежденная строка читается слева направо: «два *beru* [равны] 12». Так как в старовавилонской клинописи числа 12, 12×60 и 12×60^2 писались одинаково, данная строка в действительности означает, что 2 *beru* равны расстоянию 43 200 (т.е. 12×60^2) локтей.

циенты преобразования: 12, $3,5\frac{1}{2}$, 4, 10 и 8. Каково бы ни было происхождение коэффициентов в этой традиционной системе, они явно никоим образом не согласуются с нашей десятичной системой счета.

Раскопки на территории Месопотамии дали нам не только любопытные математические тексты вроде найденных в Ларсе, но и «задачники», оказавшиеся еще более важными. Уже в 1900 г. Британский музей издал автографию двух больших старовавилонских табличек, содержавших математические задачи разного рода. Встречающиеся в них математические термины необычны и трудны для понимания, так что потребовалось почти 30 лет, чтобы решить и полностью разобраться в большинстве задач. В настоящее время в распоряжении исследователей имеется большое количество старовавилонских задач по математике. Однако говорить о них здесь более подробно означало бы отвлекаться от темы нашего исследования, посвященного проблеме про-

исхождения вавилонских систем счисления и мер.

С 1889 по 1900 г. американская экспедиция вела крупномасштабные раскопочные работы в Ниппуре, одном из крупнейших и важнейших городов Месопотамии. К 1906 г. Г. Гильпрехт из Пенсильванского университета опубликовал в одном томе некоторые результаты работы экспедиции и среди прочего издал несколько важных старовавилонских математических и метрологических текстов, включая один написанный по-шумерски задачник. (Только год назад мне удалось показать, что этот задачник состоит из ряда задач по стереометрии, решаемых с помощью уравнений третьей степени и извлечения кубических корней.)

Опубликованные Гильпрехтом старовавилонские метрологические тексты включают шестидесятеричные таблицы пересчета различных видов мер и списки единиц измерения, от самых мелких до самых крупных. Можно

предположить, что такие списки служили для обучения как структуре различных шумеро-вавилонских систем мер, так и написанию знаков, обозначающих числа, и других знаков, относящихся к каждой системе мер.

Публикация Гильпрехта показала явную близость, существовавшую между старовавилонскими таблицами и списками с одной стороны и шумеро-вавилонскими словарями и лексическими или грамматическими списками — с другой. За годы, прошедшие со времени этой публикации, было найдено немало новых шумеро-вавилонских текстов, относящихся к упомянутым категориям. Древнейшими из них являются несколько лексических списков протописьменного периода, датированных концом IV тысячелетия до н.э. Самые древние математические таблицы на полтысячелетия моложе.

Если мы продолжим наше путешествие в глубь веков до конца III тысячелетия до н.э., то окажемся в том периоде шумерской истории, который принято называть периодом III династии Ура (2050 — 1950 гг. до н.э.) и который непосредственно предшествовал старовавилонской эпохе. Известно огромное число текстов, относящихся к периоду III династии Ура. В основном это тексты административно-хозяйственного характера. В них как правило используется непозиционная система обозначения шестидесятеричных чисел, в которой числам 1, 60 и 60^2 , а также 10, 10×60 и 10×60^2 и т.д. соответствовали свои особые знаки. Понятно, что при такой непозиционной нумерации

не было необходимости в специальном знаке для нуля.

Из бесчисленных текстов периода III династии Ура лишь немногие представляют интерес по своему математическому или метрологическому содержанию. Здесь я коснусь только небольшой группы текстов, посвященных расчетам количества зерна, необходимого для того, чтобы засеять поля определенного размера при данном числе борозд N на одну pindan. Сохранившиеся копии своеобразного шумерского «Календаря земледельца» указывают, что зерна обычно бросались в борозду на расстоянии двух пальцев (šu-si) друг от друга, то есть по норме 180 зерен (что составляет один шекель) на одну pindan. Когда N равнялось 10, как это обычно и бывало, эта норма составляла точно один gur (самая большая мера сыпучих тел) на один bug (самая большая мера площади). Этот пример, в котором одно зерно приходится на расстояние в два пальца, что равно одному шекелю на pindan, или одному gur на bug, показывает, сколь хорошо были согласованы между собой единицы разных систем мер, несмотря на их кажущуюся сложность.

Шумерское преобладание в Месопотамии III тысячелетия до н.э. было прервано кратким периодом господства семитов, начавшимся с правления Саргона Аккадского (2350 — 2300 гг. до н.э.). То, что в период правления Саргона и его преемников математика продолжала развиваться, в чем трудно усомниться, подтверждается некото-

рым количеством маленьких табличек, содержащих простые, но далеко не тривиальные геометрические задачи. Из текстов Саргонского периода мы приведем в качестве примера табличку из города Умма, в которой даны расчеты дневного и месячного расхода пива на жертвоприношения. Текст таблички содержит любопытные метрологические выкладки. Табличка также наглядно показывает, что символы, обозначающие числа, могли писаться по-разному: это были либо клинописные знаки, нанесенные заостренным клиновидным концом тростниковой палочки, либо круглые знаки, вдавленные ее обратным концом.

Известно некоторое количество математических текстов, дошедших от шумерского досаргонского времени и от еще более древней эпохи — раннешумерского периода Фары (середина III тысячелетия до н.э.). Самые ранние из известных метрологических текстов — это тексты периода Фары, в которых перечисляются площади больших квадратных полей, вплоть до поля в $(10 \times 60 \text{ pindan})^2$. Недавно мне удалось определить, что еще один текст периода Фары содержит сходные геометрические задачи. Два других математических текста того же периода известны достаточно хорошо. Оба они связаны с делением больших чисел в шестидесятеричной системе. Хотя столь малый набор текстов не позволяет сделать далеко идущих выводов, все же представляется очевидным, что раннешумерские учителя, обучавшие предмету, который можно было бы



ИРАК И ИРАН — это тот район юго-западной Азии, где около 3000 г. до н.э. появились ранние формы письменности, главным назначением которой была запись чисел и регистрация количества товаров. В семи древних городах Ирака было найдено большое количество клинописных табличек. В двух из этих семи городов, Джемдет Насре и Уруке, обнаружены таблички с древнейшей протошумерской месопотамской письменностью. В пяти городах Ирана, в особенно-

сти в Сузах, находят таблички с протоэламским письмом, которое не связано в языковом отношении с протошумерским, но относится примерно к тому же времени. Оба вида письма имеют идентичные специальные знаки для записи чисел и мер. По этим знакам в какой-то мере удастся расшифровать тексты табличек, содержащих числовые записи и разного рода счета.

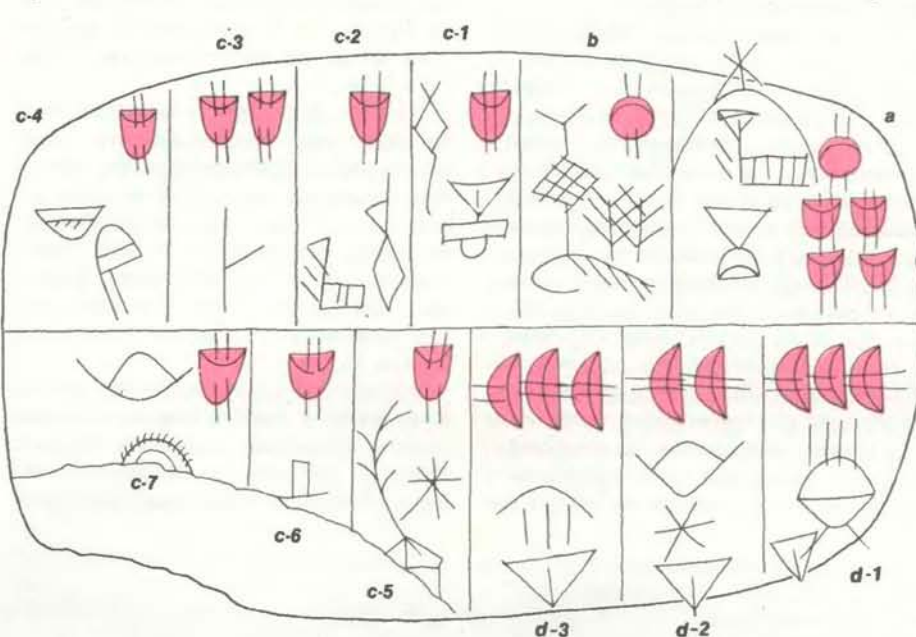
назвать элементарной прикладной математикой, достигли больших успехов в решении абстрактных задач, оперируя большими и малыми числами и мерами, используя алгоритмы умножения и деления, высчитывая площади плоскостей с помощью таблиц площадей и т.п. Как видно, пристрастие к вычислениям с невероятно большими и малыми числами может быть прослежено уже в текстах протописьменного периода.

КАК РАЗВИВАЛИСЬ шумерские математические и метрологические системы? Чтобы добраться до важнейших свидетельств, нужно сделать еще один шаг в глубь истории, к началу III тысячелетия до н.э. В 1928 г. Стэфан Лэнгдон из Оксфордского университета опубликовал серию примерно из 200 текстов с табличек и фрагментов табличек, которые были найдены за несколько лет до того при раскопках небольшого поселения Джемдет Наср в Ираке. (Собрание табличек из Джемдет Насра теперь поделено между Музеем Эшмола в Оксфорде и Иракским музеем в Багдаде.) Эти тексты были записаны архаическим пиктографическим письмом, в котором можно узнать предшественника шумерской клинописи. Однако многие знаки этих архаических текстов вышли из употребления ко времени создания клинописных текстов раннешумерского периода Фары. Поэтому и по сей день неизвестно точное чтение многих знаков в «протошумерских» надписях из Джемдет Насра, и тексты продолжают оставаться не до конца понятными. Нельзя даже с полной уверенностью утверждать, что таблички из Джемдет Насра написаны на шумерском языке, вот почему я называю их протошумерскими. Тем не менее встречающиеся в этих текстах числа, нанесенные, как правило, обратным, круглым концом стилоуса, всегда легко узнать. Ученые также сразу заметили, что способ изображения чисел на табличках из Джемдет Насра очень близок к системе обозначения их на еще более загадочных табличках из Ирана. По аналогичной причине эти таблички называются протоэламскими, и относятся они примерно к той же эпохе. К ним мы еще вернемся.

В 1936 г., менее чем через десять лет после публикации Лэнгдоном табличек из Джемдет Насра, немецкий ученый Адам Фалькенштейн издал другое собрание протошумерских табличек, несомненно более древних и в некоторых отношениях более примитивных, чем таблички из Джемдет Насра. Собрание Фалькенштейна насчитывает 600 надписей, но это только малая часть того, что было найдено немецкой экспедицией в начале 30-х годов при раскопках крупного месопотамского города Урук. Большинство опубликованных

МЕРЫ ЕМКОСТИ

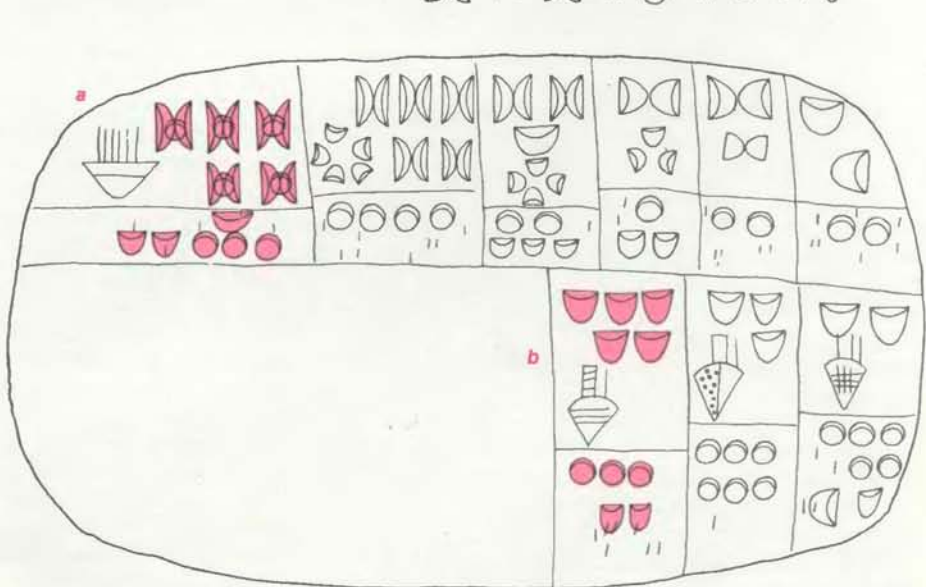
10 M 1 M 60 C 6 C 1 C 1 m 1/2 m 1/3 m 1/4 m 1/5 m 1/6 m



ПРОТОШУМЕРСКИЙ ТЕКСТ ИЗ УРУКА о выдаче пшеницы группе мужчин и женщин. Диаграмма над текстом — системы мер емкости: самая большая мера — M, основная единица измерения — C, малая мера — m и ее доли. Двойные линии, перечеркивающие символы меры емкости, указывают на то, что речь идет о пшенице-двузернянке. Текст читается справа налево; меры закрашены. Два надсмотрщика, a и b, соответственно получили 10C (записано в виде суммы $1 \times 6C + 4 \times 1C$) и 6C. Шестеро из семерых мужчин (c-1, c-2, c-4, c-5, c-6 и c-7) получили каждый по мере C, один мужчина (c-3) — две меры C. Три женщины (d-1, d-2 и d-3) получили соответственно 3m, 2m и 3m, т.е. примерно вдвое меньше чем мужчины.

ДВУШЕСТИДЕСЯТЕРИЧНЫЕ ЧИСЛА

20 x 60 2 x 60 60 10 1



ДРУГОЙ ПРОТОШУМЕРСКИЙ ТЕКСТ — задача о хлебе и пиве. Диаграмма над текстом поясняет используемую здесь «двухшестидесятеричную» систему счисления. В левых верхних клетках (a) говорится, что 6000 хлебов (стоимость каждого обозначена мерой ячменя) стоят $1M + 3 \times 6C + 2C$ (что равно 2000C). В левых клетках второго ряда (b) говорится, что 5 ($\times 60$, так следует понимать) кувшинов пива стоят $3 \times 6C + 2C$, т.е. 20C. Следовательно, мера ячменя 1C составляла стоимость 30 хлебов (в задаче a) или 15 кувшинов пива (в задаче b).

табличек происходит из слоя IV этого памятника. Оставшуюся часть табличек из Урука, хранящихся сейчас в Берлине, предполагается издать в автографии в ближайшем будущем.

Три текста из Джемдет Насра, содержащих расчеты площадей, в 1930 г. исследовал французский ученый Франсуа-Морис Аллотт де ла Фуйе, которому удалось доказать, что шестидесятеричная система счисления и шумерская система мер площади использовались уже в протошумерских надписях. Однако в остальном протошумерские системы обозначения чисел и мер продолжали оставаться малопонятными. Все же все признавали, что параллельно с шумерской шестидесятеричной системой счисления древние писцы прибегали и к десятичной (или, если так можно выразиться, «сторичной») системе, возможно заимствованной у протоэламитов. Исходя из общих со-

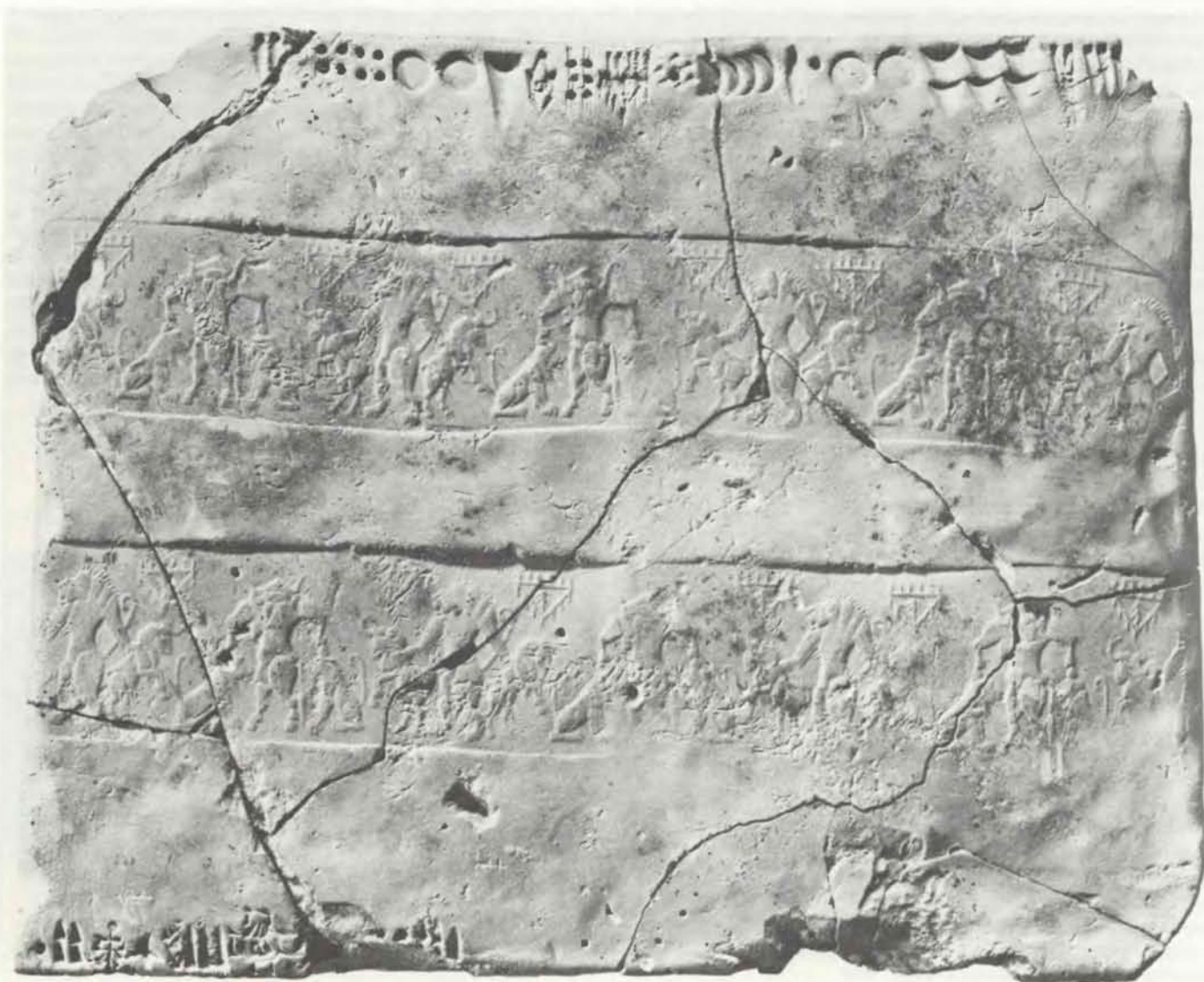
ображений, признавалось также, что в протошумерских текстах, где речь шла о зерне (они узнаются по знаку še — «зерно») — основной мерой был gur, состоящий из 300 sila (или 30 ban), точно так же, как в аналогичных текстах куда более позднего периода III династии Ура.

В 1978 г. мне удалось показать ошибочность этих предположений, доказав, что как в протошумерских, так и в протоэламских текстах, в которых говорилось о зерне, знак неизменно читавшийся учеными как 10, мог также означать 6. И в самом деле, даже в пределах одного текста этот знак может означать и 10, и 6 в зависимости от контекста.

Это сразу позволило в сотнях протошумерских и протоэламских текстов понять связанные с мерами емкости расчеты, которые ранее невозможно было объяснить. Сравнивая некоторые

виды текстов протописьменного периода с аналогичными шумерскими, я смог, по крайней мере приблизительно, определить абсолютную величину основной меры емкости, принятой в протописьменный период; как оказалось, она приблизительно соответствовала одному шумерскому ban (что примерно равно 10 литрам), а не 30 ban, как полагали ранее.

В РЕЗУЛЬТАТЕ этих открытий мы теперь имеем возможность верно оценить масштаб и характер хозяйства протошумеров в Джемдет Насре и Уруке, а также хозяйства протоэламитов в крупном древнеиранском городе Сузы. Особенно интересным оказался найденный в Уруке текст, относящийся к периоду Джемдет Наср; речь в нем идет о хлебе и пиве, текст содержит расчеты с большими числами и малыми дробями. На табличке не было ни

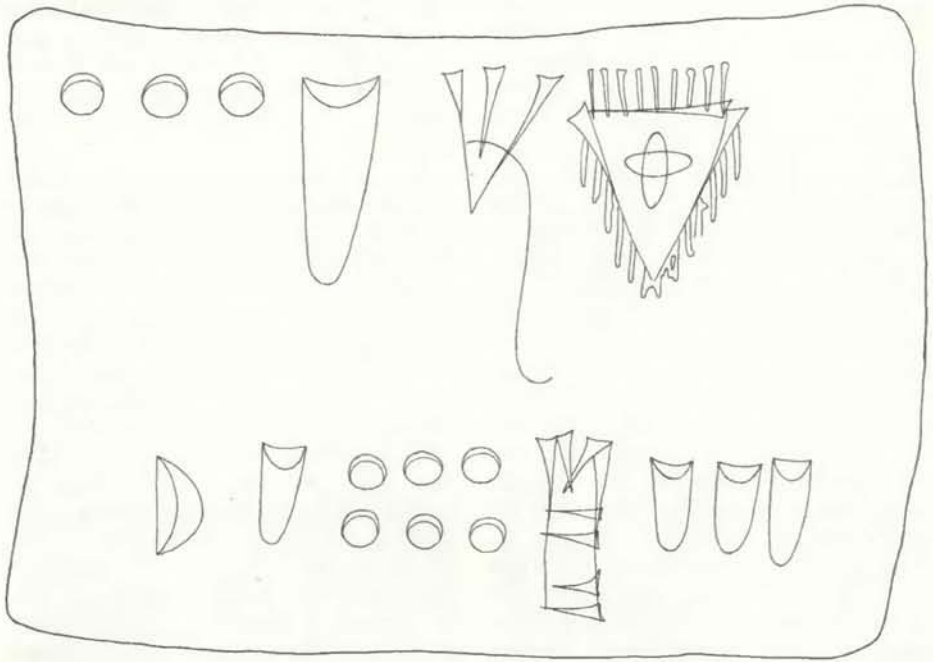


ПРОТОЭЛАМСКАЯ ТАБЛИЧКА ИЗ СУЗ; вдоль верхнего и нижнего краев таблички идут строки знаков, обозначающих числа. Большая часть остальной поверхности таблички покрыта оттисками цилиндрической печати со сценами борьбы быков и львов. Знаки справа сверху таблички подводят

итог многочисленным отдельным записям на оборотной стороне таблички: чуть более 1200 основных мер емкости. Слева указано меньшее число, около 360 основных мер. Возможно, это пошлина или сбор, наложенный властями на данную сделку.

даты ни подписи; это позволяет предположить, что перед нами не обычный административно-хозяйственный документ, а школьный текст, содержащий упражнения по математике и метрологии. Как видно на иллюстрации внизу на с. 63, верхняя часть таблички занята расчетом количества зерна, необходимого для выпечки заданного числа хлебов различной величины (выражено долями малой протошумерской меры емкости). Нижняя часть таблички дает сходный расчет количества зерна, требующегося для приготовления двух сосудов крепкого пива, трех сосудов пива средней крепости и пяти сосудов слабого пива. Разница в крепости трех сортов пива видна из разницы в количестве зерна, нужного в каждом из трех случаев для приготовления одного сосуда пива.

Данный пример протошумерского текста эпохи Джемдет Наср важен по целому ряду причин. Во-первых, он позволяет надежно установить *относительную* величину некоторых протошумерских мер емкости, включая многие малые меры. Во-вторых, из текста явствует, что в ходу были как шестидесятичная система счисления, так и особая «двухшестидесятичная» система. Не менее важно и то, что данный текст можно использовать для определения *абсолютной* величины некоторых мер, принятых в этой архаической системе мер емкости.



ПРОТОЭЛАМСКИЙ ДОКУМЕНТ ИЗ СУЗ, в котором говорится о выдаче зернового пайка; читать нужно справа налево. Текст начинается «мохнатым треугольником», который, как полагают, означает начальство, производящее выплату. Затем стоит знак «плуг», означающий, вероятно, пахаря. Знаки, обозначающие числа и продолжающиеся справа в нижнем ряду, означают $1 \times 60 + 3 \times 10 + 3$. Следующий знак, похожий на сноп, означает ячмень. Последними указаны меры емкости: $6 \times 6C + 1C + 1m$. Общий смысл: 93 работника получили по две меры ячменя каждый.

ским письмом в способе записи чисел. Во всем остальном, однако, протоэламское письмо не связано ни с одной из известных письменностей. Протоэламские знаки, передающие слова или слоги неизвестного языка, не имеют характера пиктограмм и обескураживающе абстрактны; это обстоятельство, как кажется, делает прочтение всего, что не относится к обозначению чисел в протоэламских текстах, практически невозможным.

Первые попытки Шейля понять характер системы счисления, принятой в протоэламских текстах, к сожалению, не увенчались полным успехом. Ему не удалось заметить, что один знак — маленький вдавленный кружок — вовсе не всегда означает 10. Вследствие этого Шейль какое-то время полагал, что протоэламиты, как и древние египтяне, пользовались при своих расчетах и вычислениях десятичной системой. Позже, однако, он обнаружил, что в некоторых протоэламских текстах встречается специальный знак для 60. Шейль также определил ряд обозначений дробей и правильно идентифицировал протоэламскую идеограмму, означавшую «зерно» или, быть может, «мера зерна».

В опубликованном Шейлем в 1935 г. протоэламском математико-метрологическом учебном тексте приводится сложение длинного ряда чисел, состоящих из многих цифр и относящихся к мерам емкости. Данный текст полностью подтверждает результаты моего

анализа структуры протоэламской системы мер емкости. Эта система была, очевидно, построена в соответствии с шестидесятичной (или двухшестидесятичной) системой счисления; переход от одной меры к другой совершается по следующему ряду коэффициентов преобразования: 6, 10, 3, 10, 6, 5, 2, 3, 2, 2. Соответствующий ряд коэффициентов преобразования в протошумерской системе опускает первый и четыре последних множителя — 10, 3, 10, 6, 5. Таким образом, две эти системы отличаются друг от друга только тем, как они выражают доли малой меры емкости (меры, соответствующей литру в метрической системе).

Отчет об анализе двух мер емкости включен в мой исследовательский доклад 1978 г. В этом же докладе содержится и другое неожиданное открытие, а именно: протоэламиты (но не протошумеры), оказывается, применяли шестидесятичную систему счисления, только когда считали людей или неодушевленные предметы, такие, как хлебы или глиняные сосуды. Считая животных, они использовали десятичную систему, применяя особые знаки для обозначения чисел! (В шумеровавилонских клинописных текстах десятичные числа тоже иногда встречаются, но они всегда написаны в своей фонетической транскрипции, поскольку специальных знаков для их обозначения не существовало.)

Использование десятичной системы для счета животных подтверждается

ОБРАТИМСЯ теперь ко второму виду протописанных текстов, протоэламским надписям, происходящим из различных древних городов Ирана. Эламом вавилоняне и ассирийцы называли западную часть Ирана, граничившую с Месопотамией. С конца XIX в. французские экспедиции ведут раскопки на месте древнего города Сузы, столицы Элама. В старовавилонскую эпоху, почти 4000 лет назад, эламиты пользовались шумеро-вавилонской системой клинописи. Раскопки в Сузах и в других районах Ирана показали, однако, что на территории Ирана существовала и более древняя цивилизация, краткий период расцвета которой приходился на тысячу лет ранее старовавилонской эпохи; тогда здесь писали особым, неклиновидным письмом. Эта протоэламская цивилизация была достаточно мощной, чтобы распространить свое влияние за пределы собственно Элама, на север и восток, охватив отдаленные уголки Иранского нагорья.

Тысячи архаических глиняных табличек из Суз (они составляют большую часть всех известных протоэламских текстов) были опубликованы французским ученым Винсеном Шейлем в период с 1900 по 1935 г. Шейль был первым исследователем, отметившим параллель между шумерским и протоэлам-

известным протоэламским текстом, изданным Шейлем в 1923 г. Текст этот очень своеобразен: здесь мы видим несомненные пиктограммы вместо обычных невразумительных идеограмм. Головы похожих на лошадей животных разделены на четыре группы, вероятно, в соответствии с полом и возрастом животных. Не приходится сомневаться в том, что этих «лошадей» считали числами десятичной системы. К общей путанице, проистекающей из-за того, что протоэламиты пользовались при счете двумя системами нумерации, добавляется еще одна сложность: некоторые протоэламские знаки для чисел (не только злополучный маленький вдавленный кружок) могли иметь различное значение в зависимости от контекста. Например, знак для 1000 тот же самый, что и для 2×60 . Причина такой неоднозначной нумерации вполне очевидна: используя одну или две клинописные палочки можно было прочертить их тупыми концами ограниченное число знаков.

ПОДВОДЯ итог, можно сказать, что в результате сделанных мной отождествлений использовавшихся в протописьменных текстах систем счисления и мер впервые стало возможно разделить на сравнительно небольшое количество категорий архаические протошумерские и протоэламские цифровые тексты в зависимости от их содержания. На содержание текста указывают, в частности, сами числа и меры, встречающиеся в нем. Для протоэламских текстов, например, основными категориями являются: списки людей (шестидесятичные числа), расчеты количества зерна, расходуемого на питание людей (меры емкости, шестидесятичные числа) или прокорм животных (меры емкости, десятичные числа), тексты, регистрирующие нормы расхода зерна на выпечку хлеба и приготовление пива (меры емкости, шестидесятичные числа), подсчеты голов скота (десятичные числа), буханок хлеба или глиняных сосудов (шестидесятичные числа) и счета, регистрирующие поступление на склады или выдачу с них большого количества зерна (меры емкости) — в одном случае в течение пятидневной «недели». Для протошумерских текстов можно указать дополнительные категории: подсчеты площадей (меры площади, шестидесятичные числа) и в одном случае — текст, в котором речь идет о расходе семенного зерна (меры площади и меры емкости).

Многое еще предстоит сделать, прежде чем удастся извлечь всю информацию из имеющихся протописьменных текстов, как опубликованных, так и еще не опубликованных. Тем не менее в данной области достигнут такой прогресс, особенно за последнее десятилетие,

что уже сейчас можно составить вполне правдоподобную картину развития систем счисления и мер в юго-западной Азии с доисторических времен вплоть до позднеавилонского периода.

В частности, теперь из работ Д. Шмандт-Бессер (Техасский университет в г. Остине) стало известно, что разнообразные глиняные «фишки», которыми в данном регионе пользовались с IX по конец IV тысячелетия до н.э., обозначали числа, меры и, вероятно, некоторые предметы. Мы также узнали, что поначалу фишки использовались по отдельности, так сказать «без упаковки», а к концу IV тысячелетия до н.э. некоторые из них стали заключать в глиняные «конвертики», при этом на внешнюю поверхность упаковки наносили оттиски запечатанных в ней символов. Такие «конверты», по-видимому, и привели к изобретению «табличек с оттисками». (Этим термином называют глиняные таблички с нанесенными на них цифровыми знаками и оттисками цилиндрических печатей,

но без пиктографических или абстрактных знаков, обозначающих слова).

Цифровые знаки на «печатах с оттисками» похожи на более ранние глиняные «фишки»; это сходство говорит об определенной преемственности в способах выражения чисел и мер, которую можно проследить от времени возникновения в юго-западной Азии городов-государств вглубь, до эпохи раннего неолита, 10 000 лет назад. Более того, тот факт, что способы записи чисел и единиц измерения, относящихся к различным протописьменным системам мер, ясно прослеживаются и на «табличках с оттисками», показывает сохранение преемственности в изображении чисел и мер и в более позднее время, с конца IV тысячелетия до н.э. и до старовавилонского периода, т.е. более чем на тысячу лет позже. И, как мы видим, наша собственная десятичная система счисления равно как и используемый нами способ измерения времени в часах, минутах и секундах является отражением той же преемственности, сохраняющейся по сей день.

Издательство МИР предлагает:

З. Сланина ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЯВЛЕНИЯ ИЗОМЕРИИ В ХИМИИ

Перевод с чешского

Книга из серии монографий по теории химии. В небольшом по объему труде чешского ученого явление изомерии рассматривается с единых позиций термодинамики. Большим достоинством книги являются ее оригинальность, доступность изложения и широта охвата материала.

Содержание: Введение. Обзор проявлений изомерии в химии. Явление изомерии и энергетическая гиперповерхность. Теория химических реакций в современной квантовой химии. Изомерия компонентов химических процессов. Подсчет изомерных структур.

Для научных работников — теоретиков и экспериментаторов самых различных химических специальностей, а также для преподавателей и студентов химических вузов.

1984, 10 л. Цена 1 р. 80 к.

Дж. Уокерли АРХИТЕКТУРА И ПРОГРАММИРОВАНИЕ МИКРО-ЭВМ

Перевод с английского

Систематическое изложение общих принципов построения микро-ЭВМ широкого назначения. Подробно рассматриваются вопросы программирования как на языке ассемблера, так и на языке Паскаль, который в последнее время стал одним из наиболее распространенных языков высокого уровня для микро-ЭВМ. Подробно описаны структура и способы комплексирования микро-ЭВМ на основе широко известных семейств микропроцессоров MC 68000, S 8000, TMS 9900, 8086, MC 6809. Приводятся многочисленные примеры рабочих программ.

Для специалистов, связанных с разработкой и применением микропроцессорных систем, а также аспирантов и студентов соответствующих специальностей вузов.

1984, 49 л. Цена 4 р. 20 к.



Наука и общество

Оптическая связь — миллиарды бит в секунду

ЕСЛИ ВСЕ оптическое волокно, изготовленное к настоящему времени для оснащения телефонной сети США, вытянуть в одну линию, то ее длина составит около одной световой секунды, или 300 тыс. километров, из которых примерно 60% — это уже действующие телефонные кабели. Большая часть таких кабелей проложена в региональных центрах, однако есть и две достаточно протяженные междугородные волоконно-оптические линии: одна из них соединяет Вашингтон с Нью-Йорком, другая — калифорнийские города Сакраменто и Сан-Хосе. Каждая пара оптических волокон, образующая такой канал речевой связи, способна пропускать 90 млн. бит информации в секунду, что приблизительно соответствует 1400 телефонным переговорам. Хотя подобная система оптической связи и обладает несомненными достоинствами, связанными со столь высокой скоростью передачи информации, ей тем не менее присущи два крупных недостатка, избежать которых до последнего времени не представлялось возможным. Однако недавно специалисты фирмы Bell Laboratories сообщили, что эти недостатки удастся устранить, если использовать два вида нелинейного взаимодействия светового потока с молекулами, из которых состоит оптическое волокно (световод).

Первый недостаток волоконно-оптической системы обусловлен физическими параметрами светового импульса — носителя цифровой информации, наличие или отсутствие которого в течение короткого интервала приема как раз и эквивалентно одному информационному биту. В обычных условиях такой импульс, как правило, «размывается» по мере его прохождения по световоду. Это размывание вызвано тем, что световой импульс формируется путем наложения друг на друга большого количества элементарных синусоидальных составляющих с различными частотами и амплитудами, и все составляющие распространяются по световоду с различными скоростями, что в свою очередь приводит к изменению фазы (т.е. расстояния между одноименными пиками колебания) одних составляющих относительно других, и в итоге импульс как бы расплывается. Расчет параметров указанных искажений импульса, принятого на выходе волоконного кабеля, позволяет определить минимально возможную длительность временного интервала, соответствующего одному биту информации: если бы этот интервал

оказался слишком малым, то эффект размывания мог бы привести к наложению двух импульсов и в результате к невозможности их различения.

Второй недостаток связан с необходимостью установки промежуточных усилителей, которые предназначены для компенсации небольшого, но все же заметного ослабления светового сигнала при его распространении по световоду. Используемые в настоящее время промежуточные усилители преобразуют световые импульсы в электрические, усиливают последние путем ускорения заряженных частиц (поле этих частиц как раз и образует электрический импульс) и, наконец, снова преобразуют усиленные электрические импульсы в световые. Такое устройство стоит довольно дорого; фактически почти половина стоимости оборудования волоконно-оптической сети связи приходится на промежуточные усилители. Кроме того, время срабатывания такого усилителя относительно велико, и поэтому наличие последнего накладывает определенные ограничения на скорость передачи информации.

Снижение амплитуды (интенсивности) светового сигнала в выпускаемых сейчас образцах оптического волокна составляет всего лишь 5% на каждый километр линии передачи. Исходя из этого, зачастую полагали, что недостатки, связанные с установкой промежуточных усилителей, можно свести к минимуму, разместив их на расстоянии 150 км друг от друга. К сожалению, подобная структура системы связи сама по себе ограничивает скорость передачи данных. Импульс, длительность которого менее 100 пикосекунд (триллионные доли секунды), размывается настолько, что, если его не усиливать, то на расстоянии 150 км он станет неразличимым на фоне хаотических световых помех.

Самые последние исследования показали, что указанных трудностей можно избежать, если использовать некоторые нелинейные эффекты. Во время прохождения света через вещество переменное электрическое поле фотонов вызывает колебания электрических зарядов в этом веществе. При тех интенсивностях светового потока, которые характерны для оптических систем типа зеркал и линз смещение электрических зарядов почти пропорционально напряженности электрического поля световой волны, поэтому такое взаимодействие называется линейным. В оптическом волокне световой поток проходит внутри волоконного сердечника диаметром всего лишь около пяти микрометров. Интенсивность света в таком сердечнике необычайно высока. Кроме того, суммарный

эффект взаимодействия света с волокном определяется процессом прохождения света по всей длине световода. Следовательно, в оптическом волокне строго линейная зависимость между электрическим полем и колебаниями заряженных частиц нарушается. Такого рода нелинейные эффекты сопровождаются разнообразными и необычными явлениями, которые до сих пор не учитывались при проектировании волоконно-оптических систем.

Наиболее известным нелинейным эффектом данного типа является, пожалуй, комбинационное рассеяние (КР). Сотрудник фирмы Bell Laboratories А. Хасегава предложил использовать эффект комбинационного рассеяния света для создания промежуточного усилителя, характеристики которого не зависели бы от осуществляемых в нем преобразований световой энергии в электрическую. Хасегава рассматривает этот эффект в оптическом волокне по аналогии с колебательной системой в виде обычных подвесных качелей, принудительно раскачиваемых не в такт с их собственной резонансной частотой. Чтобы как следует раскачать такие качели, тот, кто стоит на их площадке, должен смещать свой центр массы вверх и вниз при движении качелей как вперед, так и назад. Иными словами, частота наиболее эффективной раскачки качелей вдвое превышает частоту их свободных колебаний. Обе колебательные системы (качели и тот, кто их раскачивает) взаимодействуют, как утверждает Хасегава, по нелинейному закону, поскольку эти системы функционируют с разными частотами.

Реакция качелей на раскачку складывается из двух колебательных процессов с различными частотами, одна из которых равна сумме частот свободных колебаний и раскачки, а другая — их разности. Эта разность в точности эквивалентна частоте свободных колебаний, если темп раскачки ровно в два раза превышает частоту движения качелей в свободном режиме. В результате, несмотря на то что взаимодействие такого рода процессов имеет нелинейный характер, частота одной из составляющих вынужденных колебаний качелей все же совпадает с собственной частотой последних, и энергия, вносимая раскачкой, стремится поддерживать периодическое движение качелей с частотой свободных колебаний. При этом размах качания существенно возрастает.

Как отмечает Хасегава, если на передающий конец световода периодически воздействует световое излучение, частота которого несколько выше частоты сигнала (т.е. наблюдается резонанс описанного выше типа), то нелинейные эффекты приводят к возрастанию амплитуды сигнала. Частоту подобной световой накачки, которая эквивалент-

на частоте принудительного раскачивания качелей, необходимо подбирать так, чтобы она равнялась сумме частот сигнала и собственных колебаний молекул волокна. В этом случае вещество волокна будет реагировать на такую накачку по нелинейному закону с частотой, эквивалентной разности частот накачки и колебательного движения молекул. Иначе говоря, поскольку частоты световой накачки и сигнала совпадают, описываемая оптическая система при поступлении светового сигнала будет входить в резонанс. Усиление при комбинационном рассеянии света может быть выполнено довольно недорогими способами и не накладывает никаких ограничений на скорость передачи данных.

Хасегава и его коллеги из фирмы Bell Laboratories Ю. Кодама, Л. Молленозр и Р. Стоулен исследовали также и другое нелинейное явление, которое в принципе может позволить снять ограничения на скорость передачи, связанные с размытием светового импульса. При прохождении света через твердую среду его скорость меняется в зависимости от интенсивности; такое изменение носит нелинейный характер и обнаружить его удается только при весьма высокой мощности поступающего в световод излучения.

По мере прохождения светового импульса по волоконному кабелю эти нелинейные изменения как бы накапливаются. Частоты тех составляющих, которые формируют передний фронт импульса, уменьшаются, а частоты составляющих, образующих задний фронт, наоборот, возрастают. Такое перераспределение составляющих не воздействовало бы на форму импульса при отсутствии разброса их скоростей, однако поскольку указанный разброс имеет место, то в сочетании с описанными выше нелинейными эффектами он препятствует расплыванию импульса и позволяет реально сохранить его малую длительность.

Если начальная энергия и форма импульса поддерживаются в определенных пределах, жестко связанных с параметрами волокна, то форма импульса будет меняться по мере его прохождения по световоду до тех пор, пока подобные нелинейные изменения не уравновесятся эффектом разброса скоростей. Формируемый в результате этого импульс световой энергии характеризуется весьма устойчивой конфигурацией, т.е. площадь импульсного сигнала не меняется при его движении по световоду. Такого рода сигнал называется солитоном, или уединенной волной.

Солитоны идеально удовлетворяют условиям оптической связи. Можно сформировать весьма короткие солитонные импульсы и таким образом обеспечить очень высокую скорость передачи информации. Энергия, теряе-

мая импульсом при его прохождении по световоду, обуславливает снижение амплитуды этого импульса, однако площадь его сохраняется неизменной. Энергия же, которая образуется в световоде за счет эффекта КР, позволяет восстановить первоначальную амплитуду импульса, а так как площадь импульса должна оставаться постоянной, энергия солитона в данном случае будет повышаться до своего исходного уровня. Связь с помощью солитонов, которые периодически усиливаются за счет эффекта КР, позволяет довести скорость передачи информации до величин порядка 10—100 млрд. бит в секунду.

Обходясь без обходных путей

В НАШИ дни создание искусственных анастомозов в обход тромбов, закупоривающих венечные (коронарные) артерии, которые питают сердце, — одна из широко распространенных хирургических операций. Согласно статистике, в 1981 г. в США было выполнено 159 тыс. операций аорто-коронарного шунтирования, причем каждая из них стоила около 20 тыс. долл. В сумме затраты на подобные операции составили в том году 3 млрд. долл., не говоря уже о расходах на необходимые при этом диагностические исследования. Несмотря на то что операция шунтирования получила широкое распространение, не было доказано, что с ее помощью жизнь больных удается продлить. Тщательное исследование результатов этой операции, проведенное Национальным институтом сердца, легких и крови, показало, что в случае ишемической болезни сердца (ИБС) легкой и средней степени хирургическое вмешательство не имеет преимуществ перед современными консервативными методами лечения. На основании полученных данных больным с нетяжелой формой ишемической болезни рекомендуется обходиться без операции, по крайней мере до тех пор, пока не наступит резкого ухудшения. Если больные последуют этому совету, число операций шунтирования сократится в США не менее чем на 25 тыс. в год.

Операция аорто-коронарного шунтирования была разработана в 1968 г.; и хирурги, и больные восприняли ее с энтузиазмом. В 1971 г. было выполнено 24 тыс. таких операций, и в 70-е годы число их непрерывно росло. Одна из главных причин популярности этой операции — распространенность коронарной болезни. В США болезни сердца — одна из основных причин смерти, а $\frac{3}{4}$ летальных исходов от сердечно-сосудистых заболеваний приходится на долю ИБС. В 1980 г. от коронарной болезни в США умерло 566 тыс. человек.

Симптомы и опасные последствия

ИБС связаны с уменьшением притока крови к сердечной мышце. Происходит это из-за сужения просвета коронарных артерий. Четыре главных сосуда поставляют кровь к желудочкам сердца — своеобразным насосным камерам. Левая, главная, коронарная артерия — самая крупная из этих четырех — делится на огибающую и переднюю нисходящую ветви, которые и снабжают кровью левый желудочек сердца. Правая коронарная артерия питает правый желудочек.

Любой из этих четырех сосудов или все они могут оказаться заблокированными. Тяжесть заболевания зависит главным образом от того, какая именно артерия сужается и в какой степени. Самые тяжелые состояния развиваются при сужении левой главной коронарной артерии, так как она служит основным источником питания левого желудочка. Эта камера — самая мощная часть сердца; ее сокращения гонят кровь по всему телу. (Правый желудочек прогоняет кровь через легкие.) Сужение левой главной коронарной артерии может привести к нарушению функции левого желудочка.

Наиболее серьезное последствие закупорки коронарных артерий — инфаркт миокарда, т.е. гибель (некроз) участка сердечной мышцы. Во многих случаях еще задолго до развития инфаркта у больного возникают приступы стенокардии («грудной жабы») — повторяющейся и временно невыносимой боли, которая обычно ощущается в груди, но может «иррадиировать» и в другие области тела.

Операция шунтирования, т.е. создание обходного пути, увеличивает приток крови к сердцу и снимает ишемические боли. У большинства больных сразу после операции приступы становились реже и слабее. Вероятно, поэтому операция шунтирования нашла столь широкое применение в клинике.

Однако увеличение продолжительности жизни под влиянием такой операции не доказано. Если о течении болезни у отдельного больного может составить представление лечащий врач, то для статистического анализа продолжительности жизни нужны иные масштабы исследований: наблюдения за большой группой больных в течение длительного времени после операции. Кроме того, для сравнения результатов хирургического и медикаментозного лечения следует разделить на группы больных с одинаковой патологией и, назначив тот или иной вид лечения, наблюдать их достаточно долго. Однако такой анализ сложен, дорог и затрагивает вопросы этики. Из-за этого до сих пор были проведены только два крупных «рандомизированных» исследования результатов операции шунтирования. Одно из них проводилось совместно несколькими европейскими медицинскими учреждениями, другое

было выполнено под эгидой Управления по делам участников войны США. Оба исследования установили, что операция увеличивает продолжительность жизни больных с сужением левой главной коронарной артерии.

Однако такие больные составляют лишь часть оперированных. Данные же о больных с менее серьезной патологией не столь убедительны. Недавно проведенное исследование по хирургии коронарных артерий (Coronary Artery Surgery Study, CASS) охватывает легкие формы ИБС и случаи средней тяжести, т.е. тех больных, у которых было выявлено некоторое сужение коронарных артерий (кроме левой главной), а также перенесших инфаркт миокарда, но не страдавших стенокардией.

780 таких больных из 15 клиник разделили случайным образом без специального выбора на две группы: одним было предписано хирургическое, а другим консервативное лечение. Последнее состояло в назначении нитратов и β -блокаторов. Наблюдения велись в течение 5 лет.

Результаты этого обследования, опубликованные в журнале "Circulation", показывают, что, как правило, оперированные больные живут не дольше, чем при медикаментозном лечении. По данным за 5 лет средняя годовичная смертность в группе перенесших операцию составила 1,1%, а в группе медикаментозной терапии — 1,6%, притом разница эта не была статистически достоверной. Такие же результаты давал анализ, учитывавший число пораженных коронарных ветвей (одна, две или три).

Тем не менее настоящее исследование подтвердило прежние данные об эффективности операции в смысле купирования приступов стенокардии. В группе оперированных процент больных, у которых боли полностью исчезли, оказался значительно выше, чем при медикаментозном лечении. Это заключение основано на свидетельствах самих больных об их самочувствии и способности выполнять физическую работу. Однако среди больных, продолжавших работать во время исследования, существенных различий между двумя группами не отмечалось. Можно сделать вывод, что решение об операции при легкой и среднетяжелой формах ИБС сводится к вопросу о том, в какой мере данный конкретный больной страдает от самих симптомов болезни.

Следовательно, для многих таких больных хирургическое вмешательство (при всех сопряженных с ним издержках) ведет лишь к смягчению симптомов, но не к увеличению продолжительности жизни. Кроме того, хотя летальность операции шунтирования значительно снизилась благодаря совершенствованию хирургической техники, по данным исследования во время операции или в течение месяца

после нее погибает 1,4% больных.

Оценивая значение этих новых данных, д-р Ю. Браунвальд из Гарвардского университета предсказывает, что число операций аорто-коронарного шунтирования должно уменьшиться, чему, по его мнению, будет способствовать ряд факторов. К ним относятся более высокая эффективность консервативного лечения и снижение стоимости медицинского обслуживания, особенно тех его видов, целесообразность использования которых точно не доказана. Браунвальд делает вывод: «Я полагаю, что после 15-летнего увлечения операцией шунтирования при соответствующей разъяснительной работе в отношении к этой проблеме установится разумное равновесие».

Борьба с инфляцией и экономическое положение развивающихся стран

ПРОДОЛЖАЮЩИЙСЯ экономический спад во многих странах мира, вызванный в основном мерами по борьбе с инфляцией, которые предпринимают правительства наиболее развитых стран, тяжелым бременем ложится на плечи тех, кто в наименьшей степени способен нести связанные с этим дополнительные расходы — жителей самых отсталых государств. В соответствии с данными, приведенными в последнем ежегодном отчете Международного банка реконструкции и развития (МБРР), совокупность факторов, не подвластных контролю со стороны развивающихся стран, создает серьезные препятствия их экономическому развитию. Падение спроса в промышленно развитых странах практически на все виды продукции начиная с 1980 г. привело к снижению как объема первоначальных экспортных поставок из развивающихся стран, так и цен на экспортируемую ими продукцию. В то же время политика ограничения денежных кредитов, проводимая экономически развитыми странами, и в первую очередь США, сохраняет размер процентных ставок на высоком уровне, в результате чего развивающимся странам все труднее погасить свои долги. Некоторые страны вообще не в состоянии производить долговые платежи, а многие другие вынуждены снижать свои займы у частных организаций и сокращать объем импорта, чтобы контролировать дефицит своих платежных балансов.

Устойчивое снижение темпов экономического роста в развивающихся странах, как сообщает МБРР, «привело к увеличению безработицы и неполной занятости и, как следствие, к росту нищеты. В ряде стран, и главным образом в относительно развитых государствах Латинской Америки, про-

гресс, достигнутый в 70-е годы, неожиданно прекратился в результате экономического спада. В других странах, и особенно расположенных в Африке к югу от Сахары, экономический спад ускорил снижение уровня жизни, ставшее заметным в 70-е годы». В отчете также указывается, что для сотен миллионов людей в самых отсталых странах "наступивший сейчас «циклический спад в экономике» в действительности является трагедией большинства. Выход из создавшегося положения для этих стран будет длительным».

Сознавая острую необходимость увеличения экономической помощи в сложившихся условиях, Международная ассоциация развития (МАР), филиал МБРР, созданная для оказания помощи наиболее отсталым развивающимся странам, приняла решение увеличить в предстоящие три года общую сумму денежных взносов со стороны более развитых стран-членов по меньшей мере до 12 млрд. долл. и таким образом сохранить тенденцию постоянного роста своего фонда, сложившуюся за три последних года. МАР оказывает финансовую помощь менее развитым странам в виде предоставления им беспроцентных кредитов со сроком погашения до 50 лет. По действующему критерию [годовой объем валового производства на душу населения не должен превышать 796 долл. (по курсу 1981 г.)] более 50 стран имеют право на такие кредиты.

Запланированное пополнение фондов МАР столкнулось с серьезными трудностями в декабре прошлого года, когда администрация Рейгана объявила о своем намерении сократить прежде установленный размер ежегодного взноса США до 750 млн. долл. на предстоящие три года. Ранее, в бытность президента Картера, американская администрация приняла решение о внесении 3,2 млрд. долл. за четыре года, а не за три, что фактически означало снижение доли США в последнем взносе в фонд МАР до 800 млн. долл. в год. Ряд других стран, производящих взносы в фонд МАР, в этой связи учредил специальный фонд, чтобы вернуть часть денег, потерянных в результате американских акций.

Поскольку взносы США составляют 25% нового пополнения фонда МАР, то последнее решение американской администрации означает, что общая сумма, которой будет располагать ассоциация для выдачи кредитов в течение следующих трех лет, будет на 3 млрд. долл. меньше, чем было запланировано, и составит лишь 9 млрд. долл. Представители 32 других стран, вносящих деньги в фонд МАР, не замедлили призвать президента Рейгана сохранить размер ежегодного взноса на прежнем уровне 1 млрд. долл.

ОДИНОЧНЫЕ ПЧЕЛЫ

Многие виды пчел не являются общественными насекомыми, как хорошо всем известная медоносная пчела. У одиночных пчел каждая самка сама строит свое собственное гнездо.

Этим пчелам принадлежит исключительно важная роль в опылении культурных и диких растений

СЮЗАННА У. Т. БАТРА

ДЛЯ БОЛЬШИНСТВА людей основные атрибуты жизни пчел — это улей и сложная социальная организация особей, как у медоносных пчел. В действительности же более 85% видов пчел, — а на сегодняшний день их известно около 20 тыс., — это не общественные, а одиночные насекомые. У одиночных пчел каждая самка спаривается с самцом, строит собственное гнездо, состоящее примерно из 10 ячеек, наполняет их пищей для будущих личинок, откладывает туда яйца и умирает прежде, чем ее потомство появится на свет. Одиночные пчелы опыляют культурные и дикие растения и поэтому играют исключительно важную роль в экосистемах. В настоящее время в некоторых странах многие фермеры и крестьяне пытаются привлечь одиночных пчел на посевы сельскохозяйственных культур, в частности люцерны, в связи с тем, что традиционные опылители — медоносные пчелы — делают это недостаточно эффективно.

Предками современных пчел были, очевидно, хищные насекомые, подобные одиночным роющим осам, жившие примерно в середине мелового периода (100 млн. лет назад), когда доминирующее положение в растительном покрове Земли заняли цветковые растения. Ныне пчелы живут повсеместно, наиболее многочисленны и разнообразны они в умеренном теплом полувлажном климате. Многие одиночные пчелы не похожи внешне на медоносных пчел, а напоминают скорее ос, мух и шмелей. Длина их тела варьирует от 1,5 до 46 мм; у некоторых оно не имеет волосков и блестит, у других покрыто густым «мохом». Многие пчелы довольно невзрачны с виду, но встречаются и настоящие красавицы (например, изумрудно-зеленые пчелы — опылители фруктовых деревьев), у которых волоски, пятнышки и полоски окрашены во все цвета радуги.

Одиночные пчелы входят в 9 семейств: Colletidae, выстилающие свои ячейки пленкой — застывшим секретом, выделяемым через ротовое отверстие, они наиболее многочисленны и

разнообразны в Южном полушарии; Andrenidae — пчелы-землекопы, распространенные преимущественно в Северном полушарии; Halictidae, отличающиеся тем, что их привлекает запах человеческого пота, они встречаются по всему земному шару, так же как и Megachilidae — пчелы-листорезы и пчелы-каменщицы; Anthophoridae, в их числе пчелы-плотники, которые водятся главным образом в тропиках; Melittidae, Oxaeidae и Fideliidae — мелкие семейства, имеющие ограниченное распространение и не удостоившиеся даже обиходных названий, и, наконец, Apidae, к которому относятся медоносные пчелы, безжалые пчелы и пчелы — опылители орхидных (все они являются преимущественно тропическими), а также шмели, распространенные в основном в Северном полушарии (среди всей этой группы насекомых шмели способны наилучшим образом переносить низкую температуру воздуха).

БОЛЬШИНСТВО одиночных пчел устраивают свои гнезда и ячейки под землей. Они предпочитают незаросшие участки с сухой светлой почвой, освещаемые по утрам солнцем. В таких местообитаниях можно встретить и гнезда их родственников — муравьев и одиночных ос. В подходящих местах образуются большие колонии из гнезд одиночных пчел, число которых достигает нескольких тысяч. Интересно, что при этом каждая самка строит свое гнездо строго самостоятельно.

Самая большая из известных колоний занимала площадь около 360 тыс. м², протянувшись на 7 км по берегу реки Барыш в СССР. Согласно оценкам, эта колония состояла из 12 млн. гнезд, сделанных в основном пчелами двух видов из семейства Halictidae и одного вида из семейства Melittidae*.

Каждый год, примерно в середине мая, в моем кабинете в министерстве сельского хозяйства США в Бейтсвилле, шт. Мэриленд, не переставая звонит телефон — взволнованные люди сообщают мне об одиночных пчелах, во множестве устраивающих свои гнез-

да на газонах Вашингтона и его пригородов. Речь идет о пчеле из семейства Colletidae, *Colletes thoracicus*, взрослые особи которой активны в течение примерно 6 недель. По размеру она такая же, как медоносная пчела. Наибольшее скопление, состоявшее примерно из 104 тыс. гнезд этой пчелы, занимало на одном из пригородных участков территорию площадью 1187 м².

Такие скопления гнезд могут существовать в одном и том же месте многие годы. Например, пчелы одного из видов семейства Anthophoridae делали гнезда в глинобитной стене в окрестностях Балтимора в течение по крайней мере сорока лет. Этот феномен объясняется скорее всего тем, что молодые самки при первом вылете зрительно запоминают ориентиры вокруг гнезда, подобно тому как новые рабочие особи медоносной пчелы запоминают местоположение их улья. Возможно также, что пчел привлекают феромоны, выделяемые самками в этих скоплениях. После спаривания самка возвращается туда, где ее предки нашли подходящие условия для существования, и строит там свое гнездо среди множества других.

Для пчел, гнездящихся в земле, обычно не составляет труда найти место для постройки гнезда. Гораздо сложнее решить другую проблему: как почти на целый год защитить запасы пищи — мед и пыльцу, — предназначенные для потомства, и самое это потомство — нежных, беспомощных су-

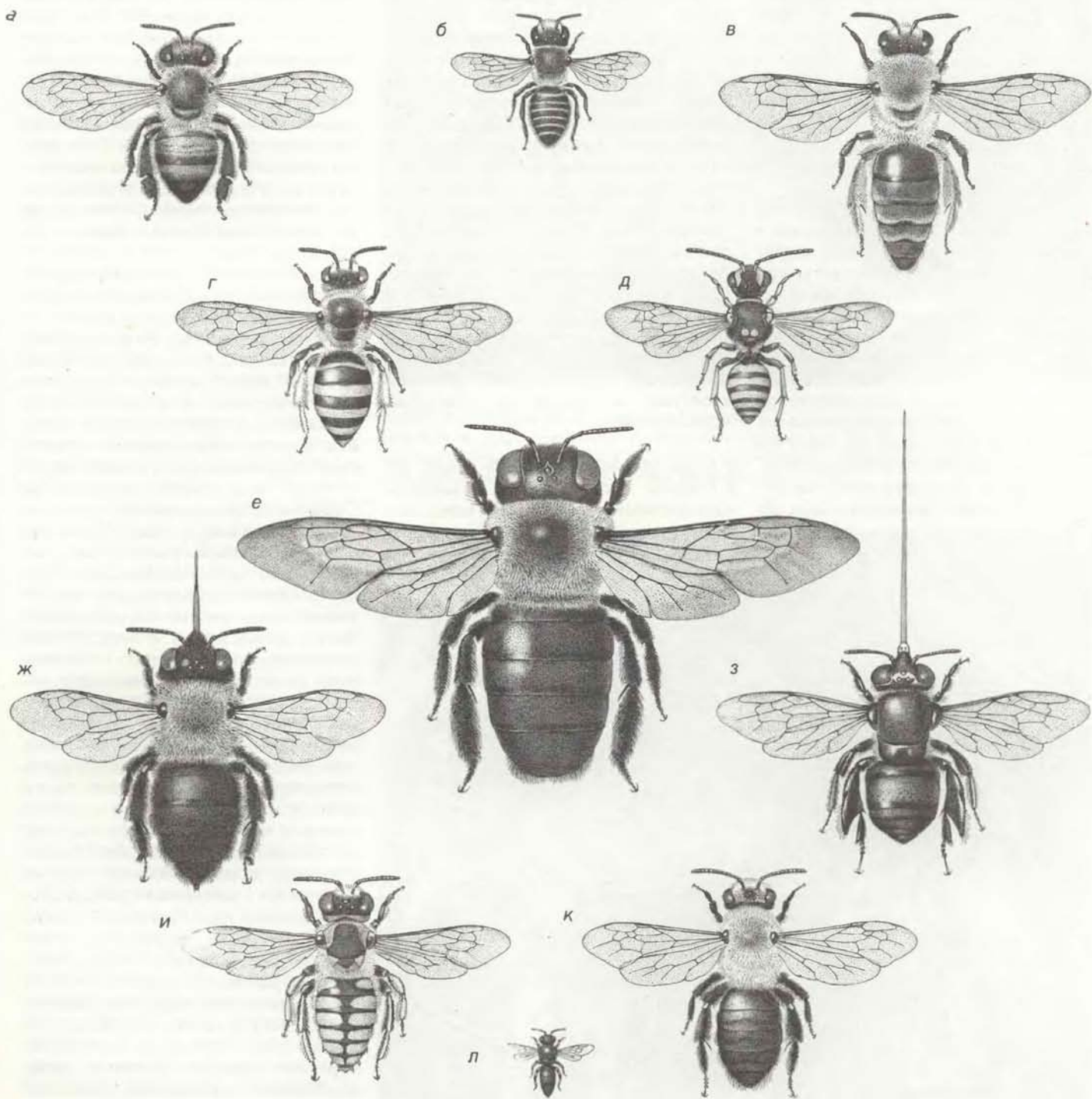
* Колония, о которой идет речь, была обнаружена 4 августа 1960 г. на крутом невозделываемом склоне правого коренного берега реки Барыш, притока Суры, недалеко от села Ховрино Ульяновской области (см. статью Н. Н. Благовещенской в журнале «Энтомологическое обозрение», 1963, т. 42, вып. 1, с. 115—117). Почти две трети гнезд принадлежали пчеле *Dasypoda plumipes* из семейства Melittidae. Помимо *D. plumipes* в колонии имелись гнезда двух мелких пчел из семейства Halictidae, а также ряда других перепончатокрылых, в том числе пчел-кукушек и ос; всего в колонии было представлено 18 видов перепончатокрылых, находившихся в сложных взаимоотношениях друг с другом. — Прим. перев.

шеств, похожих по виду на гусениц, — от влаги и от множества обитающих в почве организмов: бактерий, грибов, нематод и клещей. Подавляющее большинство пчел, живущих в земле, прежде чем заполнить ячейку пищевыми запасами, смазывают ее изнутри специальными секретами, делающими ячейку водонепроницаемой. У этих пчел в брюшке есть специальная железа

(дюфурова железа); у некоторых видов она занимает до половины брюшной полости. Проток железы открывается наружу вблизи жала. Железа содержит маслянистую ароматную жидкость, пахнущую мускусом. Пчелы некоторых видов для смазывания ячеек собирают смолу с растений, другие отрезают кусочки листьев и выстилают ими ячейки. Представители семейства Fi-

deliidae и еще некоторые пчелы, живущие исключительно в пустынях, совсем не занимаются отделкой своих ячеек.

Я помещала пчел в узкие, со стеклянными стенками камеры, наполненные почвой, и наблюдала, как ведут себя эти насекомые под землей при постройке гнезда. После того как пчела выкопает норку для ячейки, а часто еще



ОДИНОЧНЫЕ ПЧЕЛЫ и медоносная пчела *Apis mellifera* (а) (изображения даны в едином масштабе). Показаны следующие виды: люцерновый листорез *Megachile rotundata* (б); *Colletes thoracicus* из семейства Colletidae (в), выстилающая свою ячейку изнутри пленкой; солончаковая пчела *Nomia melanderi* (г); пчела-кукушка *Nomada luteoloides* (д), названная так из-за того, что она откладывает свои яйца в гнезда других одиночных пчел; пчела-плотник *Xylocopa virginica*

(е); *Anthophora abrupta* из семейства Anthophoridae (ж); *Euglossa ignita* — опылитель орхидных (з), виден ее необычайно длинный язычок; пчела из рода *Anthidium* (семейство Megachilidae) (и); пчела-землекоп *Andrena carlini* (к) и, наконец, пчела из рода *Hylaeus* (семейство Colletidae), секретирующая шелк для выстилки своей ячейки (л). Длина тела последней 4 мм. Эти пчелы — лишь ничтожно малая часть из примерно 17 тыс. видов одиночных пчел.

и отполирует ее «до блеска» с помощью пигидиальной пластинки, которая находится на конце брюшка, она вносит в ячейку несколько капель секрета дюфуровой железы и размазывает его ритмичными движениями язычка, специальными бархатистыми подушечками на брюшке или кисточками волосков на ногах. Большинство одиночных пчел проводят первую половину дня в сборах нектара и пыльцы, во второй половине дня они откладывают очередное яйцо и запечатывают ячейку, а уже вечером начинают копать новую норку для ячейки, с тем чтобы за ночь кончить эту работу и смазать ячейку секретом — в результате к утру новая сухая ячейка готова принять пищевые запасы. Так пчелы работают день и ночь, позволяя себе лишь небольшие передышки.

Г. Фейлс и Э. Хефец (Национальный институт заболеваний сердца, легких и крови) и я провели химический анализ секрета у пчел *Colletes*. Мы установили, что содержимое их дюфуровой железы представляет собой смесь ароматных, пахнущих мускусом соединений — макроциклических лактонов. После того как пчела нанесет секрет на стенки ячейки, он полимеризуется, превращаясь в гибкую прозрачную водонепроницаемую пленку из смеси полиэфиров в основном 18-гидроксиоктадекановой и 20-гидроксиэйкозановой кислот. В ячейке образуется таким об-

разом миниатюрный пластиковый мешок, снабженный запором; отложив яйца внутрь мешка, самка поднимает клапан и запечатывает его. Пленка достаточно прочна: в целостности и сохранности она остается в почве на протяжении года и более.

Для сравнения анализу был подвергнут секрет дюфуровой железы пчелы из семейства Anthophoridae *Anthophora abrupta*. Большая железа этой пчелы содержит смесь прозрачных слабо пахнущих маслянистых триглицеридов. На стенках ячейки они превращаются в белые воскообразные диглицериды с запахом прогорклого масла; это превращение происходит, очевидно, под действием ферментов, содержащихся в слюне пчелы. Тот же секрет добавляется и к пище, предназначенной для личинок. Растущие личинки съедают его, более того — они соскабливают и съедают то, что пошло на смазывание ячейки. Только о медоносной пчеле было раньше известно, что она кормит своих личинок секретом — «пчелиным молочком», которое выделяют через ротовое отверстие рабочие пчелы (оно состоит главным образом из белка). Оказалось, что сходный феномен свойствен и пчелам из семейства Anthophoridae.

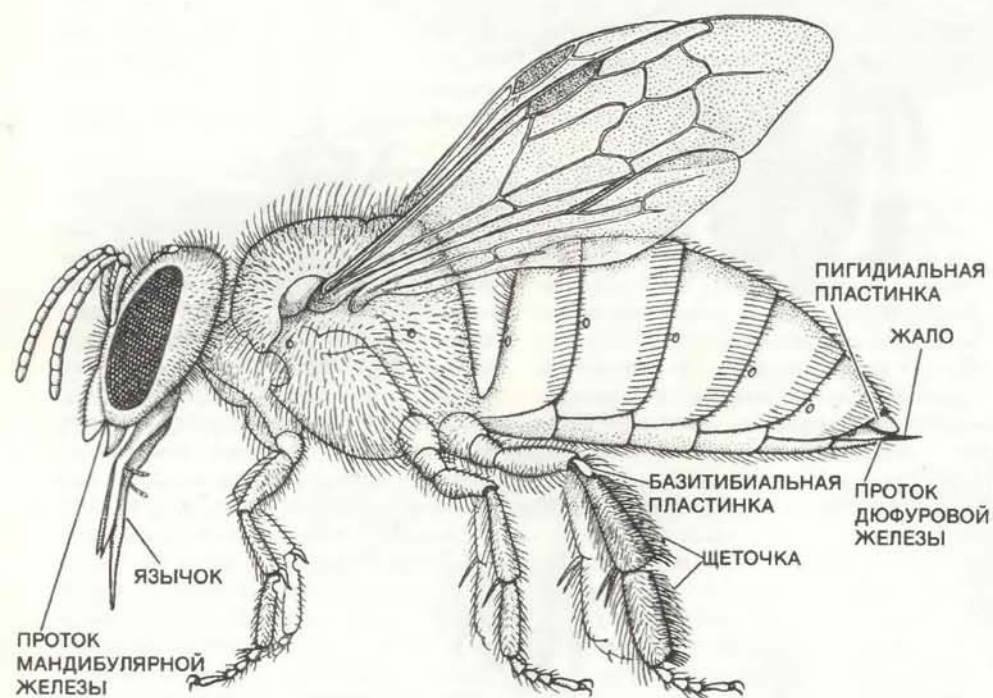
ПЧЕЛАМ, не живущим в земле, не нужно так тщательно защищать свое потомство от излишней влаги; ве-

роятно, поэтому дюфурова железа у них относительно небольшой величины. Большинство пчел-листорезов и каменщиц устраивают гнезда в уже имеющихся на поверхности земли ямках и отверстиях, строя ячейки из грязи, смолы, растительных волокон или из овальных и круглых кусочков листьев и лепестков. Кстати сказать, пчелы-листорезы могут сильно вредить растениям. Был даже случай, когда урожай соевых бобов на участке площадью 2 га снизился на 30% из-за того, что листья были изгрызены пчелами, гнездившимися поблизости. Некоторые пчелы из семейства Megachilidae строят ячейки группами на ветвях деревьев или на стенах домов, используя для этого грязь или смолу. Один весьма обычный вид одиночных пчел известен тем, что в Египте и Греции он портит памятники старины, строя на них во множестве большие комковатые гнезда из грязи.

Пчелы-плотники, имеющие мощные мандибулы, просверливают аккуратные круглые отверстия в древесных, бамбуковых или иных богатых сердцевиной стволах. В создаваемых таким образом галереях они строят ряды ячеек, отделенных одна от другой перегородками из склеенных мелких песчинок. Иногда они приносят деревянные постройки существенный ущерб.

Пчелы рода *Hylaeus* из семейства Colletidae внешне похожи на ос; они переносят запасаемую пищу так же, как осы, а не на специальных волосках, как это делают другие пчелы. Пчелы *Hylaeus* — единственные из всех пчел — делают свои ячейки из настоящего шелка, размещая их в естественных углублениях и отверстиях. «Шелковый» секрет самка выделяет через ротовое отверстие и разравнивает с помощью широкого язычка. Небольшие хищные осы, относящиеся к подсемейству Pemphredoninae, также сооружают ячейки из шелка, что уникально и среди ос. Не исключено, что эволюция пчел шла именно от этой группы ос через примитивные формы типа *Hylaeus*. Секрция шелка взрослыми особями встречается у насекомых крайне редко.

В большинстве своем самки одиночных пчел могут защищаться с помощью жала, подобно медоносным пчелам и шмелям. Однако в отличие от последних яд одиночных пчел действует на жертву не так сильно. Гнезда одиночных пчел в том случае, если они не образуют больших колоний, редко привлекают позвоночных хищников. Поэтому у этих насекомых не получила развития форма защиты, свойственная медоносным пчелам и шмелям, которые при нападении на их гнезда бросаются в энергичную контратаку, стараясь ужалить противника. Однако в гнезда одиночных пчел могут проникать другие беспозвоночные, а также



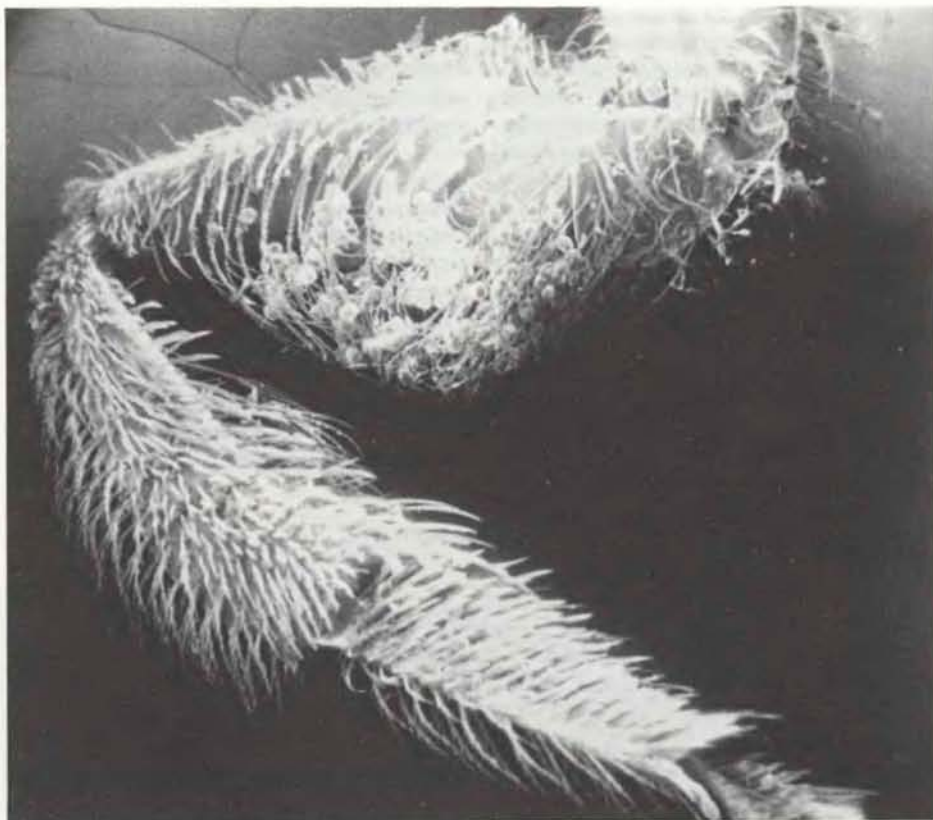
АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ типичной одиночной пчелы. Обратите внимание на пигидиальную пластинку, с помощью которой самка «полирует» ячейку в гнезде, выкопанном ею в земле, и на проток дюфуровой железы, которая расположена внутри брюшка и выделяет секрет, делающий ячейку водонепроницаемой. Секреты мандибулярной железы служат для общения особей и для самозащиты. У многих видов на брюшке есть щеточка из волосков, на которой переносится пыльца. Когда пчела копает нору для гнезда или складывает в него запасы пищи, она ходит как бы на коленках — на базитибальных пластинках.

микроорганизмы, и это потребовало выработки специальных защитных приспособлений.

Первейшими «врагами» одиночных пчел, гнездящихся в земле, являются грибы. Пчеле приходится очень оперативно вести заготовку пищи и откладку яиц, с тем чтобы вылупившаяся личинка могла воспользоваться оставленными ей запасами до того, как они придут в негодность. Дело в том, что смазка ячейки секретом изолирует ее от почвенной влаги, но не предохраняет от водяных паров, которые свободно проникают внутрь ячейки вместе с газами, необходимыми для дыхания личинки.

Пищевые запасы пчел — это, как правило, смесь меда и пыльцы. Сахарá, входящие в состав меда, гигроскопичны, т.е. поглощают влагу из воздуха, и поэтому со временем постепенно все более и более разжижаются. (Так можно объяснить тот факт, что выросшие личинки пчел весят подчас больше, чем изначально весил заготовленный для них корм.) Пища в ячейках сохраняется до тех пор, пока в них не начинают бурно размножаться дрожжи и бактерии. Эти микроорганизмы обычно всегда присутствуют в нектаре цветов и благодаря самим же пчелам попадают в запасы пищи в ячейке. Вначале их рост там подавляется высокой концентрацией сахаров (у одиночных пчел, как и у медоносных, избыток воды из цветочного нектара ликвидируется в процессе ферментативного превращения его в мед). Если же жизнедеятельности дрожжей ничто не препятствует, пища начинает бродить, затем прорастает гифами гриба, а у пчелиной личинки начинается расстройство пищеварения, она слабеет и в конце концов погибает.

Во время работы в Университете шт. Юта мы с коллегами из министерства сельского хозяйства энтомологом Дж. Богартом и моим мужем микологом Л. Батрой, установили, что среди грибов у взрослых пчел и их потомства довольно много «врагов» — не менее 124 видов. У одиночной солончаковой пчелы *Nomia melanderi* возник интересный способ защиты гнезд от некоторых из вредящих ей грибов (для нее таковых было найдено 49 видов). Как и другие одиночные пчелы, солончаковая пчела запечатывает каждую ячейку после того, как в нее помещен запас пищи и отложено яйцо. Долгое время считалось, что эти пчелы, продолжая заниматься «оптовыми заготовками», впоследствии никак не ухаживают за личинками, развивающимися из отложенных ранее яиц. Выяснилось, однако, что, если содержимое ячейки поражено грибом, пчела-мать вскрывает ячейку и закладывает в нее почву. Этим сокращается приток воздуха, необходимого для роста гифов, и предотвращается проникновение гриба в сосед-



ЩЕТОЧКА, образованная группой ветвящихся волосков на задней ноге пчелы-галикта из рода *Lasioglossum*. Щеточка служит для переноса пыльцы; вверху в центре видны приставшие к волоскам сферические зернышки пыльцы. (Электронная микрофотография сделана с увеличением $\times 62$.)



ВНУТРЕННЯЯ ПОВЕРХНОСТЬ задней ноги пчелы-галикта. Видны спиральные заостренные волоски, служащие для собирания пыльцы (слева), и пучок волосков, похожий на малярную кисть, которым пчела размазывает водозащитный секрет по стенкам ячейки (внизу справа). (Увеличение $\times 300$.)

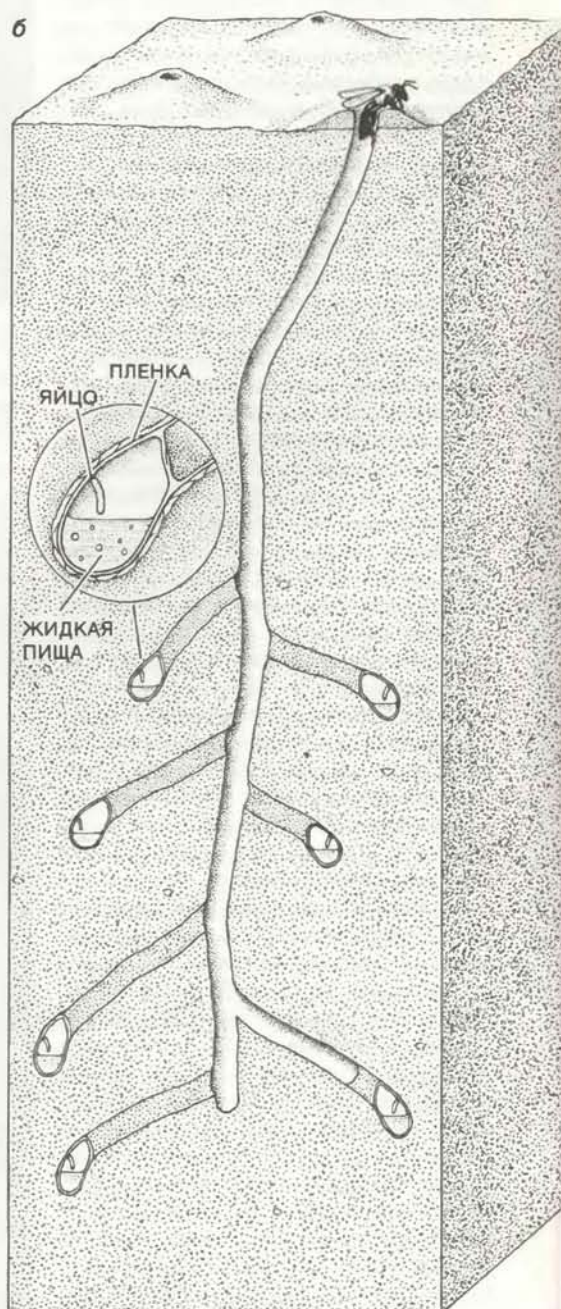
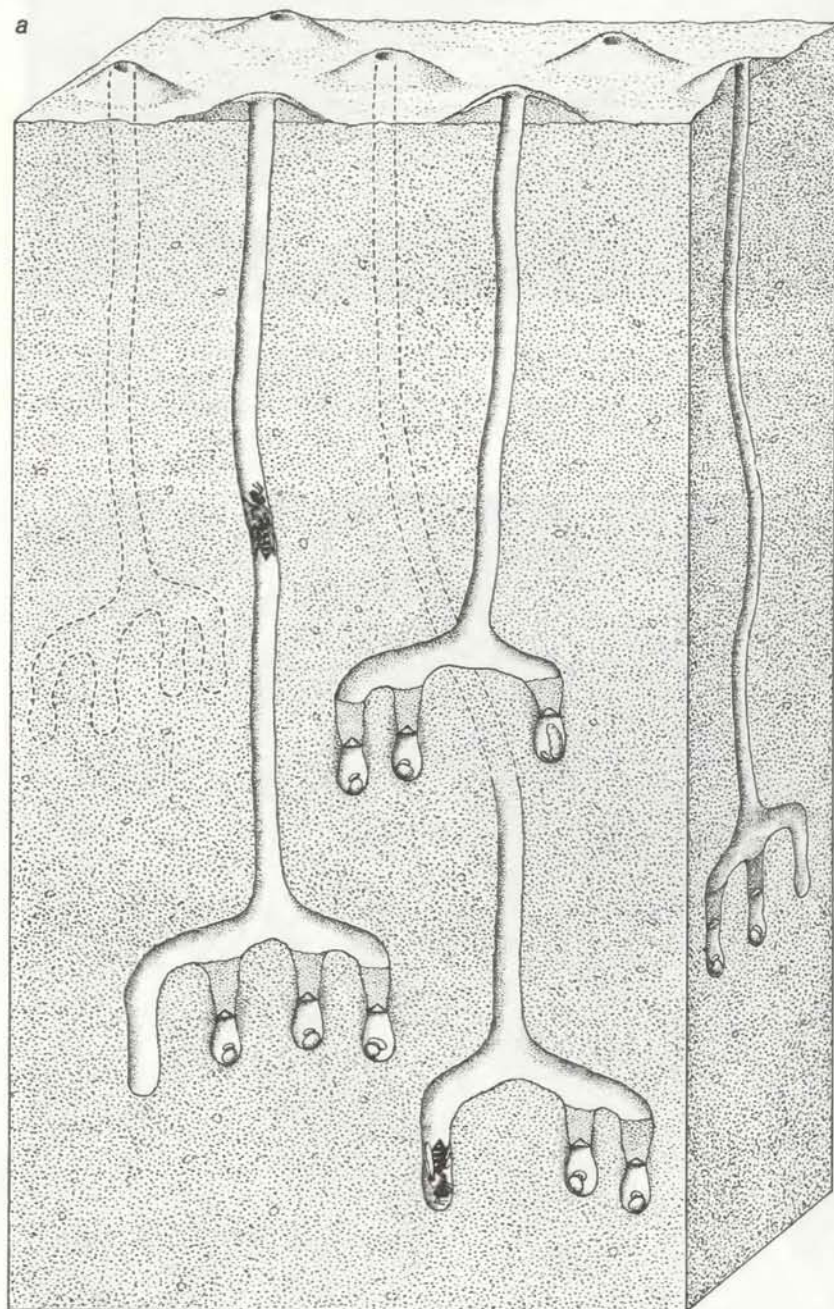
ние ячейки. Виды, гнездящиеся в более сухих местах — здоровой древесине, крепких стволах и глинобитных стенах, — страдают от грибов гораздо меньше, тогда как некоторые живущие в земле пчелы ежегодно теряют из-за них до половины своего потомства.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ одиночные пчелы, которых называют пчелы-кукушки, являются паразитами других одиночных пчел. Как и их тезки среди птиц, пчелы-кукушки не строят собственных гнезд, а откладывают яйца в чужие. Пчелы-кукушки составляют около 15% от всех видов пчел. Некоторые из них строго специфичны в

выборе хозяина, паразитируя только на одном виде или на группе близких видов. Большинство пчелиных семейств включает в себя и виды пчел-кукушек, которые могут паразитировать либо на пчелах того же семейства, либо на представителях других семейств. У молодых личинок многих пчел-кукушек необыкновенно длинные мандибулы, которые служат для умерщвления личинки пчелы-хозяина; у личинок старших возрастов, которые развиваются уже после того, как хозяин уничтожен, мандибулы нормальных размеров. Наиболее доступны для наблюдения пчелы-кукушки из рода *Nomada* (семейство Anthophoridae).

Это изящные, похожие на ос насекомые ржавой или желто-черной окраски; ранней весной они бесшумно летают над землей среди лесных цветов в поисках еще не занятых паразитами гнезд их хозяев — пчел из рода *Andrena*.

Одиночная пчела ежедневно проводит по несколько часов вдали от гнезда, собирая нектар и пыльцу. Именно в это время ее беспомощное потомство особенно уязвимо. У некоторых видов пчел ячейки плотно запечатаны толстой крышечкой из специального секрета, смолы или глины, но у многих крышка делается из рыхло уложенных почвы, листьев или трухи, и в такие



УСТРОЙСТВО ГНЕЗДА у разных видов одиночных пчел имеет свои особенности. Гнездо состоит из нескольких отдельных ячеек, в каждую из них самка помещает запас пищи для личинки, а затем откладывает яйцо. В хорошую погоду пчела-самка сооружает одну ячейку в день, весь же пери-

од активности самки продолжается несколько недель. Солончаковая пчела *Nomia melanderi* (а) строит гнездо в мокрой почве. Пчела *Colletes thoracicus* (б) также гнездится в почве, она прокладывает каждую ячейку изнутри полиэфирной пленкой. *Anthophora abrupta* (в) делает гнездо в су-

ячейки легко проникают насекомые-паразиты и хищники. Пчела-мать старается как-то сделать гнездо более защищенным: она располагает его так, чтобы входное отверстие было спрятано, либо заполняет вход в гнездо землей, или же насыпает над входом маленький холмик земли; иногда пчела сооружает спрессованную башенку из земли, которая отпугивает ползающих насекомых. Но все равно потомство одиночных пчел несет ощутимые потери от множества хищных и паразитических ос, муравьев, различных мух и жуков, веерокрылых насекомых, клещей и нематод. Некоторые паразиты откладывают свои яйца или личинки на

цветы, а там их нечаянно захватывают фуражирующие пчелы и переносят в гнездо, «своими руками» помещая непрошенных гостей в склад провизии, где те дожидаются, когда появится пчелиная личинка.

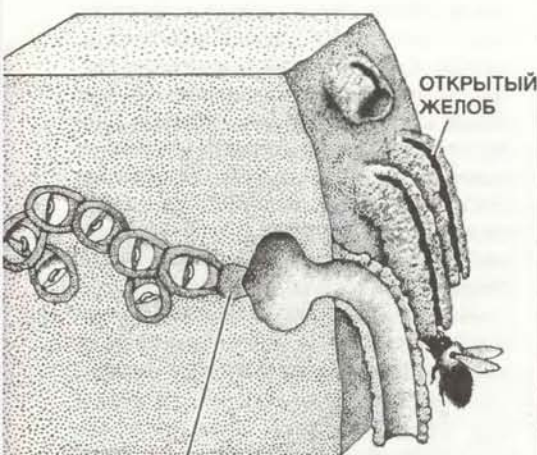
Появление у высших растений ярких и ароматных цветков с регулярным строением было связано с необходимостью привлекать переносящих пыльцу животных. Пчелы — наиболее эффективные из всех опылителей; тому есть несколько причин: высокая численность, быстрота полета, обычай последовательно посещать несколько цветков одного и того же вида, потребность в большом количестве нектара и

пыльцы и наличие множества специализированных волосков, благодаря которым одна пчела может захватить и удержать до 15 тыс. зернышек пыльцы.

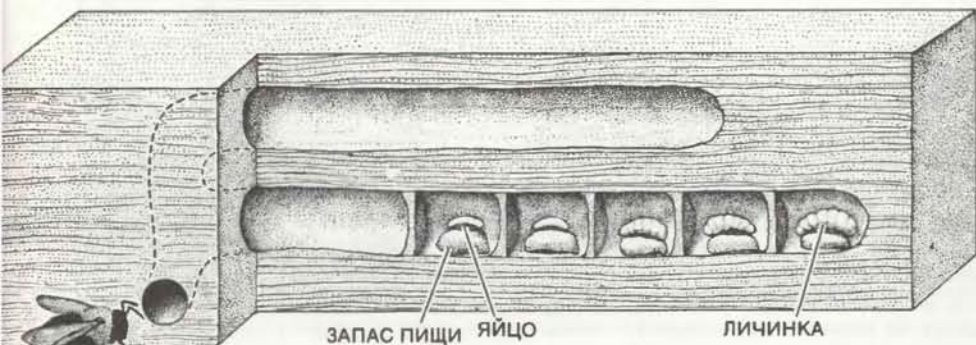
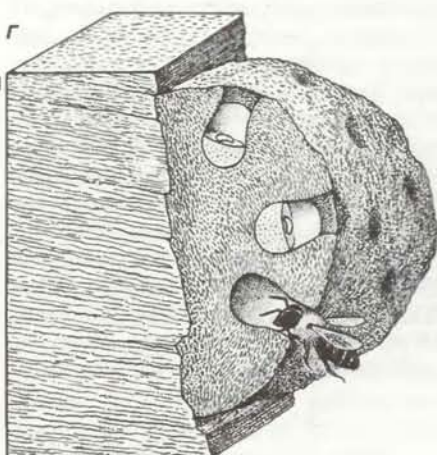
У пчел есть несколько типов волосков, которые располагаются на теле и конечностях группами в соответствии с их функциями. На задних ногах у большинства одиночных пчел плотные волоски образуют так называемую пыльцевую щеточку. У пчел семейства Megachilidae такая щеточка находится снизу брюшка. У медоносной пчелы и родственных ей видов на голених задних ног имеются блестящие гладкие участки, известные как корзиночки для пыльцы; с их помощью пчелы переносят увлажненные нектаром комочки пыльцы или материал для строительства гнезда. В зависимости от типа пыльцы, которую собирает данный вид пчел, волоски у него устроены соответствующим образом. Мелкая сухая пыльца лучше всего держится на тонких ветвящихся волосках, подобных пуху. Большие или клейкие зерна пыльцы требуют жестких волосков; такие волоски часто имеют укороченные ветви или снабжены спиральными складками, как штопор, а иногда есть еще и шпательобразный или крючковидный наконечник.

Гребни жестких волосков на ногах и ротовом аппарате пчел служат для сбора пыльцы и переноса ее на щеточки. Специальные прямые волоски, собранные в пучки, похожие на малярную кисть, нужны для размазывания секрета дюфуровой железы. Для сбора с цветков ароматических веществ и растительных масел у некоторых одиночных пчел есть особые бархатистые волоски, образующие подобие губки, а также уплощенные волоски, соединенные в гребни.

ВКЛАД пчел как опылителей диких растений и сельскохозяйственных культур не поддается оценке. Ученье дикие растения, опыляемые главным образом одиночными пчелами, практически невозможно. В США была подсчитана стоимость урожая 90 сельскохозяйственных культур, которые зависят от опыления насекомыми, — в целом по стране ее максимальное значение составляло 17 млрд. долл. в год. Если же сюда включить и те опыляемые насекомыми зерновые культуры, которые выращивают на корм скоту, то окажется, что около трети производимых в стране продуктов питания прямо или косвенно связано с опылением насекомыми — в основном пчелами. Резонно допустить, что одиночные пчелы обеспечивают опыление примерно половины всех сельскохозяйственных культур на территории США, а в районах, где пчеловодству уделяется мало внимания, может быть, и больше.

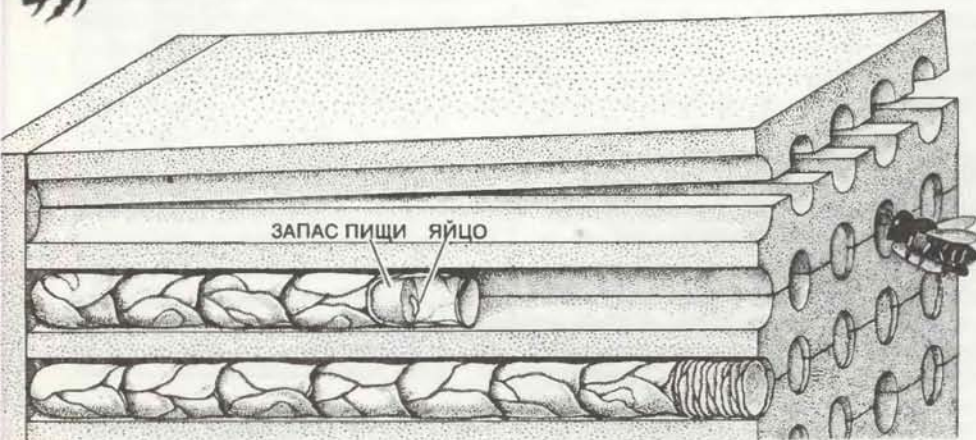


ЗАТЫЧКА ИЗ ПОЧВЫ



ЗАПАС ПИЩИ ЯЙЦО

ЛИЧИНКА



ЗАПАС ПИЩИ ЯЙЦО

хой почве. Пчела рода *Chalicodoma* из семейства *Megachilidae* (г) устраивает ячейки на деревянной или каменной поверхности. Пчела-плотник *Xylocopa virginica* (д) высверливает гнездо в дереве. На полях люцерны размещают специальные доски с желобками (е) для гнездования люцернового листореза.

К несчастью, в условиях современного интенсивного сельского хозяйства и прогрессирующей урбанизации популяции одиночных пчел приходят в упадок. При ведении монокультурного хозяйства все растения на огромном поле цветут почти одновременно, и в результате период цветения продолжается очень недолго. Из-за этого природные популяции одиночных пчел не успевают опылить все растения, часть их остается неопыленной, а когда растения кончают цвести, сами пчелы лишаются источника пищи. Увеличение площади возделываемых земель и постоянное строительство еще более сокращают занятые цветковыми растениями территории и удобные для гнездования пчел местообитания. При ирригационных работах множество пчелиных гнезд оказываются разрушенными; притом ирригация благоприятствует процветанию грибов. Велика гибель пчел от неосторожного применения пестицидов. Из-за присутствия двуокиси серы в воздухе уменьшается продолжительность дневного летного времени.

Все эти отрицательные факторы выступают особенно наглядно при сравнении двух пчелиных популяций: одной — в центре большого коммерче-

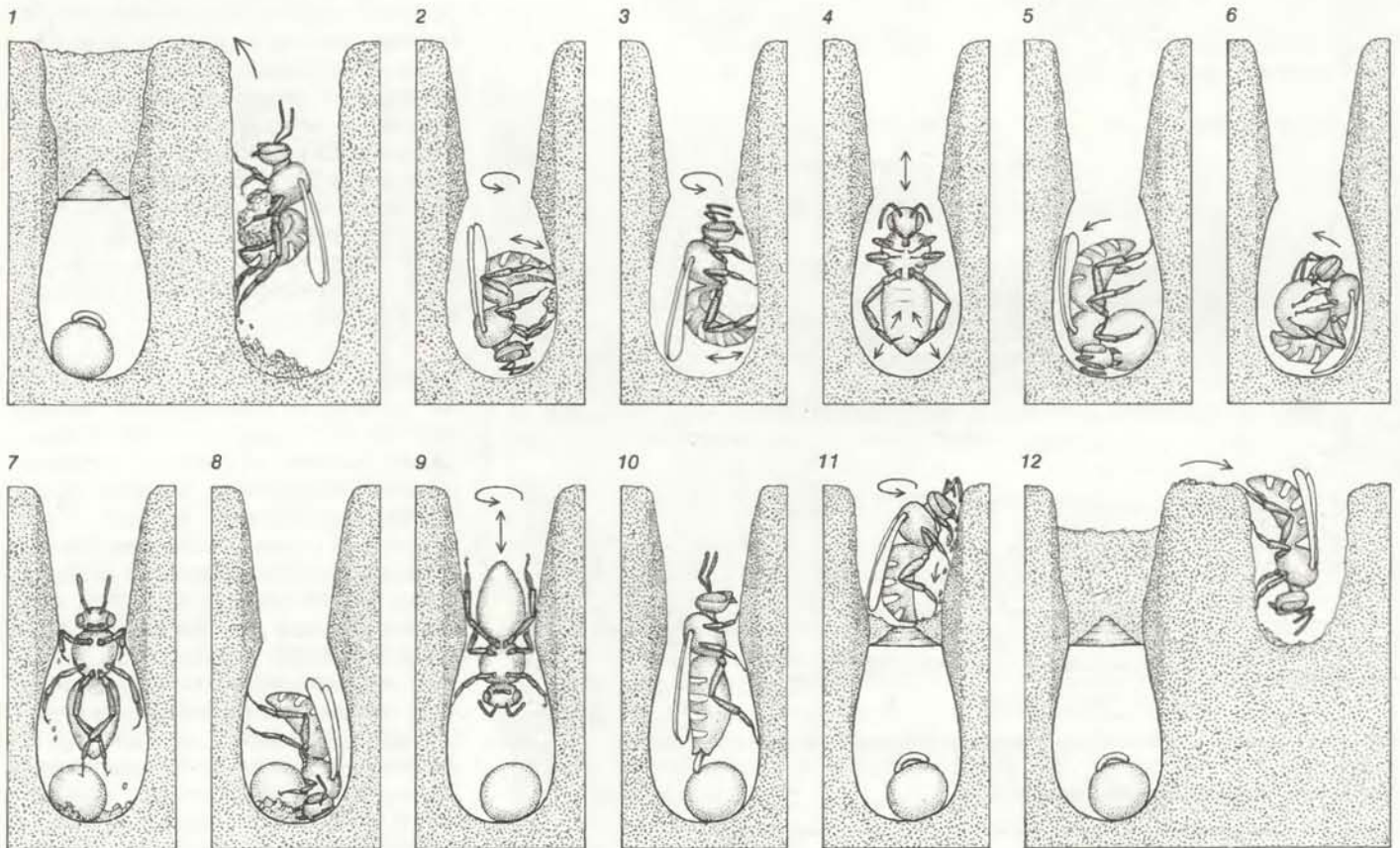
ского яблоневых сада, где широко применяются химические средства борьбы с вредителями, и другой — в заброшенном саду с цветущими деревьями или на краю леса. Для того чтобы обеспечить хорошее опыление яблонь в большом саду, где диких пчел явно недостаточно, владелец сада вынужден арендовать ульи с медоносными пчелами у пасечника по цене около 20 долл. за улей. При этом необходимы сотни, а то и тысячи ульев, так что опыление обходится слишком дорого и отнюдь не окупается доходами от меда и воска, которые дают пчелы.

Медоносные пчелы опыляют многие растения, но для некоторых их посещения неэффективны. Например, цветок люцерны имеет внутри небольшое образование, которое, наподобие пружинки, срабатывает, когда пчела опускает голову в цветок. Тычинки лопаются и ударяют пчелу по голове, осыпая ее пылью. Очевидно, медоносные пчелы не любят, чтобы их лупили по голове, и, будучи весьма смысленными созданиями, они научились просовывать свой длинный язычок по краю цветка, не касаясь «пружинки». Таким путем они собирают нектар, но не опыляют цветок. Люцерна — одна из главных кормовых культур (ежегодное

ее производство в США оценивается в 100 млн. долл.), и объем ее поставок на рынок имеет очень большое значение.

ВСЕВЕРО-ЗАПАДНЫХ штатах США и в Канаде ведутся интенсивные работы, цель которых использовать одиночных пчел для опыления люцерны. Речь идет о двух видах пчел: люцерновой пчеле-листорезе *Megachile rotundata* и солончаковой пчеле *Nomia melanderi*. Эти упорные насекомые, по-видимому, не слишком обращают внимание на то, что цветки норовят ударить их по голове, и спокойно делают свое дело — собирают осыпавшуюся пыльцу, чтобы наполнить ею свои гнезда. По происхождению люцерновая пчела-листорез — европейский вид; это высокоэффективный опылитель: она быстро перелетает с цветка на цветок и успевает посетить их за свой «рабочий день» достаточно много. Пчелы-листорезы гнездятся группами, строя свои ячейки из кусочков листьев люцерны. Фермеры делают на люцерновых полях навесы, куда помещают специальные доски с желобами для гнезд.

Солончаковая пчела относится к семейству Halictidae и по происхождению является американским видом.



ПОСТРОЙКОЙ ГНЕЗДА солончаковая пчела *Nomia melanderi* занимается все 24 ч в сутки. Как только самка заканчивает одну ячейку, она тут же принимается рыть норку для другой (7). Достигнув нужной глубины, самка уплотняет почву по краям (2), затем с помощью пигидиальной пластинки «полирует» внутреннюю поверхность ячейки (3) и смазывает ее секретом дюфуровой железы, делая ячейку водонепрони-

цаемой (4). Теперь пчела может складывать туда запас пищи — смесь меда и пыльцы — для будущей личинки (5, 6). Скатав и уложив шарик (7), пчела убирает из ячейки мусор (8), еще раз полирует стенки ячейки (9) и откладывает яйцо (10). После этого она запечатывает ячейку (11) и делает сверху затычку из грязи, которую набирает, раскапывая следующую ячейку (12).

Она предпочитает гнездиться на ровных участках солончаков, где подпочва хорошо удерживает влагу. Чтобы привлечь солончаковых пчел, фермеры устраивают «пчелиные грядки», представляющие собой облицованные пластиком рвы, заполненные подготовленной почвой; там создается наиболее благоприятная для пчел влажность, так что они охотно строят на этих «грядках» свои гнезда, причем плотность гнезд может достигать 2100 штук на 1 м².

Японская «роголицая» пчела* из семейства Megachilidae еще один вид одиночных пчел, который используется сейчас в практике сельского хозяйства. Медоносные пчелы часто не справляются с опылением яблоневых садов, так как «работают» довольно медленно, избегают прикасаться к тычинкам и часто предпочитают яблоням одуванчики и прочие сорняки. Лет сорок назад японские фермеры обратили внимание на то, что маленькая пчела, гнездящаяся в соломенных крышах их жилищ, проявляет себя как во всех отношениях превосходный опылитель яблоневых деревьев. За прошедшие годы усовершенствовались способы привлечения и содержания этой пчелы, и ныне в Японии повсюду, где растут яблони, можно видеть навесы из рисовой соломы, в которых гнездятся пчелы. Недавно в содружестве с Я. Мазта из Университета префектуры Симане и другими японскими коллегами мне удалось успешно акклиматизировать эту азиатскую пчелу на востоке США, где исследовали ее способность адаптироваться к иным климатическим условиям и использовать местные материалы для гнездования.

Жизненный цикл и образ жизни у многих видов пчел зависят от наличия специфических растений-хозяев. Виды пчел, которые посещают один или несколько близкородственных видов растений, называются олиголектными. А такие виды, как медоносная пчела, которые могут собирать пыльцу с самых разнообразных растений благодаря тому, что суммарный период активности всего населения улья длительный, носят название полилектных*.

У цветковых растений и олиголектных пчел развились интересные мутуалистические взаимоотношения. Например, местные американские тыквы наилучшим образом опыляются группой пчел, объединяющей несколько видов семейства Anthophoridae. Некоторые пчелы-галикты, опыляющие цветки

энотеры, которые раскрываются только перед заходом солнца, летают по ночам, что для пчел совсем необычно; глаза у этих насекомых очень большие, что помогает им ориентироваться в темноте. Некоторые виды из семейства Anthophoridae специализируются на опылении диких глориоз, цветки которых раскрываются утром. Пожалуй, наиболее высоко специализированы те одиночные пчелы, которые посещают цветы, дающие масла; пчелы собирают эти масла вместо нектара с помощью особых волосков, образующих похожую на гребень структуру; масла смешиваются с пыльцой, и получившаяся смесь самки складывают в ячейки для личинок.

Среди самых специализированных цветковых растений следует назвать орхидные. У некоторых из них развились уникальные приспособления, позволяющие использовать особенности поведения одиночных пчел. Так, у ряда видов имеются фальшивые нектарники — цветные пятна, не продуцирующие нектара. Пока пчела обследует пятно, пытаясь извлечь нектар, поллиний (поллиний — это комочек склеенных пыльцевых зерен) прикрепляется к ее телу, и она переносит его на другой цветок, который таким образом опыляется. Эта «хитрость» срабатывает до тех пор, пока пчела не поймет, что с таких нектарников ей взять нечего.

У некоторых орхидей цветки имеют особенную окраску и возбуждающий запах, напоминающие окраску и запах самок пчел или ос, благодаря чему они привлекают пчел-самцов. Те, принимая цветы за настоящих самок, пытаются спариться и получают при этом поллиний, который и переносят на другой, не менее соблазнительный цветок. Существуют и орхидеи, имитирующие самок отдельных видов пчел из семейства Anthophoridae. Когда агрессивно настроенный настоящий самец, ревниво относящийся к чужим на своей территории, видит цветок такой орхидеи, качающийся на ветру, он немедленно нападает на него, пытаясь прогнать «соперника» прочь; в результате поллиний оказывается прикрепленным к голове пчелы.

Наиболее сложны отношения между особыми южноамериканскими орхидными, у которых не образуется ни нектара, ни пыльцы, и опыляющими их пчелами. У самцов этих видов задние ноги увеличены и имеют отороченные волосками щели, ведущие во внутренние «кармашки»; кроме того, на передних ногах у них имеются бархатистые подушечки. Самцы собираются в своего рода рой, который привлекает самок, причем наиболее привлекательны для них те самцы, к которым пристала смесь ароматических веществ орхидеи. Пчела «душится» так: забравшись в цветок, начинает подушечками перед-

них ног тереть губу цветка, на которой находятся выделяющие ароматный секрет железки, при этом какие-то пахучие частицы попадают в щели на задних ногах; одновременно захватывается и поллиний. Способные пролетать за день до 23 км, эти пчелы эффективно опыляют растения, разбросанные по большой территории, что свойственно некоторым орхидным.

Пчелы, опыляющие орхидеи, реагируют, по-видимому, и на другие запахи. Самцы одного из видов пчел охотно залетают в дома, которые, чтобы уничтожить малярийных комаров, обрабатывали ДДТ. Они собирают частички дуста ДДТ в щели на задних ногах. Судя по всему, самцы не причиняют себе этим вреда, но как такие «духи» действуют на самок, неизвестно.

У ОДИНОЧНЫХ пчел самцы обычно появляются из куколки на несколько дней раньше самок своего вида. Они питаются пыльцой и цветочным нектаром и рыщут в поисках вновь вылупившихся девственных самок. Самцы многих видов собираются в непостоянные группы и совместно облетают места гнездования, ближайшие ориентиры и цветы, регулярно посещаемые самками. Когда самцы видят самку пчелы, они бросаются к ней, но если та не выделяет полового феромона, то самцы немедленно оставляют ее в покое; точно так же самцы бросаются к любому объекту, напоминающему самку, и сразу быстро улетают прочь. Когда появляется девственная самка, к ней тут же слетается туча самцов, каждый из которых пытается с ней спариться. Обычно это удается тому, который схватывает самку первым и крепко держит ее. У большинства видов самцы лишь конкурируют за самку, но не проявляют видимой агрессивности по отношению друг к другу. В то же время у некоторых видов пчел из семейств Megachilidae и Anthophoridae самцы весьма агрессивны и дерутся, стараясь изгнать других самцов со своей небольшой территории.

В древней Индии такие драки пчел-плотников за территорию назывались «пчелиными играми». Говорят, что, пользуясь явлением хоминга у этих пчел, их заставляли переносить крошечные письма. По рассказам жителей домов, где гнездятся пчелы-плотники, самцы с жужжанием гоняются друг за другом, а иногда даже устремляются вслед за пролетающими птицами и самолетами. Самцы, конкурирующие за территорию, пытаясь запугать друг друга, летая зигзагами «лицом к лицу» до тех пор, пока кто-то из них не уступит и не покинет поле боя.

В нарушение обычных для насекомых пропорций самцы некоторых видов рода *Anthidium* (семейство Megachilidae) крупнее своих самок. Ве-

* Очевидно, речь идет об одном из представителей рода *Osmia*. — Прим. перев.

* От латинского «lectica» — носилки. Термины, практически не употребляемые в отечественной литературе, где используются такие определения, как моно-, олиго- и политрофные виды. — Прим. перев.

роятно, это объясняется тем, что, сражаясь за посещаемую самками территорию, самцы *Anthidium* бьют друг друга головой и сцепляются в воздухе; физическая сила и масса тела дают преимущество, и крупный самец скорее одержит победу. Самцы этих пчел нападают и на других насекомых, которые залетают на их территорию. Своими сильными мандибулами они обламывают агрессору крылья, а крепкими абдоминальными шипами прокалывают ему тело. Любопытно, что самцы, которые днем сражались друг с другом за территорию, могут вечером мирно собираться группами, чтобы устроиться на ночлег.

Известный натуралист Уильям Керби писал в 1802 г.: «Я часто думаю о том, что, если бы джентльмены, которые развлекаются химическими экспериментами, направили свое внимание на насекомых, это наверняка привело бы к открытию новых могучих лекарств. Многообразие сильных запахов, которые издают эти мелкие существа, удивительно. . . Многие *Melitae* обладают сильным запахом, похожим на запах чеснока или лука». Интересное, хотя и рискованное занятие — осторожно нюхать пойманных живых пчел и ос. Они действительно пахнут; разнообразные запахи служат им, очевидно, средствами связи и защиты. Не-

большие железы, расположенные в основании мандибул, при открывании последних выделяют в различной комбинации терпены, альдегиды, кетоны, эфиры, пиразины и другие едкие или ароматные соединения.

У многих видов пчел самцы наносят свои секреты на растительность, обозначая таким путем свою территорию. У других секреты выполняют роль аттрактантов для особей одного или обоих полов. Например, если большое число пчел, относящихся к родам *Colletes*, *Nomia* или *Anthophora*, накрыть сетью на месте их гнездования, они начинают кусать сеть, пытаются выбраться из нее, и выделяют при этом секреты мандибулярных желез. Пчелы, находящиеся на свободе с подветренной от сети стороны, слетаются к ней. То, что пчел влечет именно секрет мандибулярных желез, было продемонстрировано в опытах, в которых пчел привлекали отпрепарированными железами или соответствующими синтетическими веществами, смешанными в нужной пропорции. Мандибулярные железы небольших пчел-плотников *Ceratina* и *Pithitis* выделяют едкие секреты, когда насекомые раздражены. Пчелы размазывают их по своему телу и по телу агрессора. На муравьев, нападающих на пчелиные гнезда, эти секреты действуют как репеллент.

О том, что и у одиночных пчел развивается общественное поведение, свидетельствует повышение выживаемости их потомства при разделении функций: одни пчелы охраняют гнезда, а другие запасают пищу. Иногда несколько пчел объединяются для постройки гнезда и создания пищевых запасов, что, видимо, также дает определенную выгоду.

Общественное поведение может развиваться двумя путями. Первый состоит в том, что удлиняется продолжительность жизни пчелы-матери, так что она может быть полезной своим появляющимся на свет потомкам, а они, в свою очередь, ей. Это наблюдается у некоторых пчел из семейств Halictidae и Anthophoridae. Возможен и другой путь: пчелы одного поколения соединяют гнезда и кооперируют при их постройке и создании пищевых запасов. Такой тип поведения отмечается у нескольких видов пчел в семействах Halictidae, Andrenidae, Megachilidae и у пчел — опылителей орхидных. Однако истинно общественное поведение с разделением труда между особями, когда имеются царицы, доминирующие над остальными и кладущие яйца, и неразмножающиеся рабочие особи, встречается среди пчел относительно редко. Помимо всем хорошо известных общественных безжалых пчел, шмелей и медоносных пчел, оно свойственно лишь нескольким видам из семейства Halictidae и некоторым мелким пчелам-плотникам.

Издательство МИР предлагает:

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ И ПЕРЕХОД К ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Перевод с английского

Коллективная монография известных физиков и гидромехаников из США, Англии и Канады отражает успехи, достигнутые в последние годы в понимании и описании процесса возникновения турбулентности. Описывается находящая все более широкое применение концепция странных аттракторов, излагаются современные математические методы теории устойчивости и теории бифуркаций, дается обзор теоретических и экспериментальных результатов по линейной и нелинейной стадиям неустойчивости, переходу к турбулентности в термоконвекции, течении Куэтта, свободных сдвиговых течениях, а также в течениях, встречающихся в геофизике и т.д.

Для специалистов по физике нелинейных явлений, механике, геофизике, а также для аспирантов и студентов старших курсов.

1984, 24 л. Цена 3 р. 50 к.

НОВОЕ В ТЕХНОЛОГИИ СОЕДИНЕНИЙ ФТОРА

Перевод с японского
Под ред. Н. Исикавы

Основным содержанием книги являются новейшие технологические данные по получению и применению соединений фтора в ядерной энергетике, электронной промышленности, производстве волокон, пластмасс, каучуков, лекарств и сельскохозяйственных химикатов. Приведенные в ней данные связаны также с рядом чрезвычайно важных и быстро развивающихся специальных отраслей промышленности. Данные взяты из патентных материалов, технических докладов и других источников, труднодоступных для советских специалистов.

Содержание: Применение соединений фтора. Применение в областях, связанных с энергией. Применение в областях, связанных с передачей информации. Применение в производстве химических волокон. Применение в медицине. Фторсодержащие лекарства. Фторсодержащие сельскохозяйственные химикаты.

1984, 35 л. Цена 5 р. 50 к.



Психологические аспекты машинописи

Как удается квалифицированным машинисткам достичь высокой скорости печатания? Сто лет исследований не дали определенного ответа на этот вопрос.

Преобладает гипотеза, что машинистка, совершенствуя свое мастерство, приобретает способность совмещать (перекрывать) свои психические процессы

ТИМОТИ А. СОЛТХАУЗ

УМЕНИЕ печатать занимало психологов-эксперименталистов еще с тех пор, как появилась первая пишущая машина. Оно занимает их и по сей день, так как даже средняя скорость работы машинисток пока превышает ту, которую может предсказать психолог на основе традиционных лабораторных опытов. Возьмем, к примеру, типичную секретарскую работу — перепечатку документа. Это, по существу, преобразование последовательности символов (букв, цифр и т.д.), находящихся в поле зрения машинистки, в последовательность моторных действий — нажатие печатных клавиш. Таким образом, это очень напоминает серию задач на скорость реакции выбора, в которых субъекту

представлен один зрительный стимул из набора, содержащего два и более стимулов после получения им инструкции о немедленном нажатии определенной клавиши, соответствующей данному стимулу. При оптимальных условиях (наличии людей с высокой квалификацией и минимальном числе альтернатив «стимул-реакция») среднее латентное время, или задержка, между предъявлением стимула и нажатием клавиши составляет примерно 250 мс. Парадокс машинописи заключается в том, что при латентности 250 мс скорость печатания должна достигать 48 слов/мин (если принять 5 ударов на 1 слово). Тем не менее на практике обычными считаются и вдвое большие скорости.

Почему это возможно? Чему же такому научились квалифицированные машинистки, что позволяет им преодолевать, казалось бы, весьма существенные ограничения? Каждый человек имеет свое минимальное время реакции, которое должно ограничивать максимальную скорость печатания, и все же опытные машинистки выработали у себя средство преодоления своих перцептивных и моторных ограничений. Значение их достижения гораздо шире машинописных навыков. В конце концов, понимание тонкостей любого мастерства, т.е. знание того, чем отличаются более квалифицированные люди от менее квалифицированных, должно использоваться при отборе обучаемых, а также вообще при их обуче-



РЕАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ МАШИНОПИСИ превышает скорость, которую можно предположить в результате психологических опытов. На клавиатуре под каждой клавишей проставлены значения среднего времени (в мс), затрачиваемого на удар по данной клавише. Данные усреднены по результатам испытаний десяти квалифицированных машинисток.

Большой частью это время довольно мало — менее 250 мс (цветные цифры). Тех же машинисток попросили поставить оба указательных пальца на определенные клавиши и нажать на них, как только на экране появится буква l или r (обозначающие левую — left или правую — right руку). Время реакции составило 500—600 мс.

нии любым навыкам. Понимание навыка машинописи может иметь значение и для реабилитационной терапии.

МАШИНОПИСЬЮ в Соединенных Штатах Америки стали пользоваться в конце XIX в. — в период становления экспериментальной психологии. Может быть, именно поэтому некоторые из первых психологических исследований были связаны с различными аспектами машинописи. В результате были вскрыты основные закономерности, свойственные машинописи: скорость печатания повышается, если удары чередуются то одной рукой, то другой, если последовательно ударяются пары букв, имеющих высокую частотность употребления в языке, если печатаемый материал имеет значимость для машинистки и т.д. Таким образом, эти исследования позволили получить некоторые первые научные результаты относительно взаимодействия человека и машины. Действи-

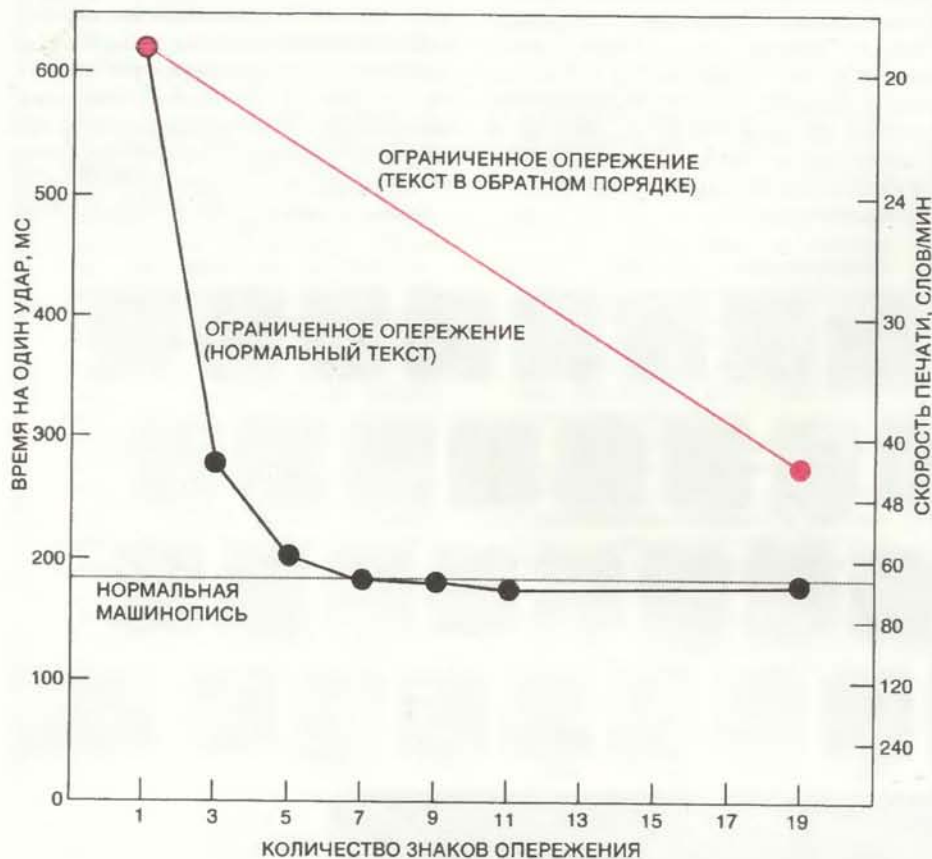
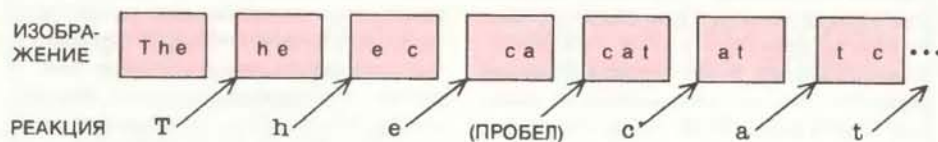
тельно, эти исследования выявили, каким должен быть человеко-машинный интерфейс (который порой считается одним из наиболее слабоадаптивных среди когда-либо созданных интерфейсов) — стандартная клавиатура пишущей машины, называемая также QWERTY.

Клавиатура QWERTY (названная по последовательности букв в ее верхнем ряду) была разработана в 70-х годах прошлого века без эмпирических исследований. В ней была сделана попытка устранить недостатки более ранних машин, в которых даже при умеренных скоростях печати заклинивало клавиши. Клавиатуру QWERTY критиковали за то, что она требует непропорциональных усилий для самых слабых пальцев каждой руки, и поэтому предлагались другие варианты расположения клавиш. К сожалению, QWERTY уже так прочно утвердилась, что преимущества более совершенного расположения клавиш вряд ли перевесят сто-

имость переучивания нынешних машинисток и затраты на реконструкцию существующих пишущих машин и прочих устройств с такой же клавиатурой. Очевидно, в проектировании практически всего используемого людьми оборудования должны принимать участие специалисты в области эргономики и инженерной психологии.

Об одном из самых ранних исследований в области машинописи было сообщено Вильямом Ф. Буком в 1908 г. На Бука сильно повлияли классические исследования, проведенные на телеграфистах и опубликованные за 11 лет до этого психологом-эксперименталистом Вильямом Брайаном и бывшим телеграфистом Ноублом Гартером, писавшим дипломную работу по психологии. Эти ранние исследователи на основе интервью, систематических наблюдений и регистрирования деятельности телеграфистов пришли к выводу, что телеграфист по мере повышения своей квалификации фокусирует внимание на все более крупных элементах — начиная от точек и тире (основных элементов телеграфии) до знаков, слогов, слов и даже фраз. Сейчас существует уже немало доказательств того, что многие навыки формируются именно в такой иерархической последовательности. Более того, очевидно, что овладение навыками типа чтения было бы почти невозможным, если бы читающий всегда анализировал текст по отдельным его элементам в виде изолированных букв. Бук, опираясь на теоретические предпосылки, высказал предположение о том, что квалификация в машинописи повышается за счет наращивания размера вербальных элементов (групп) от одного знака до целых слов и даже фраз.

Спустя пятнадцать лет после того, как Бук высказал свое предположение, значение анализа крупных элементов в процессе овладения машинописью было продемонстрировано эмпирически Джоном Е. Кувером. Он сжато сформулировал свой вывод: «Если текст печатается знак за знаком, т.е. как только напечатана одна буква, автоматически появляется следующая, то работа специалиста сводится к последовательности реакций на букву и скорость его работы резко снижается». Это наблюдение вполне подтверждается исследованиями с привлечением ЭВМ. В своей лаборатории в Миссурийском университете (г. Колумбия) я провел с помощью ЭВМ эксперимент: машинистки видели перед собой «опережающее изображение» рукописного текста, причем опережение можно было менять от 1 до 39 знаков, т.е. материал, демонстрируемый на экране видеотерминала, опережал печатаемый машинисткой знак на 0—38 знаков. Машинистки печатали на стандартной клавиатуре, и время (в миллисекундах) между последовательными ударами авто-



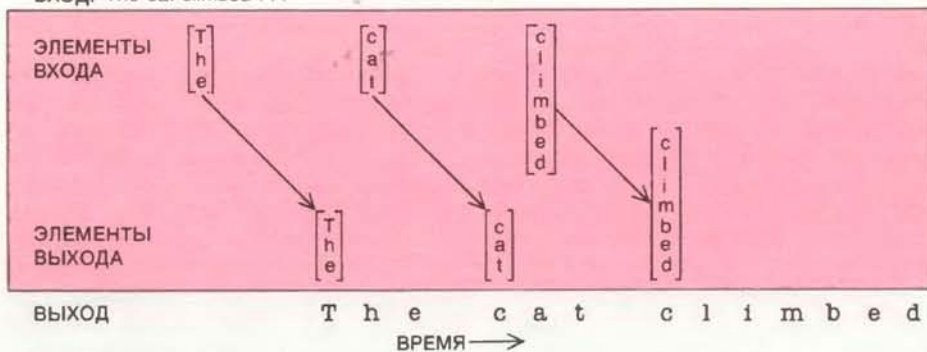
ОГРАНИЧЕНИЕ ОБЪЕМА ОПЕРЕЖАЮЩЕГО ТЕКСТА снижало скорость печатания. Напротив каждой машинистки помещался экран, на котором изображение текста постоянно на несколько значений опережало знак, печатаемый машинисткой в каждый данный момент. (В верхнем примере взят текст *The cat climbed...*, а опережение составляет три знака.) Скорость машинописи достигла нормальной, только когда опережение увеличилось до семи знаков. Аналогичный эффект наблюдался и в том случае, если в тексте порядок букв в словах менялся на обратный.

матически регистрировалось и запоминалось вместе с каждым напечатанным знаком.

Сейчас многие машинистки подвергаются таким испытаниям. Результаты одинаковы в том плане, что каждый испытуемый печатает очень медленно при самом небольшом опережении печатаемого текста и быстрее, если опережение увеличивается. Минимальный объем (число знаков) опережающего текста, при котором скорость печатания достигла нормальной (т.е. скорости печатания при неограниченном опережении и при условии, что машинистка может следить, как регистрируется ее работа), составил от трех до семи знаков. (Десять машинисток, участвовавших в исследовании, имели возраст от 20 до 40 лет; скорость их печатания без учета опечаток составляла от 50 до 75 слов/мин.) Если на скорость печатания влияет визуальная доступность знаков, опережающих печатаемый знак на семь ударов, то следует сделать вывод, что машинистка держит эти знаки в поле зрения. Таким образом, между знаком, на который обращено внимание машинистки, и знаком, клавиша которого нажимается в данный момент, должен существовать промежуток. Наличие такого промежутка было замечено и в исследованиях движения глаз машинистки.

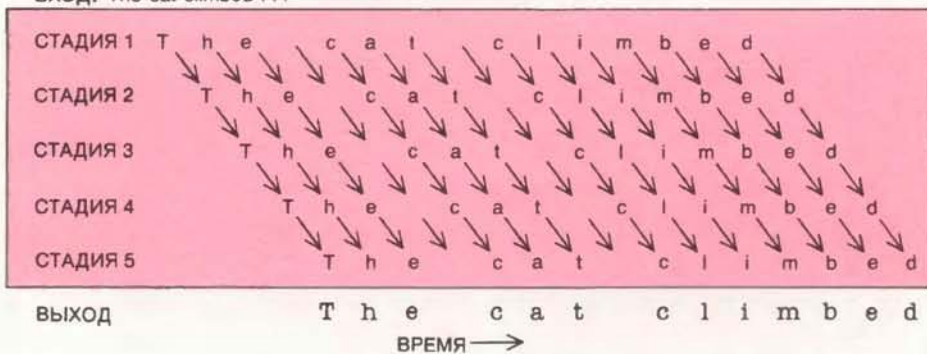
ВЧЕМ ЖЕ состоит преимущество опережения, позволяющего квалифицированным машинисткам преодолевать ограничения времени реакции? О причине этого явления пока еще спорят. Бук был бы склонен предположить, что машинистки в процессе совершенствования навыка переходят от режима познакового анализа к режиму анализа все более крупных элементов — слов и фраз. Таким образом, предполагается, что машинистка группирует материал и на входе (текст, подлежащий печатанию) и на выходе (последовательность ударов по клавишам). Группировки на входе представляют собой перцептивные единицы («куски»). Вероятно, они состоят из слогов или обычных слов, состоящих в свою очередь, скорее всего, из трех-семи знаков. Группировки на выходе аналогичны тому, что современные теоретики называют моторными программами, и состоят из единых последовательностей по существу автоматических ударов. Фактически принимается, что для печатания какой-либо данной группы знаков на выходе требуется лишь стартовый сигнал, после которого уже ничто не влияет на выполнение движения. Согласно этой гипотезе, для максимальной скорости печатания требуется опережение от трех до семи знаков, так как при меньшем опережении исключается возможность группировать знаки.

ВХОД: The cat climbed . . .



«ГИПОТЕЗА ГРУПП» — попытка объяснить и эффект опережения, и необычно высокую скорость работы квалифицированных машинисток. Гипотеза основана на предположении, что материал, подлежащий печатанию, в уме машинистки членится на многозначные элементы (в данном случае слова) и что печатанием каждого элемента управляет автономная «моторная программа».

ВХОД: The cat climbed . . .



СОВМЕЩЕНИЕ И ВЗАИМОНАЛОЖЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ — это конкурирующая гипотеза. Она предполагает, что, во-первых, печатание каждого знака состоит из нескольких стадий (в данном случае из пяти) и, во-вторых, что фазы эти взаимно накладываются. При малом опережении процесс наложения затрудняется.



ВРЕМЕННАЯ «СХЕМА» УДАРОВ, выявленная в результате десятикратной перепечатки одной машинисткой предложения The quick brown fox. . . , на первый взгляд подтверждает «гипотезу групп». Заданная буква (в данном случае «о») в разных словах печатается с различной скоростью, как если бы она находилась под контролем различных моторных программ.

Вскоре после того, как Бук высказал свое предположение, некоторые выступили с конкурирующей идеей. Она заключалась в том, что скорость машинописи преодолевает временной предел реакции выбора за счет взаимного наложения «операций обработки». Август Дворак, упорно защищавший эту идею, к тому же критиковал клавиатуру QWERTY и предложил другую, собственного изобретения. Дворак, подобно Буку, задавал вопрос, почему удары при печатании следуют быстрее, чем отдельные нажатия на клавишу при испытании на быстроту реакции выбора. В 1936 г. он писал: «Ответ заключается в том, что даже при последовательности из двух знаков во время удара одним пальцем другой

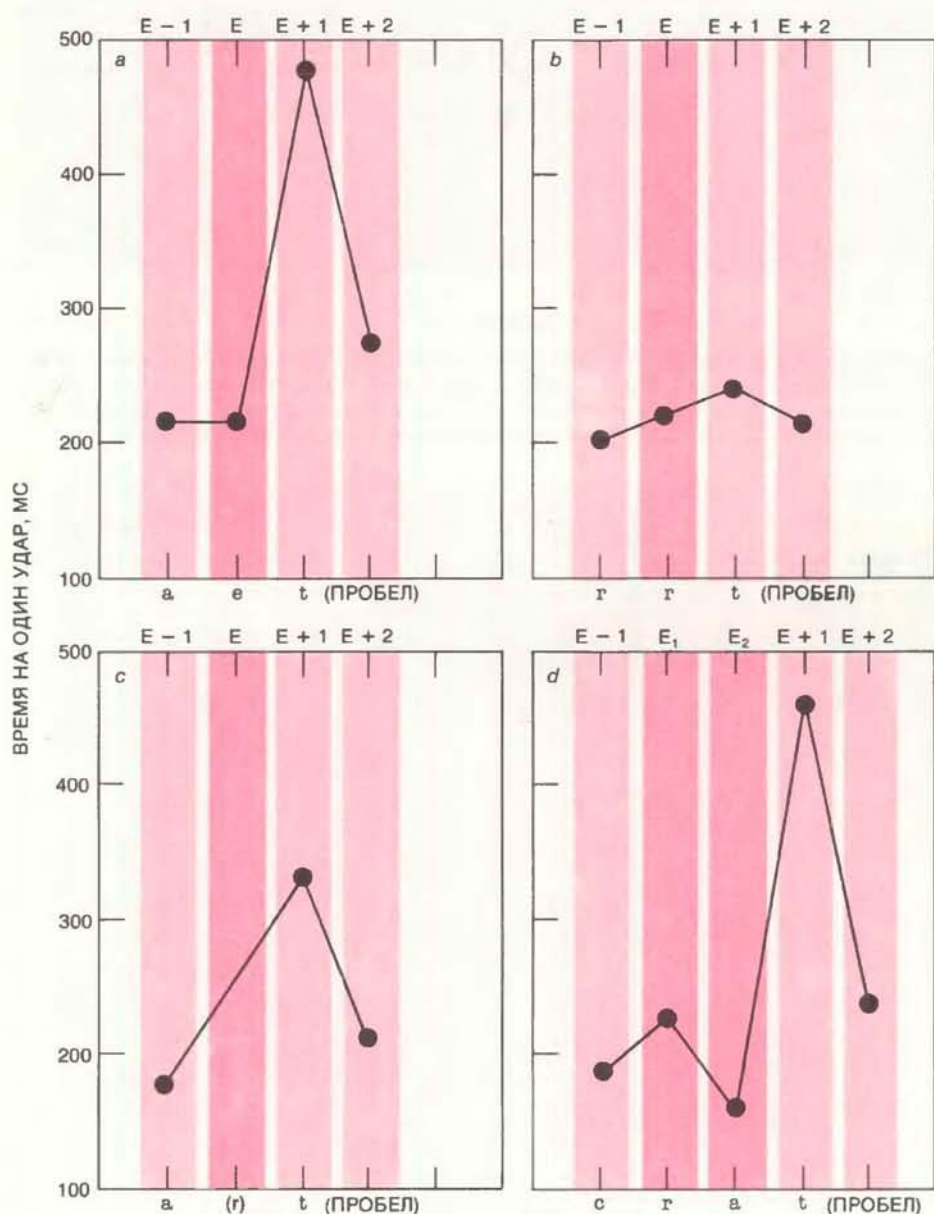
уже начинает занимать свое положение, и его удар накладывается на первый».

Операциям обработки можно дать современные названия, подобные тем, которые используются в недавно появившихся «теориях стадий обработки информации» при рассмотрении задач на скорость реакции выбора. Начать можно с кодирования — восприятия каждого знака. Затем идет категоризация стимулов (скажем, на классы ударов для левой и правой руки), принятие решения о том, каким пальцем произвести удар, и наконец, подготовка и выполнение движений, непосредственно связанных с печатанием. По этой гипотезе для максимальной скорости печатания требуется, чтобы машинистка

заранее видела определенную часть текста, так как его визуальная доступность позволяет выполнять последовательность операций обработки параллельно для нескольких знаков. При этом поздние стадии последовательности сопровождаются ранними стадиями других — вместо строгой преемственности операций, диктуемой доступностью в данный момент только одного знака.

В пользу «гипотезы групп» (той, которую предпочел бы Бук) говорят и результаты анализа временных интервалов между ударами по клавишам, производимыми машинисткой при многократном печатании одного и того же текста с неограниченным опережающим обзором. В этих условиях для каждой машинистки, как правило, характерно довольно постоянное распределение во времени ударов (временная схема), составляющих какое-то данное слово, — как будто отдельные удары находятся под контролем единой моторной программы. Это постоянство нельзя объяснить только разной степенью доступности различных клавиш или неодинаковой силой отдельных пальцев, так как оказывается, что один и тот же знак печатается в разных контекстах с различной латентностью. Пример — буква «о» в известном предложении: *The quick brown fox jumps over the lazy dog*. Машинистка, участвовавшая в моем исследовании, печатала букву «о» в этом предложении со средней латентностью 370 мс в слове *brown*, 160 мс в слове *fox*, 185 мс в слове *over* и 130 мс в слове *dog*.

ОДНАКО дальнейшие результаты говорят о важных свойствах «гипотезы групп». Если эту гипотезу понимать буквально и если знаки слова организованы в строго баллистическую моторную программу, то можно предположить, что опечатки, допущенные в какой-либо момент выполнения этой программы, останутся незамеченными по меньшей мере до завершения программы. Это предположение можно исследовать посредством анализа опечаток, допущенных при нормальном печатании. Сообщалось (первые сведения об этом появились вскоре после самой ранней работы Бука), что удары, выполняемые машинисткой сразу после осознания допущенной ею ошибки, частично тормозятся — т.е. по сравнению с нормальным печатанием они либо слабее, либо производятся с замедлением. Если это так, то упомянутые явления могут служить указателями моментов обнаружения ошибок. Но у этих указателей есть один недостаток: весьма трудно предсказать, как та или иная машинистка группирует материал. Предпочтительнее принять, что эти группы не существуют вообще. Тогда опечатки можно было бы обнаруживать немедленно. Поэтому от-



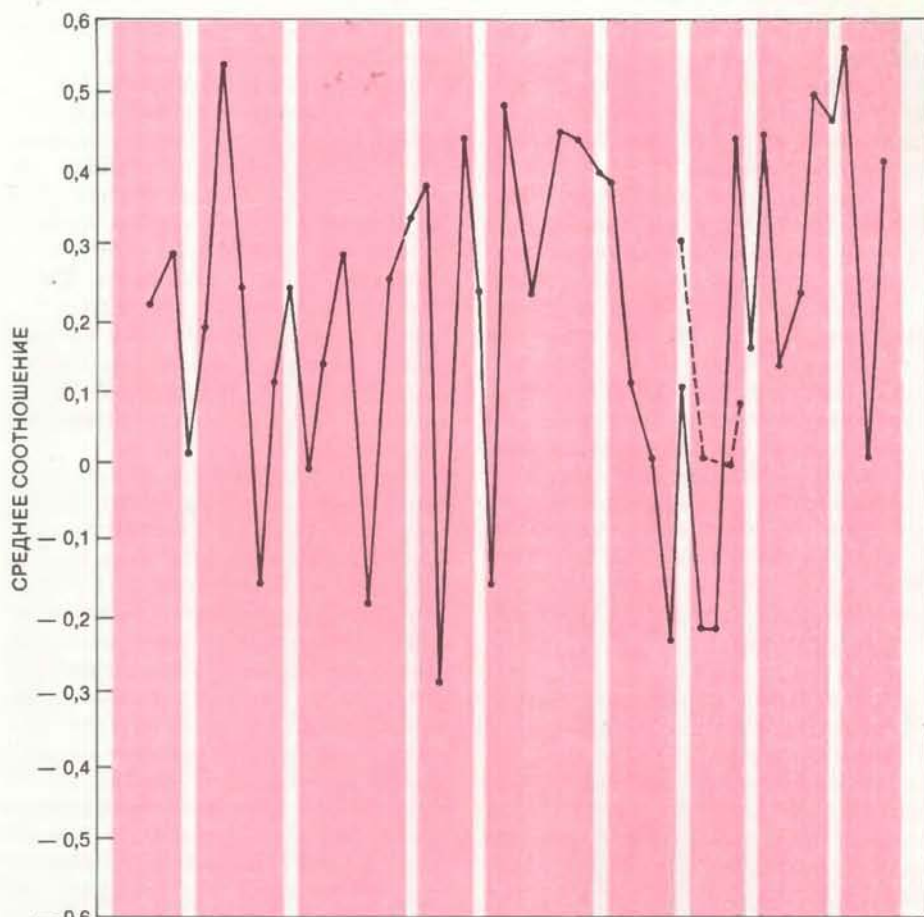
ВОЗМОЖНОСТЬ ОПЕЧАТОК ослабляет «гипотезу групп». Здесь показаны четыре типа опечаток: (a) подстановка — вместо *cart* напечатано *caet*; (b) вставка — вместо *cart* напечатано *cartt*; (c) пропуск — вместо *cart* напечатано *cat*; (d) перестановка — вместо *cart* напечатано *crat*. В каждом случае следующий после опечатки (темный тон) знак машинистки печатали с замедлением. Замедление показывает, что машинистка чувствует какой-то сбой. Согласно «гипотезе групп», обнаружить опечатки столь быстро нельзя.

существование доказательств немедленного обнаружения опечаток будет говорить в пользу того, что управление машинописью осуществляется по многозначным группам.

Я определил средние латентности для ударов по клавишам, следующих до и после каждого из четырех типов опечаток: подстановки (например, напечатано *caet* вместо *cart*); вставки (*cartt* вместо *cart*); пропуска (*cat* вместо *cart*) и перестановки (*crat* вместо *cart*). Объяснить опечатки-пропуски нелегко: вполне возможно, что латентность пропущенного удара объединяется с латентностью следующего удара. Кроме того, некоторые ошибки обнаруживаются машинисткой только при считывании отпечатанного текста. А на основе анализа необнаруженных опечаток вряд ли удастся выявить какие-либо особенности процесса их обнаружения. И все же из полученных мною результатов следует, что большая доля опечаток обнаруживается немедленно и не в конце многозначных групп. Это еще не значит, что групп на выходе не существует. Но это говорит о том, что управление машинописью отнюдь не сводится к многозначным моторным программам.

Еще одно доказательство вывода о том, что контроль ударов по клавишам осуществляется по группам, меньше, чем слова и даже слоги, было недавно представлено Гордоном Д. Логаном (Университет в г. Торонто). Логан использовал следующий метод: машинистки получили инструкцию — немедленно прекращать печатать, как только услышат звуковой сигнал. Логан исходил из того, что если ударами машинистки управляют моторные программы, ориентированные на длину слова, то машинистка вне зависимости от момента звучания сигнала и числа оставшихся букв допечатает слово до конца. Он обнаружил, что независимо от длины слова машинистки, услышав сигнал, прекращали печатать в среднем после одного-двух знаков.

ТРЕТЬЕ доказательство, подрывающее «гипотезу групп», вытекает из сравнения печатания нормальных и беспорядочных текстов. «Гипотеза групп» позволяет сделать два предположения относительно печатания беспорядочных текстов. Во-первых, процесс деления на элементы требует, чтобы сгруппированный на входе материал соответствовал заранее заданному моторному программ. Таким образом, этот процесс должен нарушаться в том случае, если печатаемый материал не похож на нормальный английский язык и скорость печати, следовательно, должна резко снизиться. Во-вторых, беспорядочный текст не поддается делению на группы даже при неограниченном опережении. Значит, сокращение объема опережающего



The quick brown fox jumps over the lazy dog

ОТСУТВИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕЛЯЦИИ между скоростями последовательных ударов при печатании предложения *The quick brown fox. . .* также ослабляет «гипотезу групп». Каждая точка отражает степень связи между временем, затрачиваемым на данный удар, и временем, необходимым для предыдущего удара. Диапазон шкалы — от 1 через 0 до -1. Соотношение, равное 1, означает, что увеличение одной из переменных всегда сопровождается пропорциональным увеличением другой. Соотношение, равное -1, означает, что увеличение одной переменной всегда сопровождается пропорциональным уменьшением другой. Соотношение, равное 0, означает, что переменные взаимно независимы. Разбросанность точек предполагает, что знаки каждого слова не могут быть частью элемента более высокого порядка. Пунктиром изображено соотношение между ударами в процессе печатания слова *the* в неповторяющемся материале. И опять никакой взаимной связи не обнаружено.

текста никак не должно влиять на скорость печатания.

Эти предположения были изучены следующим образом: машинисткам давали печатать предложения, в которых слова были написаны наоборот — т.е. теми же буквами, но в обратном порядке. Получившийся текст не был совсем беспорядочным, но в нем были нарушены привычные сочетания букв и порядок слов английского языка при сохранении частотности букв и порядка межсловных интервалов. Было установлено опережение в 19 знаков и в 1 знак, причем при каждом из этих условий машинистки печатали текст дважды. Первое предположение подтвердилось: скорость печатания стала иной. А второе предположение оказалось ошибочным: при опережении 19 знаков скорость печатания была значительно выше, чем когда оно составляло всего один знак. Таким образом,

подтвердилось значение объема опережающего текста. Действительно, увеличение числа видимых знаков давало почти одинаковое преимущество при печатании как нормального, так и бессмысленного материала. Из этого следует, что преимущества представления взгляду машинистки материала более чем по одному знаку нельзя просто объяснить делением этого материала на смысловые группы на входе и выходе.

Позиции «гипотезы групп» еще более пошатнулись, когда выяснилось, что латентности следующих друг за другом ударов по клавишам соотносятся между собой весьма слабо. То есть получается, что время, затрачиваемое машинисткой на какой-либо данный удар, почти не влияет на время, затрачиваемое ею на следующий удар. Если бы ряд последовательных ударов находился в пределах группы на выходе, то можно было бы предположить

подобную зависимость. Если на первый удар тратится больше времени, то и на второй удар времени уйдет больше. В итоге оба удара должны были бы управляться каким-то единым процессом высшего порядка.

И наконец, не в пользу «гипотезы групп» говорит и тот выявленный факт, что между длиной слова, с одной стороны, и либо латентностью первого удара в слове, либо средним промежутком времени между последовательными ударами, с другой стороны, нет вообще никакой связи. Предположение о влиянии длины слова на скорость печатания могло основываться на том, что время, необходимое на «поиск» и «подготовку к выполнению» моторной программы (пользуясь терминологией из области вычислительной техники), должно быть связано с числом элементов (отдельных ударов), управляемых этой программой.

НИ ОДНО ИЗ приведенных доказательств, взятых в отдельности, не является само по себе выводом. Однако в комплексе все эти факты довольно убедительно свидетельствуют о том, что достигаемые на практике скорости машинописи, не согласующиеся с данными о скорости реакции выбора, вряд ли можно объяснить одним лишь переходом от мелких к более крупным элементам анализа: от одного знака к слогу и затем к слову. Почему же тогда «гипотеза групп» кажется такой привлекательной? Это можно, в частности, объяснить бытующим среди машинисток субъективным мнением, что стоит им только подумать о каком-то слове — и оно уже автоматически напечатано. Такое мнение может сло-

житься у машинистки скорее под влиянием процессов, характерных для входа, нежели для выхода. В частности, пожизненный навык чтения, вероятно, включает в себя и восприятие письменного языка в виде многозначных элементов на входе. Таким образом, рукопись в процессе перепечатки может в восприятии машинистки делиться на элементы — слоги или слова. После этого подготовка и выполнение дискретных моторных действий, из которых складывается машинопись, могут осуществляться по правилам, совершенно не поддающимся осознанию и объяснению.

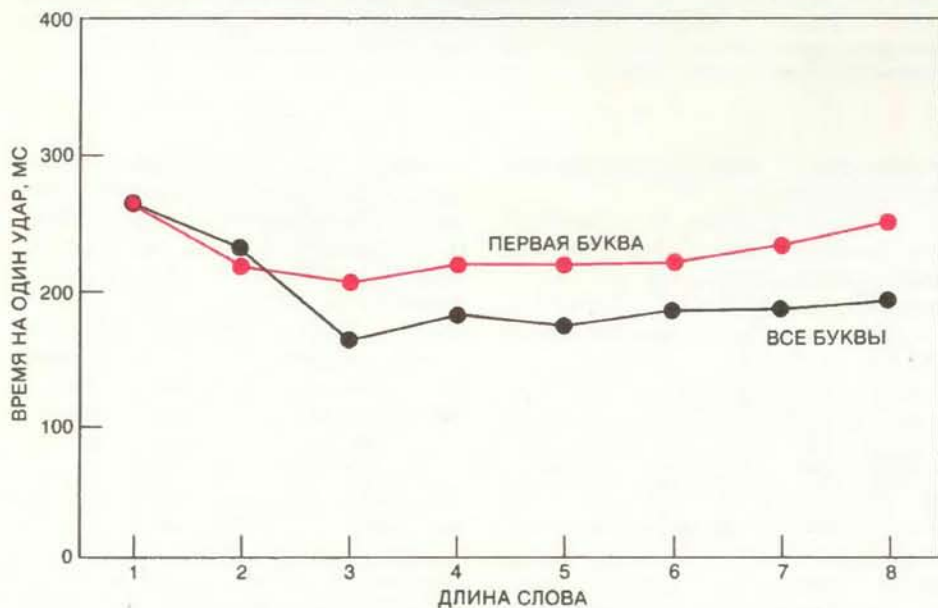
Так чем же объяснить доказательство в пользу «гипотезы групп» (например, временная неизменность, или «схема», ударов при печатании предложения *The quick brown fox. . .*), если не моторной программой? А именно, как объяснить конкурирующее мнение, согласно которому у квалифицированных машинисток операции обработки накладываются одна на другую? Возможно, время, затрачиваемое на удар, зависит от таких факторов, как расположение предыдущих и последующих клавиш, а также направление, в котором должны двигаться отдельные пальцы. Важность этих факторов подтвердилась, когда выяснилось, что время, затрачиваемое на удар, сокращается, если предыдущий удар был сделан пальцем другой руки. Мои собственные наблюдения за процессом нормальной машинописи показали, что сочетания из двух ударов разными руками выполняются в среднем на 40 мс быстрее, чем сочетания ударов, выполняемых одной рукой. Аналогичные результаты были получены и более

ранними исследователями, изучавшими серии ударов одним или разными пальцами (последние выполнялись быстрее), а также ударов по клавишам, расположенным в одном или в разных рядах клавиатуры. (Результаты неоднозначны: например, указательный палец перемещается внутрь ряда быстрее, чем на другой ряд.)

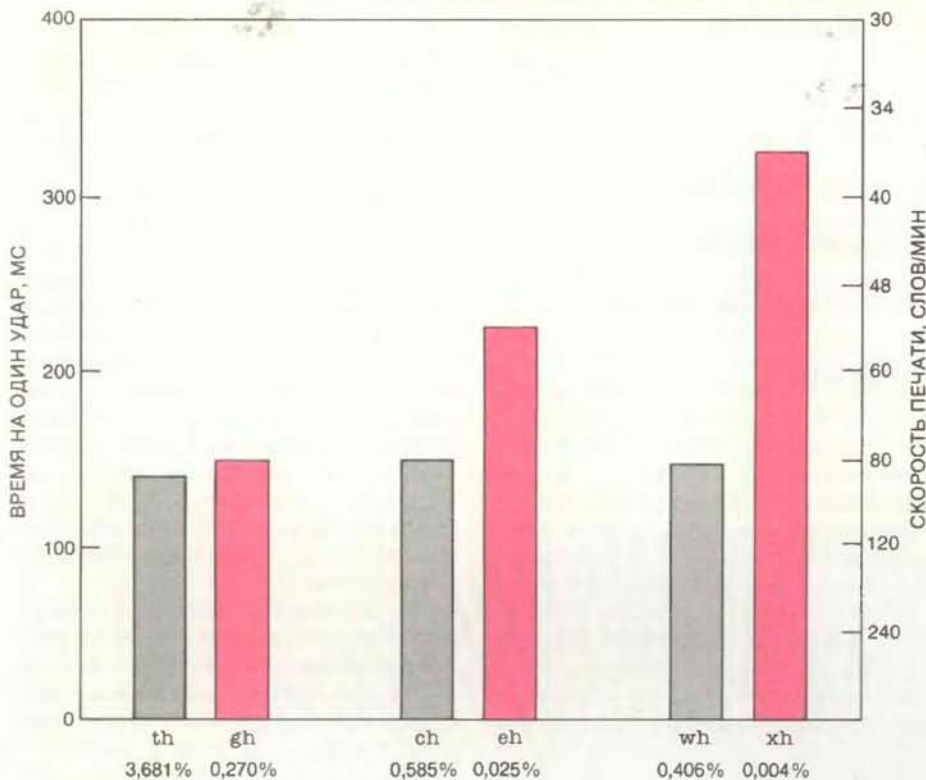
Можно также предположить, что важное значение имеет относительная частота, с которой отдельные сочетания знаков печатались ранее: часто печатаемые последовательности ударов выполняются быстрее, чем те, которые прежде машинистке встречались реже. Это предположение можно проанализировать посредством расчета соотношения между двумя переменными: с одной стороны, частотности различных двузначных сочетаний в английском языке, и с другой — значения латентности между двумя ударами в каждом сочетании в разные моменты появления этих сочетаний в процессе нормальной машинописи. Диапазон частотности оказался велик: от нуля процентов для сочетания *qr* до 3,68% для сочетания *th*. Поэтому мне пришлось применить логарифм частотности. Соотношение оказалось низким: лишь около 4% изменчивости латентности между ударами можно отнести за счет изменчивости логарифма частотности двузначных сочетаний. Тем не менее средняя латентность снижалась примерно на 52 мс на каждое увеличение частотности на одну логарифмическую единицу. Так обнаружился эффект частотности. Я не проводил подобного анализа на более крупных сочетаниях знаков, но есть полное основание предполагать, что и для трехзначных сочетаний характерен эффект частотности. Установлено, что только 104 трехбуквенных сочетания (из 26^3 , или 17576, возможных) составляют почти половину всех встречающихся трехбуквенных сочетаний в английском языке.

До сих пор во внимание принималось лишь то общее, что свойственно всем машинисткам. Следует также отметить и роль их индивидуальных качеств. Одно из них — степень осознания машинисткой того, что она печатает. Проведенное мною исследование показало, что некоторые машинистки почти не имеют никакого представления о содержании печатаемого ими материала. Другие машинистки говорили, что поняли материал по меньшей мере так, как если бы они его прочитали. Их субъективные сообщения подкрепляются результатами тестов на понимание, проведенными после печатания. Тесты показали, что правильные ответы составляли от 12,5 до 75%.

МАШИНИСТКИ различались также по частоте допущения опечаток разных типов. Самыми редкими опе-



ОТСУТСТВИЕ ЭФФЕКТА ДЛИНЫ СЛОВА — еще один аргумент против «гипотезы групп». Согласно этой гипотезе, при выполнении моторных программ для длинных слов на «поиск» и «исполнение» должно затрачиваться и больше времени. Однако среднее время, приходящееся на один удар в слове (*черная кривая*), и время, затрачиваемое на печатание первой буквы этого слова (*цветная кривая*), не зависят от длины самого слова.



ПЕЧАТАНИЕ СОЧЕТАНИЙ ИЗ ДВУХ БУКВ дает возможность предположить причину изменения скорости печати одной и той же буквы от слова к слову. В каждом случае букве h, печатаемой указательным пальцем правой руки, предшествовала буква, печатаемая другой рукой. В сочетаниях th и gh (слева) буквы t и g печатаются указательным пальцем левой руки. Сочетание th — более распространенное в английском языке. (Частотность приводится в скобках.) В сочетаниях ch и eh (в середине) буквы c и e печатаются средним пальцем левой руки, причем сочетание ch — более распространенное. В сочетаниях wh и xh (справа) буквы w и x печатаются безымянным пальцем левой руки, причем сочетание wh — более распространенное. Время, затрачиваемое на печатание буквы h, больше в тех сочетаниях, которые встречаются реже.

чатками были перестановки знаков, наиболее часто встречались вставки, пропуски и подстановки. Различной была и длительность ударов, смежных с опечатками. Одни машинистки делали очень быстрые удары, нажимая на клавиши двумя пальцами почти одновременно. Первый удар производился с нормальной латентностью, второй — примерно на 10 мс позже. Опечатка (часто вставка лишней буквы) могла прийти на любой из двух ударов.

С учетом названных факторов получается, что ограничения времени реакции преодолеваются в основном благодаря способности квалифицированных машинисток совмещать операции по выполнению ударов друг с другом. Такое взаимоналожение невозможно, когда подлежащий печатанию материал представляется взгляду машинистки всего по несколько знаков. Что означает этот вывод для понимания сути рассматриваемого навыка?

Во-первых, результаты исследования машинописи согласуются с результатами изучения других видов перцептивно-моторной деятельности — на основании тех и других можно сделать предположение о присутствии познавательного компонента почти в любой

квалифицированной деятельности. Средоточение внимания на знаках, стоящих вслед за знаком, печатаемым в данный момент, может происходить вследствие выработки способности анализировать сразу целую группу знаков (элементов) и воспроизводить их или вследствие взаимоналожения операций обработки. В любом случае это результат высококорональной адаптации к ограничениям, свойственным познательной обработке.

Во-вторых, в машинописи промежуточные процессы между входом и выходом в высшей степени скоординированы: квалифицированная машинистка не так уж часто сомневается. И тогда получается, что интенсивная практика, необходимая для достижения высокой квалификации, приводит к устранению лишних операций, к способности выполнять в каждый отдельный момент времени более одной операции и, может быть, даже к сокращению внимания, требуемого для выполнения машинисткой определенных операций. Эти характеристики могут быть общими для разнообразных видов деятельности и могут, таким образом, служить целям, на которые следует ориентироваться при любом виде обучения.

Издательство
МИР
предлагает:

Л. Эрман, П. Парсонс
**ГЕНЕТИКА
ПОВЕДЕНИЯ
И ЭВОЛЮЦИЯ**

Перевод с английского

Книга ученых США и Австралии содержит современные данные о методах исследования генетики поведения, связи генетических признаков поведения с отдельными генами и хромосомами, о взаимодействии генетических факторов и факторов внешней среды в формировании систем поведения у животных и человека, об особенностях генетики поведения человека. Рассмотрены также материалы относительно эволюционных аспектов поведения, роли географических и этнических факторов.

Для генетиков, экологов, психофизиологов, эволюционистов, для преподавателей и студентов биологических специальностей.

1984, 35 л. Цена 4 р. 70 к.



ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ

Перевод с английского

В коллективной монографии, написанной известными американскими физиологами, представлены все разделы современной физиологии позвоночных. Последовательно рассмотрены строение органов и тканей, задачи общей и клеточной физиологии, функции и организация нервной системы и органов чувств, высшие функции головного мозга, работа мышц, кровеносных и лимфатических сосудов, сердца, органов дыхания, почек, эндокринной, репродуктивной и выделительной систем, процессы обмена веществ, питание и система крови.

Для студентов биологических и медицинских специальностей, для физиологов и врачей.

1984, 34 л. Цена 2 р. 80 к.



Наука вокруг нас

Как остановить вращающийся предмет гудением и как увидеть необычные синие дуги вокруг небольшого источника света

ДЖИРЛ УОЛКЕР

КОГДА вам попадется на глаза какой-нибудь быстро вращающийся предмет — винт самолета, крыльчатка вентилятора и т.п., — попробуйте погудеть на разные лады. Постепенно меняя тон, вы можете увидеть, что при некоторой частоте предмет вдруг как бы остановился или медленно поворачивается в сторону своего вращения или в обратную сторону. Есть еще одна оптическая иллюзия, которую вы тоже можете исследовать сами: если при определенных условиях смотреть в темноте на небольшой источник света, то вокруг него видны синие дуги. Опыт с гудением нашел объяснение, что же касается синих дуг, то их появление пока еще остается загадкой.

Любые периодически повторяющиеся изменения можно четко различать глазом до тех пор, пока частота их повторения не превысит приблизительно 40 Гц (40 периодов в секунду). При более высокой частоте все сливается. Представьте себе, что на диске электропроигрывателя вместо грампластины лежит бумажный круг, разделенный на белые и черные сектора, и вращается со скоростью $33\frac{1}{3}$ оборота в минуту. Если сектора в вашем поле зрения сменяются достаточно медленно (скорость вращения мала, а сектора широкие), то вы четко их различаете. При более частом мелькании они сливаются в сплошной серый фон.

В 1967 г. У. Раштон из Кембриджского университета сообщил, что наблюдатель может стробоскопически «остановить» такие вращающиеся сектора, даже если они сливаются из-за быстрого вращения. Для этого нужно лишь гудеть с соответствующей частотой. При несколько более низкой частоте сектора медленно движутся в направлении вращения. При несколько более высокой частоте они движутся в обратном направлении. Независимо от Раштона такой эффект обнаружил в 1974 г. М. Уэрнер из Оклендского центра речи и слуха (шт. Калифорния). Причины этого стробоскопического эффекта исследовали также в 1979 г. Х. Мастербрук и Й. ван дер Кои из лаборатории общей физики Гронингского университета (Нидерланды).

В своих опытах Раштон использовал радиальную тестовую диаграмму на пластинке, с помощью которой в музыкальных электропроигрывателях проверяют скорость вращения диска. Проверку проводят, освещая пластинку с диаграммой обычной лампой, включенной в сеть переменного тока. В США сетевое напряжение изменяется синусоидально с частотой 60 Гц, так что яркость лампы колеблется с частотой 120 Гц. Ширина секторов на диаграмме подобрана так, чтобы при правильном числе оборотов проигрывателя сектора вращающейся диаграммы стробоскопически «останавливались» вследствие мигания лампы.

Предположим, что, когда яркость лампы максимальна, в вашем поле зрения находится белый сектор в некотором положении. Лампа тускнеет и снова ярко загорается, причем все происходит так быстро, что вы ничего не замечаете. Но диск за это время повернулся, и в том же самом положении оказался другой белый сектор. Каждый раз, когда лампа ярко вспыхивает, в этом положении оказывается белый сектор. При таком соотношении между скоростью вращения диска и частотой мигания лампы создается впечатление, что в данном положении остается неподвижным один и тот же сектор.

Если диск электропроигрывателя вращается немного быстрее, чем должно быть, то кажется, что диаграмма медленно поворачивается в направлении вращения диска. При одной вспышке лампы вы находите белые сектора в каком-то положении. При следующей вспышке они оказываются немного впереди относительно этого положения. При каждой новой вспышке снова и снова обнаруживается такое опережение. Глаз человека воспринимает это как медленное вращение диаграммы в сторону движения диска электропроигрывателя. Если же диск вращается немного медленнее, то при повторяющихся вспышках лампы возникает впечатление, что он медленно поворачивается назад. В обоих случаях по скорости такого кажущегося вращения можно судить о том, насколько число оборотов проигрывателя отличается от номинального.

Раштон проводил опыты со стробоскопической диаграммой, предназначенной для проверки электропроигрывателей с номинальной скоростью вращения $33\frac{1}{3}$ оборот/мин в Великобритании. Частота в сети переменного тока в Великобритании равна 50 Гц, поэтому яркость лампы колеблется с частотой 100 Гц. Следовательно, интервал между двумя фазами яркого освещения равен 0,01 с. Ширина секторов на диаграмме выбрана так, что при правильном числе оборотов проигрывателя один сектор переходит в положение, в котором ранее в поле зрения наблюдателя находился другой, ровно за 0,01 с. Когда Раштон смотрел на диаграмму, вращающуюся на диске электропроигрывателя с правильным числом оборотов, диаграмма казалась неподвижной.

При постоянном освещении, например солнечном, стробоскопический эффект не наблюдается. Но Раштон обнаружил, что даже при постоянном освещении он может «останавливать» диаграмму, издавая гудение с частотой, близкой к 100 Гц. Когда он немного снижал тон гудения, диаграмма медленно поворачивалась в направлении вращения диска. Если же он немного повышал тон, то она медленно поворачивалась в обратном направлении. Другие источники звука, имевшиеся в помещении, не оказывали никакого влияния.

Каким образом вибрация, связанная с гудением, вызывает подобный стробоскопический эффект? Может быть, зрительный нерв сотрясается так, что периодически ухудшается или задерживается передача сигналов в мозг? Раштон поставил опыт для проверки подобной гипотезы. Идея Раштона заключалась в том, чтобы вызвать задержку передачи информации об изображении из глаза в мозг.

Для этого он использовал затемняющий (нейтральный) светофильтр. Когда свет падает на сетчатку глаза, информация сразу же передается в мозг. Но если свет тускнеет, то передача задерживается, причем время задержки может составлять несколько миллисекунд. Раштон рассудил, что, если вибрация, связанная с гудением, действует на нервные волокна или на что-нибудь еще на пути от сетчатки к мозгу, то, если поместить между глазом и вращающейся диаграммой затемняющий фильтр, стробоскопически «остановленная» диаграмма должна начать двигаться, поскольку снижение яркости вызывает задержку передачи зрительного сигнала. Но диаграмма не двигалась, и это говорит о том, что гудение не действует на путь от сетчатки к мозгу. По-видимому, оно оказывает действие на сам глаз. Вибрация, связанная с гудением, передается глазу от органов речи по костям лицевой части черепа.

Объяснению Раштона посвятили свою работу Мастербрук и ван дер Кои. Их анализ поясняется рисунком на с. 88. Система чередующихся черных и белых полос (секторов диаграммы на вращающемся диске электропроигрывателя) движется перед глазом наблюдателя. На иллюстрации стрелками показано направление движения относительно неподвижной осевой линии, жестко связанной со стенами комнаты. На схеме *a* глаз, вибрирующий по вертикали из-за гудения, находится в наиболее высоком положении. Частота гудения и, следовательно, частота вибрации глаза точно рав-

на частоте, с которой одна белая полоса сменяется другой.

На схеме *a* на оптической оси глаза, проходящей через центры поля зрения и сетчатки, лежит белая полоса. Ей соответствует изображение белой полосы в центре сетчатки. На схемах *b* и *v* полосы диаграммы и глаз одновременно движутся вниз, так что в центре сетчатки все время остается изображение белой полосы. На схемах *г* и *д* полосы диаграммы по-прежнему движутся вниз, тогда как глаз в процессе вибрации движется уже вверх. При этом в центре сетчатки на короткое время оказывается изображение черной полосы.

Далее цикл начинается сначала из положения, показанного на схеме *e*.

На протяжении большей части одного периода вибрации в центре сетчатки находится изображение белой полосы. И в другие точки сетчатки, разделенные равными промежутками, большую часть времени падает свет от белых полос. Во всех таких точках не воспринимаются отдельно ни белые, ни черные полосы, поскольку глаз очень быстро вибрирует. Зрительная система усредняет яркость по всему периоду вибрации и дает для точек, которые дольше освещаются белыми полосами, некое «светлое среднее». Для точек же,

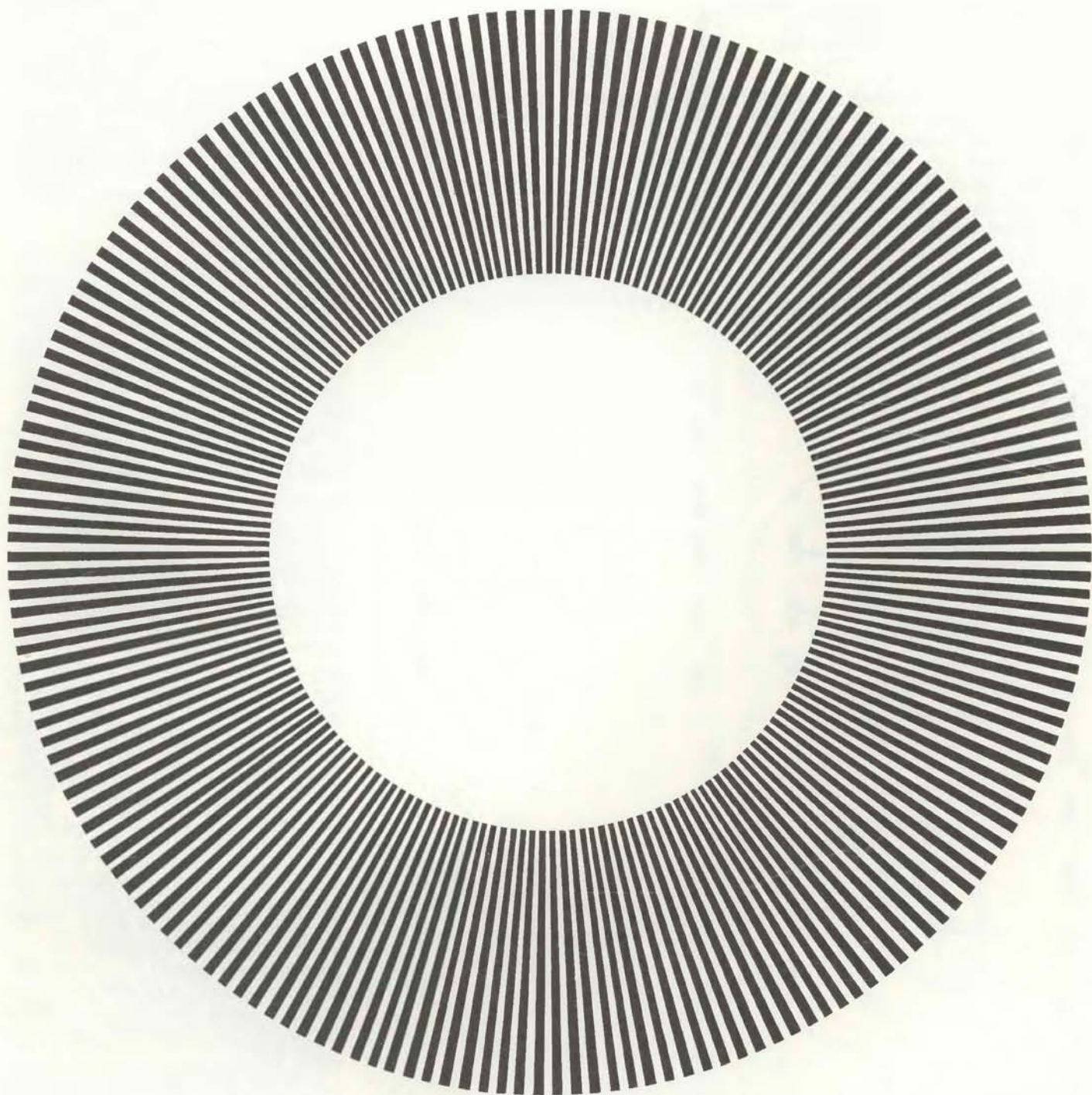


Диаграмма для проверки скорости вращения диска электропроигрывателя

на которые бóльшую часть периода приходится изображения черных полос, она дает «темное среднее». Если наблюдатель гудит с нужной частотой, то указанное распределение средних усиливается с каждым периодом вибрации. Хотя такая последовательность полос уступает в четкости диаграмме на диске, зрительная система ее все же воспринимает.

Возможны и другие стробоскопические эффекты подобного рода, вызываемые гудением. Так, Уэрнер описал, как можно гудением нарушить стабильность восприятия изображения на

экране телевизора. Он стоял на расстоянии 30 м от телевизора и гудел сквозь зубы с частотой, близкой к 60 Гц. Ранее Ф. и Т. Уильямсы из Таллахасси (шт. Флорида) сообщали о том, что гудением можно изменить восприятие телевизионного изображения. В их опытах гудение вызывало иллюзию темных горизонтальных линий на экране. Изменяя частоту гудения, они могли удерживать линию неподвижно и приводить ее в движение вверх или вниз. На некоторых более высоких частотах (вероятно, гармониках самой низкой частоты) наблюдалось сразу

несколько линий. На экране цветного телевизора, так же как и на черно-белом экране, линии были серыми.

Уэрнер писал также, что гудением можно «останавливать» спицы на колесах вращающихся колес легковых автомобилей и болты на вращающихся колесах грузовиков. Наблюдатель, едущий вдоль забора, может гудением «остановить» планки забора. Я слышал, что некоторые люди могут гудением проверять правильность частоты мигания люминесцентных ламп.

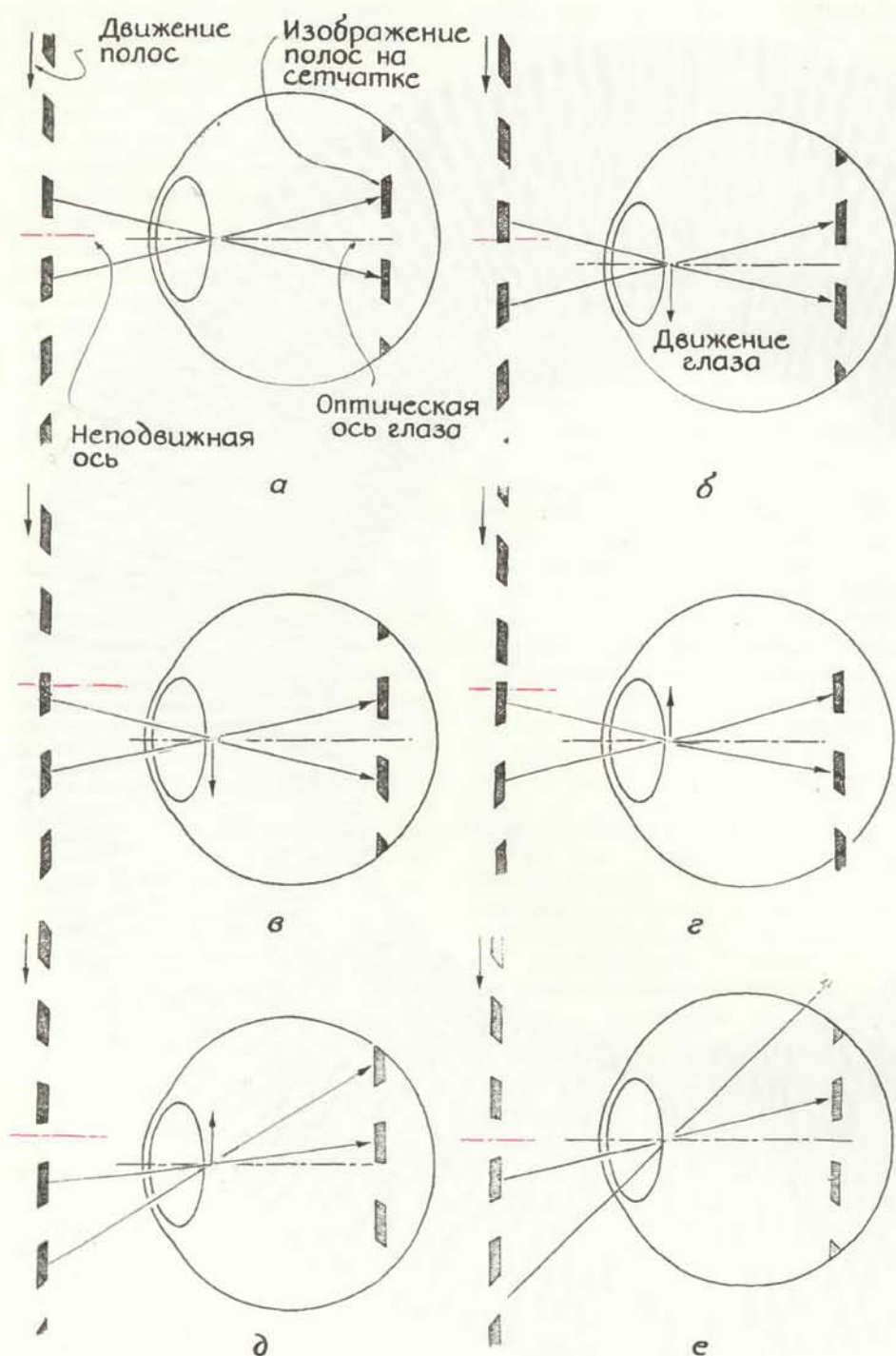
Самое любопытное сообщение о стробоскопическом эффекте опубликовал Дж. Скотт-Скотт из Нанитона (графство Уоркшир, Великобритания). Этот автор нашел способ определять направление вращения самолетного винта. Он вызывал вибрацию своей головы, заставляя кончик языка трепетать возле самого неба при выдохе. Нужно начинать с высокой частоты и постепенно снижать ее, пока винты не «остановятся» за счет стробоскопического эффекта. После этого нужно еще немного снизить частоту. Медленное вращение стробоскопического изображения винтов укажет направление их истинного вращения.

Я сделал стробоскопическую диаграмму, наклеив липкой лентой лист белой бумаги на одну сторону долгоиграющей грампластинки. На бумаге я поставил точку в центре отверстия пластинки, обозначив его центр. Затем прочертил радиальные сектора шириной 1° . (Все измерения нужно проводить, не устанавливая пластинку на диск электропроигрывателя, так как иначе штырек диска прорвет бумагу и у вас не будет центральной точки.) Каждый второй сектор я закрасил черными чернилами.

Когда электропроигрыватель работает со скоростью $33\frac{1}{2}$ оборота в минуту, частота вращения пластинки равна 0,555 Гц. Поскольку я сделал на диаграмме 180 пар черных и белых секторов, частота, с которой повторяется определенное положение всей системы секторов, равна $0,555 \text{ Гц} \times 180 \approx 100 \text{ Гц}$.

При вычерчивании диаграммы мне пришлось долго повозиться, но все-таки диаграмма получилась не очень хорошей: одни темные сектора были заметно светлее других. Когда я включил проигрыватель в режиме $33\frac{1}{2}$ оборота в минуту, изменения в степени зачерненности темных секторов отвлекли мое внимание. К тому же вместо того, чтобы смотреть на какое-то одно место диаграммы, я невольно начинал следить за вращением всего диска. Но, поупражнявшись, я научился не обращать внимания на все не относящееся к делу и сосредоточиваться на размытом сером фоне.

Осветив вращающуюся диаграмму обычной электролампой, включенной в сеть переменного тока, я не увидел



Как вибрация глаза, связанная с гудением, приводит к «остановке» движущейся системы полос

ничего, кроме того же серого фона. Свет мигал с частотой 120 Гц, а чтобы «остановить» полосы, нужно было 100 Гц. При дневном свете я попробовал гудеть с частотой, приблизительно равной 100 Гц. Хотя я мог изменять частоту гудения в нужном интервале, мне не удавалось «остановить» диаграмму в основном по той причине, что я не смог выдерживать один тон.

Тогда я придумал более простой способ заставить свою голову вибрировать. Я взял громкоговоритель и через усилитель звуковой частоты подключил его к генератору стандартных сигналов. Задав большой коэффициент усиления, я вставил подбородок в диффузор громкоговорителя. Моя голова завибрировала. Одной рукой я плавно регулировал частоту генератора, так чтобы она проходила через 100 Гц. При этом я не отрывал глаз от одного и того же участка вращающейся диаграммы. Он был в правой половине, если смотреть на проигрыватель, и здесь сектора перемещались в моем поле зрения вниз.

При частоте, равной приблизительно 100 Гц, на сером фоне возникли слабые неподвижные полосы. Если я повышал или понижал частоту, стробоскопическое изображение начинало медленно двигаться так, как сообщали и другие наблюдатели. Даже не глядя на шкалу генератора, я мог уверенно «останавливать» диаграмму всегда при одной и той же частоте. Стоило мне отнять подбородок от диффузора громкоговорителя или увести частоту далеко от 100 Гц, как диаграмма тут же пропала.

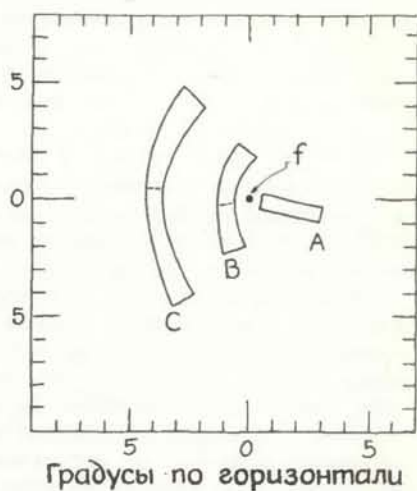
Вы можете сами изготовить стробоскопическую диаграмму и продолжить опыты, можно экспериментировать и с другими вибрирующими и вращающимися предметами. Интересно, удастся ли вам «остановить» их движение гудением соответствующего тона.

В НАЧАЛЕ XIX в. Ян Пуркинье, один из пионеров в области физиологии зрения, обнаружил, что свет, исходящий от кусочка тлеющего трута, создает в поле зрения две синие дуги. Хотя дуги вскоре пропадали, можно было управлять их яркостью и длительностью существования, поднимая и опуская трут и переводя его изображение на другие участки сетчатки глаз. После того как дуги пропадали, их можно было снова увидеть через несколько минут, когда глаза вновь привыкали к темноте.

До сих пор эти дуги, и особенно их синий цвет, остаются загадкой для физиологов. Многих исследователей занимал вопрос о том, как форма дуг зависит от места падения света на сетчатку. В последних публикациях Дж. Морленда, ранее работавшего в Лондонском институте офтальмологии, я на-



Расположение дуг для правого глаза

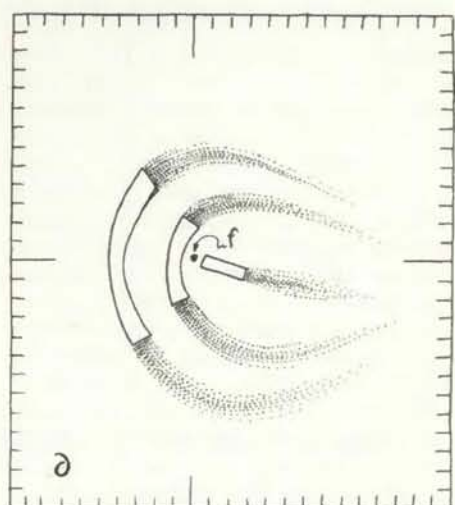
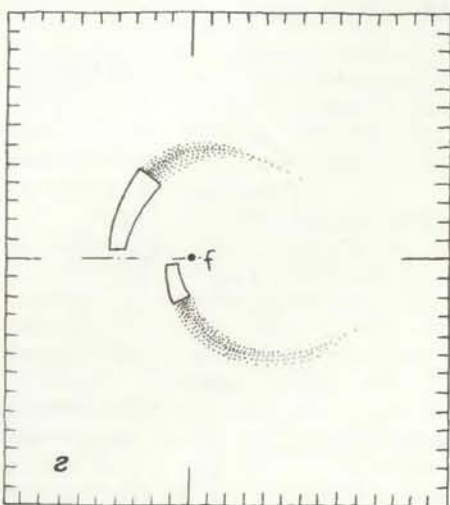
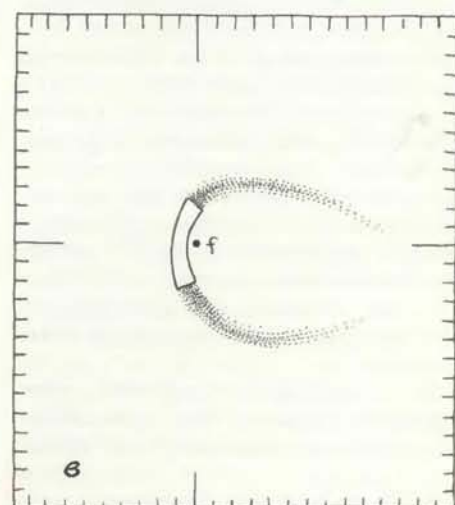
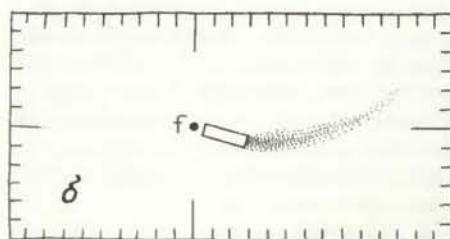
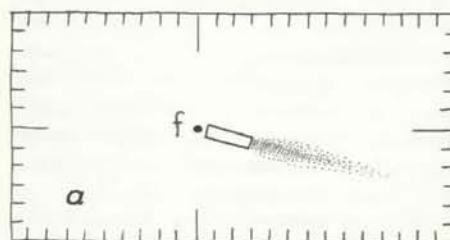


Зоны расположения источника света, выделяемые Дж. Морлендом

шел подробнейшие описания экспериментов, позволяющие повторить наблюдения.

Согласно Морленду, чтобы наблюдать дуги Пуркинье, нужно поступать следующим образом. Пусть один глаз привыкает к темноте не менее 1 мин и

не более 3. Включите небольшой источник света. (Лучше всего желтый или красный свет с длиной волны в интервале от 510 до 620 нм.) В течение примерно 1 с вы должны видеть одну или несколько дуг (в зависимости от положения источника света в вашем поле



Различные виды дуг

зрения). Для повторного наблюдения включайте свет в комнате на 2—3 мин каждые 5 мин. В темный период включайте источник желтого или красного света на полсекунды каждые 4 с.

Будут ли дуги яркими и четкими — это в значительной мере зависит от ориентации и размеров источника возбуждения света. Хорошие результаты дает маленький светящийся прямоугольник, поскольку его можно расположить так, чтобы появилось несколько перекрывающихся дуг, яркость которых суммируется зрительной системой. Если такой светящийся прямоугольник находится в поле зрения ближе к переносице, то его длинные стороны должны быть расположены вертикально, а если ближе к виску — то горизонтально.

Дело в том, что от ориентации прямоугольного источника света зависят размеры освещенного участка сетчатки и расположение дуг в поле зрения. Каждый маленький отрезочек узкого прямоугольника дает дугу собственной формы. Составная дуга будет яркой и четкой лишь в том случае, если разброс отдельных дуг не очень велик.

На с. 89 слева сверху показаны дуги, которые можно увидеть, глядя правым глазом на источник света в форме вертикальной прямоугольной щели. Ширина щели должна быть «бесконечно малой». Угловая длина щели равна $15'$ в поле зрения наблюдателя. Буквой f обозначена точка фиксации глаза, т.е. та точка в поле зрения, на которую должен быть направлен ваш взгляд. (Изображение данной точки приходится на центральную ямку — самый чувствительный участок сетчатки.) Протяженность поля зрения измеряется в градусах, отсчитываемых от точки фиксации.

Когда щель находится в точке c , возбуждается большая дуга, проходящая через эту точку. (На графике проведена

только средняя линия дуги; на самом деле дуга имеет вид изогнутой полоски шириной 1° .) Если передвинуть источник в точку b , то появится дуга, расположенная в верхней части поля зрения. Тот же источник в точке d даст дугу в нижней части поля зрения.

Щель длиной более $15'$ может давать большое число дуг. Наблюдатель же увидит некую составную дугу. Насколько хорошо видна составная дуга — это зависит от того, в какой мере перекрываются отдельные дуги. Предположим, что щель в поле зрения простирается от точки b до точки c . Тогда составная дуга будет яркой, так как разброс отдельных дуг незначителен и зрительная система воспримет интенсивность составной дуги как суммарную интенсивность всех дуг. То же можно сказать о составной дуге, создаваемой щелью, которая простирается от точки c до точки d .

Составная дуга от более длинных щелей видна хуже. Например, если щель простирается от a до c , то составная дуга, образуемая перекрывающимися отдельными дугами, оказывается слишком широкой и зрительная система не воспринимает ее интенсивность как сумму интенсивностей всех отдельных дуг. Такая дуга шире дуги от короткой щели, но увеличения яркости, пропорционального ширине, нет. Картина оказывается еще более слабой, если щель проходит горизонтально через точку c . При такой ориентации щели возникает большое число слагающихся в широкую составную дугу.

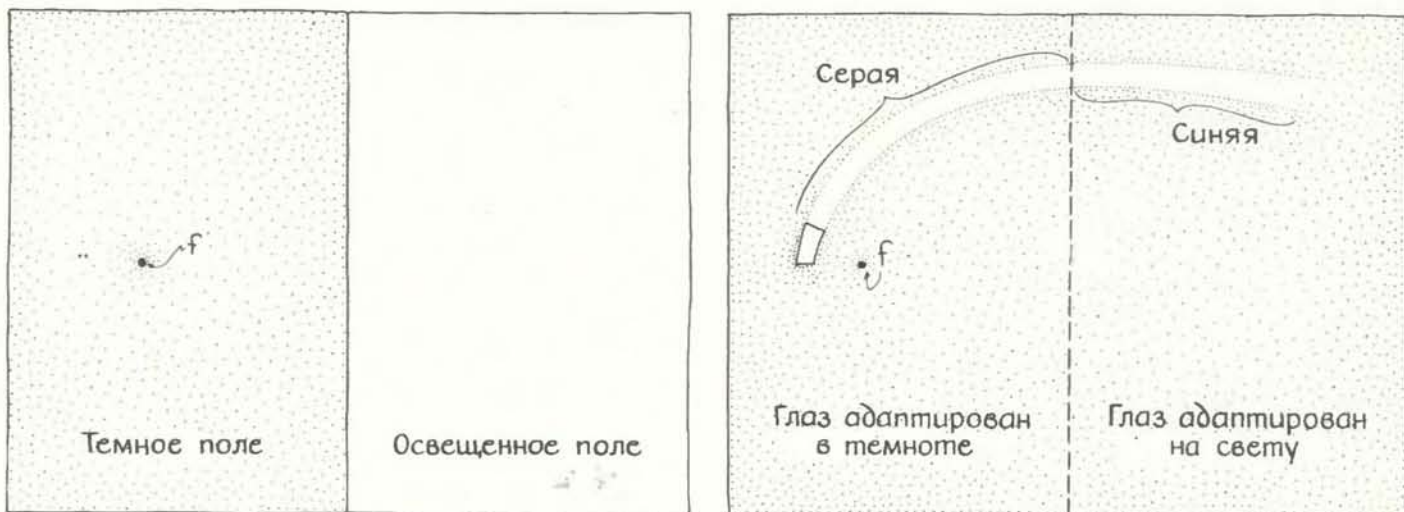
На с. 89 справа сверху показаны основные зоны расположения источника света в поле зрения правого глаза, которые выделяет Морленд. Хорошие дуги получаются, если источник света расположен, например, в зоне C и имеет изогнутую форму, как показано на рисунке. Иначе расположенные и поинному искривленные дуги дает источ-

ник, помещенный в зону B и соответствующим образом изогнутый. Источник типа A отличается от источников обоих первых типов. Зона A расположена между точкой фиксации глаза и слепым пятном сетчатки (слепое пятно — это место, от которого отходят нервные волокна, идущие к мозгу; там нет клеток-рецепторов). Если в этой зоне поместить источник света, то у него возникает острый синий «хвост».

Морленд подробно указывает условия, при которых можно наблюдать разные дуги. Поместите прямоугольный источник света в зону A . Его ширина должна быть равна приблизительно $0,66^\circ$, а длина — приблизительно $2,5^\circ$. Примерная форма синего «хвоста» показана на с. 89 внизу (b). Поворотом головы вы можете выровнять «хвост» так, как показано на схеме a . Если такой же источник света одновременно поместить перед левым глазом, то можно наблюдать удивительную картину двух синих «хвостов», заостренных, как наконечники копий.

Затем поместите источник света в зону B . Его длина должна быть равна приблизительно $4,5^\circ$, а ширина в самом узком месте — приблизительно $0,66^\circ$. К концам он должен расширяться. Такой источник даст две дуги, которые будут симметричными, если сам он расположен приблизительно симметрично относительно прямой, проходящей через точку фиксации глаза и через слепое пятно (схема v). Наклоняя голову, вы можете добиваться большей симметрии дуг и, наоборот, нарушать их симметрию.

Чтобы убедиться в том, что форма и расположение дуг сильно зависят от положения источника света, возьмите два источника, расположенные так, как показано на схеме z . Один из них занимает верхнюю половину зоны C , а



Опыт, демонстрирующий цвета дуг

другой — нижнюю половину зоны В. Получатся две разъединенные дуги заметно различающейся кривизны. Если поместить источники света во все три зоны, то будут видны две подковообразные дуги и острый прямой «хвост» (схема *д*).

Во всех описанных опытах дуги появляются вскоре после включения источника возбуждения. Подобные, но менее яркие дуги можно видеть при некоторых условиях после его выключения. Продолжительность интервалов между включением и выключением света в комнате остается прежней, но в темном периоде возбуждающий свет нужно включать на 3,5 с и выключать на 0,5 с. Возможно, что вы начнете видеть дуги выключения не сразу, а лишь после, скажем, 10-кратного повторения такого цикла.

В качестве источника света Морленд предлагает использовать настольный фонарь (с 60-ваттной электролампой) для фоторабот в темной комнате, закрывая его красным или желтым светофильтром. На основании своих опытов я могу утверждать, что для наблюдения дуг пригоден почти любой источник света малых размеров (например, осветитель авторучки), снабженный красным или желтым светофильтром. Я использовал недорогой светофильтр фирмы Edmund Scientific Company.

Чтобы сделать источник света в форме, рекомендуемой Морлендом, прикрепите к осветителю листок твердого картона с вырезанным в нем отверстием нужной формы. Отрегулируйте расстояние от глаза до источника так, чтобы угловые размеры выреза в вашем поле зрения отвечали условиям опыта. Для опытов можно взять плоский осветитель типа применяемых для просмотра и сортировки слайдов.

Почти все свои опыты я проводил на небольшом компьютере, у которого имеется черно-белый индикаторный экран. В первых опытах в память компьютера была введена программа обработки текстов. Источником света служил мигающий курсор*. Поскольку курсор испускает белый свет, я наклеил липкой лентой на экран красный светофильтр. В качестве точки фиксации глаза я ввел нажатием соответствующей клавиши точку, расположив ее примерно посередине экрана. Курсор был слева от точки, и я зафиксировал глаз, направив взгляд на точку. Подобрал нужное расстояние от глаза до экрана, я держал голову в таком положении, закрепив ее книгами и другими предметами.

* Светящаяся черта под буквой или цифрой, указывающая, какая буква или цифра будет стерта при поступлении команды стирания. — *Прим. перев.*

Чтобы получать источники света разной формы и ориентации, я ввел в память компьютера программу (на Бейсике), включающую свечение разных участков экрана. Время включения и выключения каждого светящегося участка задавалось циклами FOR—NEXT программы. Например, в соответствии с оператором FOR K-1 to 500: NEXT заданная фигура на экране светится до тех пор, пока компьютер не сосчитает до 500. Другой цикл программы задавал любой нужный интервал, в течение которого весь экран (кроме точки фиксации) оставался неосвещенным. (Свет в комнате я включал и выключал рукой.)

Предлагалось немало разных объяснений феномена синих дуг. Пуркинью и некоторые ученые полагали, что причина возникновения дуг — рассеяние света внутри глаза. Другие исследователи объясняли все биолюминесценцией. Согласно этой гипотезе, нервные волокна, возбуждаемые светом источника, испускают ультрафиолетовое излучение, которое в свою очередь возбуждает фоторецепторные клетки в зонах дуг.

Две упомянутые гипотезы были вытеснены третьей, которая состоит в том, что при возбуждении светом одних нервных волокон возбуждаются другие, соседние с ними нервные пути. Мозг человека интерпретирует такую дополнительную активность как появление в поле зрения синих дуг. Области сетчатки, соответствующие дугам, на самом деле не освещены.

Подробнее дело обстоит так. Свет от внешнего источника попадает на малый участок сетчатки, возбуждая на нем клетки-колбочки. При этом нервные волокна, идущие от них, становятся электрически активными. Предполагается, что от таких волокон возбуждение передается соседним волокнам клеток-палочек, расположенных в других местах сетчатки. Таким образом, наблюдатель получает сигналы, во-первых, от колбочек, возбуждаемых светом, и, во-вторых, от нервных волокон, связанных с неосвещенными палочками. Мозг воспринимает сигналы второго типа так, как если бы эти палочки были освещены. Палочки же, оказывается, расположены на сетчатке дугообразными зонами.

Хотя такое объяснение кажется весьма правдоподобным, оно оставляет в стороне синий цвет дуг. Считается, что палочки не участвуют в цветовом восприятии. Каким же образом иллюзия их возбуждения может вызывать у наблюдателя ощущение синего цвета? Кроме того, дуги выглядят синими лишь тогда, когда глаз частично еще адаптирован к свету. Как только он полностью привыкает к темноте, они становятся беловатыми.

В 1977 г. К. Инглинг и Б. Драм из

Университета шт. Огайо предложили объяснение цвета дуг, которое, по-видимому, устраняет все неясности. Для повторения опытов этих исследователей нужно сделать такой экран, чтобы одна половина поля зрения была темной, а другая — освещенной. Пусть глаза привыкнут к полной темноте в течение приблизительно 10 мин, и затем посмотрите на этот экран. (Как должен выглядеть экран для правого глаза, показано на рисунке на с. 90.) Через несколько минут уберите экран, чтобы поле зрения было совершенно темным, если не считать слабо светящейся точки фиксации глаза и редко мигающего источника красного света, необходимого для возбуждения дуг. На рисунке показана примерная форма дуги, которую можно увидеть при таких условиях. Часть дуги, которая лежит в половине поля зрения, предварительно адаптированной к свету, кажется синей. Другая часть, которая лежит в половине, адаптированной к темноте, оказывается беловатой. Если глаз не отрывался от точки фиксации, то два цвета резко разграничены.

Повторяя такие опыты на своем компьютере, я ввел в его память программу (на Бейсике), в соответствии с которой вся правая половина индикаторного экрана светилась столько времени, сколько было нужно для адаптации к свету правой половины поля зрения моего правого глаза. При этом точка фиксации находилась в левой части экрана. В следующем цикле программы экран гас и на темном фоне оставались только редко мигающая светлая фигура (источник света) и прежняя точка фиксации глаза. Как и ранее, в том месте, где появлялась светящаяся фигура, которая служила в опытах источником света, я наклеил на экран красный светофильтр.

Объяснение, предложенное Инглингом и Драмом, основано на опубликованной ранее модели процессов в сетчатке, названной моделью «молчаливого окружения». Согласно такой модели, имеются группы фоторецепторов сетчатки, состоящие из центральных клеток, реагирующих на свет, и клеток окружения, которые могут при некоторых условиях воздействовать на частоту импульсов, посылаемых центром в мозг. Выражение «молчаливое окружение» означает, что, когда центр не возбужден, возбуждение окружения не приводит к изменению частоты его сигналов. Если же центр возбуждается сильнее своего окружения, то последнее подавляет сигналы центра.

Возникновение дуг Пуркинью можно объяснить, исходя из модели «молчаливого окружения», если предположить, что в центре находятся колбочки, посылающие в мозг информацию о желтом и синем цветах. Окружение центра состоит из палочек. Палочки не

Источники генетического разнообразия;
хронология от начала времен
до наших дней; атласы океанов;
вихри в природе и в технике

ФИЛИП MORRISON

Дж. Г. Хокис. РАЗНООБРАЗИЕ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

THE DIVERSITY OF CROP PLANTS, by J.G. Hawkes. Harvard University Press (\$20)

ПЛОДЫ пятидесяти сортов чилийского перца размером от бусины до кулака торжественно выстроились в три длинных ряда, наглядно демонстрируя морфологическое разнообразие культурных растений. На следующей странице еще более неожиданная шеренга: бразильские бутылочные тыквы величиной от мяча для гольфа до тромбона. Разумеется, эти второстепенные сельскохозяйственные растения не хлеб насущный, однако и они заслуживают самого пристального внимания хотя бы из уважения к их древности. Археологи, собрав данные о более чем тридцати древнейших известных человеку культурных растениях, считают, что именно перец и бутылочная тыква были одомашнены первыми. Так, вдоль дороги, пересекающей долину, раскинувшуюся между Мехико и Оахака, их возделывали еще 11 тыс. лет назад.

Вдумчивое, неторопливое изложение, ясность содержания отличают эту небольшую книгу известного английского ботаника и генетика. По сути она представляет собой пример, так сказать, прикладной археологии. Автор мог пойти по проторенному пути — воспользоваться сведениями о далеком прошлом, чтобы сочинять захватывающие гипотезы — или, скорее, мифы — о цивилизаторской роли того или иного народа. Однако свою задачу он видит не в этом. То, что мы знаем о доисторическом прошлом, должно быть прямо поставлено на службу современной экономике. Сейчас на нашей густонаселенной планете мы, пожалуй, более чем когда-либо нуждаемся в генетическом разнообразии культурных растений — в запасе генов высокой урожайности, способности к заселению новых территорий и к производству тех или иных продуктов, устойчивости к неблагоприятным условиям. Где это далеко не полностью использованное наследие? Как его отыскать и сохранить? Это насущнейшие вопросы нашего времени, и ответить на них могли бы этноботаники и археологи.

Культурные растения являются, в сущности, сорняками, изгоями — и не потому, что волею человека вынуждены становиться незваными гостями вдали от родины, а исходя из более глубокого экологического определения этого термина. Сорняки — это растения, не выдерживающие конкуренции с коренной растительностью данного региона, но зато способные успешно заселять участки с нарушенной почвой вокруг поселений и очагов хозяйственной деятельности человека. Сельскохозяйственные культуры появились в результате отбора земледельцами, как стихийного, так и сознательного. Во многих случаях этот отбор был направлен в сторону увеличения размеров растения или его плодов, но в то же время подавлялось развитие защитных приспособлений (например, дикий африканский баклажан представляет собой колючую лиану) и снижалась эффективность способов расселения (дикий предок обыкновенной фасоли разбрасывал семена благодаря резкому скручиванию створок боба; у дикого мака коробочка снабжена отверстиями, через которые легко высыпаются его мелкие семена). Удивительная внешняя форма и окраска чилийского перца и бутылочной тыквы, возможно, отражают то, что и в древности при отборе играли роль эстетические критерии. Облик культурных растений сложился во многом случайно, вобрав в себя пристрастия и вкусы древних садовников — ведь в далеком прошлом именно женщины обрабатывали поля, сады и огороды.

Более половины книги посвящено критическому обзору различных теорий и гипотез — многие из них следует назвать домыслами, поскольку они еще далеко не доказаны, — по поводу времени и места возникновения той или иной культуры. Профессор Хокис не обходит вниманием также клубне- и корнеплоды; большинство из них имеет тропическое происхождение, поэтому в естественных местообитаниях они сохранились довольно плохо. По мнению автора, основанному отчасти на его собственных исследованиях картофеля, в том, что касается эпохи и способов одомашнивания, между зерно-

реагируют на цвет и поэтому не могут непосредственно влиять на цвет дуг. Но, по мнению Инглинга и Драма, палочки окрашивают их в синий цвет косвенным образом, подавляя «желтые» сигналы желто-синих колбочек в центре.

Согласно современной теории цветового зрения, цвет воспринимается в результате двойного рода «конкуренции» между колбочками. Дело в том, что колбочки бывают трех типов: одни из них чувствительны к красному цвету, другие — к зеленому и третьи — к синему. Зрительная система, по-видимому, сортирует сигналы колбочек всех трех типов, разделяя на две пары дополнительных цветов: красный — зеленый и синий — желтый.

Дуги Пуркинье могут появляться следующим образом. Источник освещает малый участок сетчатки, возбуждая колбочки. Нервные волокна колбочек идут рядом с волокнами от других частей сетчатки, так что возбуждение первых передается вторым. Можно полагать, что часть нервных волокон второй группы принадлежит палочкам, входящим в «молчаливое окружение».

Какие сигналы поступают в мозг вследствие возбуждения волокон второй группы? Во-первых, сигналы, создающие впечатление, что сетчатка освещена там, где находятся соответствующие волокнам палочки окружения. Во-вторых, может возникать иллюзия синего цвета при определенном состоянии центров, в окружение которых входят соответствующие волокнам палочки. Если глаз полностью привык к темноте, то центры не возбуждаются и не передают информацию о цвете. По возбужденным нервным волокнам палочек в мозг приходят «бесцветные» сигналы, и поэтому наблюдатель видит беловатые дуги.

Если же глаз неполностью привык к темноте, то колбочки центров еще продолжают посылать в мозг «цветную» информацию. Часть их посылает сигналы о наличии желтого цвета. Возбуждение нервных волокон, идущих от палочек, которые входят в окружение таких колбочек, приводит к подавлению сигналов о наличии желтого цвета. Это эквивалентно передаче в мозг сигналов о наличии синего цвета. В итоге у наблюдателя возникает ложное впечатление, что на некоторые участки сетчатки падает синий цвет.

выми и корнеплодами больше общего, чем считалось обычно.

Разнообразие не всегда заметно на глаз. Многочисленные биохимические особенности скрыты от наблюдателя. Например, с помощью метода электрофореза было обнаружено, что каждому европейскому сорту картофеля свойствен свой уникальный набор белков. Селекционеры долго ломали копья, сравнивая достоинства иммунитета, определяемого одним геном, с неспецифической устойчивостью к заболеваниям. В бесконечной «холодной войне» между селекционерами и грибами-паразитами сорта растений, резистентность которых связана с наличием единственного ответственного за нее гена, часто играют роль сита, выявляющего новые комбинации генов у болезнетворных грибов. Более долговечна полигенная устойчивость, когда не вырабатывается полный иммунитет в отношении какого-либо одного патогенного агента, а повышается общая сопротивляемость культуры. Проблема устойчивости не проста, путей к ее решению несколько, притом следует иметь в виду, что многие положения современной генетики еще нуждаются в проверке.

С одной стороны, изменчивость вида, лишённого естественного местобитания, неизбежно сокращается. А с другой стороны, крестьяне и фермеры легко поддаются соблазну заменить свой традиционно разнообразный посевной материал предлагаемыми им селекционными линиями, улучшенными по тому или иному показателю. Нынешний земледелец уже далеко зашел по пути однородных «оптимизированных» культур; сейчас даже закон требует генетической чистоты поступающих в продажу семян, а всего два поколения назад в США фермеры разводили локальные расы со смешанными генотипами, которые и сортами нельзя было назвать. Эта проблема стоит гораздо острее для основных сельскохозяйственных культур — пшеницы, кукурузы, сои и риса, — чем, скажем, для корнеплодов, культурных кустарников, лиан и трав, в изобилии произрастающих в садах и огородах жителей тропиков от Пуэрто-Рико до центральной Явы. В тех краях искусственно созданные сообщества по флористическому богатству порой почти не уступают окружающим их лесам.

Опасность «генетической эрозии» известна уже давно. В 1936 г. американский селекционер Х. Харлен писал: «На заре цивилизации внутренние районы Азии, вероятно, были заняты в основном ячменными степями. Растения, происходящие из этих мест, с их приспособительной изменчивостью являются бесценным мировым источником генетического материала. . . Если вариететы, выращиваемые эфиопскими

и тибетскими крестьянами, будут заменены новыми сортами ячменя, мировое сельское хозяйство понесет невосполнимую потерю». Впрочем, современное состояние дел обнадеживает. Уже действует единая для всей планеты стратегия сохранения генофонда культурных растений. Идет сбор коллекций, оценка, составление стандартной документации, заботливое поддержание разновидностей. Имеются списки приоритетных видов по регионам; каждый из 14 центров, созданных в рамках Международной программы исследований культурных растений, работает с определенным набором культур и пользуется фондами Международного генетического банка; работы координируются Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН. Например, в перуанском центре хранится 12 тыс. древних культурных форм картофеля, а в настоящее время исследования распространились и на его дикие виды. Появились специальные брошюры, посвященные самым различным культурным растениям, в которых рассказывается о том, что уже сделано и что еще предстоит сделать. Расширяется система подготовки специалистов всех уровней. Созданы также региональные и национальные центры, в том числе крупные банки семян в социалистических странах — например ленинградский, обширные коллекции которого пополняются начиная с первых экспедиций Н. И. Вавилова.

В банках и коллекциях семена держат в замороженном и высушенном до соответствующего по содержанию влаги состоянии, регулярно проверяя их на всхожесть для определения времени посева. В таком виде они могут сохраняться 50—100 лет. Срок жизни семени ограничен из-за внутреннего окисления липидов, происходящего в зародышевых клетках. Наиболее важные в сельском хозяйстве виды, особенно многие из культивируемых пород тропических деревьев, например цитрусовые и масличная пальма, отличающиеся «капризными» семенами, сохраняются гораздо более дорогим способом: их периодически высеивают в ботанических садах или природных резерватах. Новые возможности дает хранение культур ткани в жидком азоте. Перспективен также метод «спящих» проростков, которые могут длительное время находиться в пассивном состоянии при контролируемом слабом освещении (т.е. условия подобны естественным условиям в лесу, где для их дальнейшего роста необходимо появление просвета в сомкнутом древесном пологе).

Автор не обсуждает вопросов, связанных с использованием в хозяйстве микрофлоры. Успехи современных методов генетической рекомбинации также оставлены без внимания; можно не

сомневаться, что исследования сплайсинга и репликации ДНК окажутся ценными для селекционеров, ведь полезная генетическая информация появляется на молекулярном уровне.

*Найджел Кэлдер. ХРОНОЛОГИЯ: АТЛАС ЧЕТВЕРТОГО ИЗМЕРЕНИЯ
TIMESCALE: AN ATLAS OF THE FOURTH DIMENSION, by Nigel Calder. The Viking Press (\$19.95)*

МЫ РАСКРУЧИВАЕМ спираль времени, уплотняя его на каждом витке вдесятеро против предыдущего. Это логарифмическая спираль, построенная так, что 9 ее витков покрывают весь период от «Большого взрыва», давшего начало Вселенной, до ближайшей к нам круглой даты — 2000 г. Каждый виток спирали делится условно на 5 равных — в логарифмическом масштабе — сегментов; в реальном масштабе времени концы сегментов располагаются в последовательности 10:16:25:40:63:100.

Нить, которую мы разматываем, — это скорее «нить жизни», которую прядут мойры, чем просто одно из безобидных измерений: она — воплощение всего, что произошло в мире. На двух страницах текста, каждая с пояснительной фотографией или рисунком, или с тем и другим вместе, довольно сухо повествуется о том, с каким сегментом какие события связаны: тут и появление «безжалостного» кислорода в атмосфере Земли 1,8 млрд. лет назад, когда жизнь была исключительно микробной, тут и успешный космический полет, и искоренение оспы — через десять витков, ровно за 18 лет до условной конечной точки.

На протяжении 90 страниц читателя сопровождает логарифмическая временная шкала, лентой переходящая со страницы на страницу. На шкале стрелками отмечено более 300 событий. Всему предшествует пролог: появление элементарных частиц в первую — скажем так — микросекунду времени (в соответствии со смелыми современными теориями). Затем частота событий нарастает по экспоненциальному закону. Дюжина стрелок указывает возникновение Солнца, а попутно и различных химических элементов. История Земли, геология в широком смысле слова, размечена еще двумя десятками стрелок: от золотого (геологического) века к железному (бактериологическому) и далее до появления животных. Еще 60 событий — в том числе столкновения континентов, падения астероидов и прочее, — и появляются зеленые растения, которые можно назвать хозяевами планеты Земля.

Следующие 30 стрелок — и на сцену выходят первые, еще весьма невзрач-

ные предки рода человеческого. Несколькими больше событий требуется для того, чтобы после резких перемен климата благодаря развитию особых биологических приспособлений «возник» современный человек — как считается, решающую роль здесь сыграло то, что генетически закрепилась способность к членораздельной речи, а произошло это всего лишь 40 тыс. лет назад. Затем генетика для человечества отходит на второй план: изменять виды и передвигать горы начинает культура. Теперь перед нами ее история, которая слишком богата событиями, чтобы все их можно было перечислить. В нашем ставшем густонаселенным мире постоянно появляется что-то новое (впрочем, на душу населения в год событий приходится, вероятно, не больше, чем в доисторические времена). Шкала теперь приобретает несколько антропоцентрический характер: целых 30 событий сосредоточилось в довольно коротком промежутке времени от выхода в свет «Капитала» и изобретения телефона до 1982 г.

Раздел, посвященный изменениям на карте мира, дает представление как о дрейфе континентов в далеком прошлом, так и о географических переменных в жизни человечества на протяжении всей его истории вплоть до сегодняшнего дня: Тихий океан оспаривает у Атлантики ведущую экономическую роль в мире, место Лондона, Рура и северо-восточных американских штатов занимают Япония и Калифорния. Далее следует глава, посвященная собственной шкале времени. Завершается книга очень насыщенным и богатым библиографическим указателем, снабженным пояснениями, перекрестными ссылками, цитатами и дополненным по меньшей мере тридцатью до отказа заполненными временными таблицами. На этих таблицах представлены выбранные автором даты наиболее важных моментов геологической, палеонтологической и исторической летописей. В одних таблицах набор событий вполне привычен — мы не удивляемся, находя их здесь, хотя и в несколько необычном сочетании. Другие таблицы довольно непривычны: например, развитие информационных систем от палеолитических лунных календарей до связи по световодам, история эпидемий от Древнего Рима до наших дней, перечень космических катастроф от древнейших следов катастрофа на земной коре до падения Тунгусского метеорита в 1908 г., развитие транспорта от плотов до космических кораблей. Ключевыми моментами в понимании истории человечества для автора являются вспышки экспансии тех или иных народов: как географической (заселение новых земель), так и культурной (распространение влияния той или иной культуры). Таблица ос-

новных, с точки зрения автора, исторических событий самая длинная: от появления кроманьонских племен собирателей и охотников 40 тыс. лет назад, от распространения железных орудий труда и изобретения колеса до взлета экономического могущества Америки и Японии в наше время. Здесь же история национальной экспансии: несколько штрихов для каждого события.

Книга в целом производит впечатляющее впечатление, показанное опытным иллюзионистом. Подобно фейерверку, эта блестящая демонстрация того, на что способен рациональный анализ, порой создает чуть больше, чем хотелось бы, шума и блеска. Фактический материал предлагается самый свежий: не раз тот или иной вывод автор делает на основании единственной публикации в одном из последних номеров «Nature» или «Science». Неизменно вызывая интерес, такие рассуждения, впрочем, не всегда выглядят убедительно.

Книга менее всего располагает к окончательным выводам. И в то же время для сомнения в ней оставлено мало места; даже слишком мало, если учесть, что прошлое каждый толкует по-своему. Автор — физик и мыслит, как физик; он явно находит удовольствие в свойственных людям этой профессии беспристрастности и стремлении к строгому детерминизму. На деле же, если Кэлдер и грешит против истины, то его ошибка именно в непризнании вариантов. Так, он убежден, что главную роль в историческом процессе играют эпидемические заболевания, а в доисторический период решающее значение имела генетическая мутация, наделившая большинство европейских народов способностью переваривать лактозу. Заметим в скобках, что вопрос о том, был ли основанный на молоке рацион важнее для экспансии бледнолицых, чем пушки и национализм, остается открытым. Молоко, возможно, эффективнее, чем мясо, в смысле преобразования накопленной в растениях энергии, однако хотелось бы иметь доказательства, что, скажем, доблестные моряки флота герцога Албукерки побеждали потому, что строго придерживались молочной диеты. Микроорганизмы прекрасно могут сбраживать лактозу, но лишь немногие неевропейские народности, не имеющие соответствующих ферментов, пользуются этим и употребляют в пищу белки свернувшегося молока. Не лишено остроумия пример с «опиумной войной» 1839—1842 гг., приведенный, чтобы продемонстрировать якобы свойственный китайцам от рождения страх; но возможно и другое — этот народ стал жертвой изобретенного им же самим пороха. С равным упорством автор предпочитает молекулярное определение возраста палеонтологиче-

ским данным, генетику человека — прочим причинам и возможностям объяснения крупных исторических событий, а эволюционные скачки связывает с падением астероидов.

Но все это лишь отдельные недостатки, если не придирики, по сравнению с познавательной ценностью и богатством содержания книги. Автору хочется определенности, даже если имеющиеся у него материалы спорны, — учтем это и будем, хотя и с оглядкой, наслаждаться его старательно аргументированным и удивительно широким по охвату сочинением, не разменивающимся на мелочи или чисто местные проблемы. Манера изложения, иногда, может быть, излишне растянутого, в общем довольно резкая. Тех же, кому нипочем ее тон и не всегда оправданные выводы, чтение не оставит равнодушным. Такие книги становятся настольными.

Собственно, неясных мест в этой кавалерийской атаке на науку и историю не так уж много. При всей сложности содержания книга четко составлена и продуманно оформлена. Высоким уровнем она обязана как опыту и ясности мышления самого автора, так и его широким научным связям (более 100 специалистов были привлечены в качестве консультантов). Книга — яркий пример современного подхода к анализу прошлого. Правда, почти все вопросы, связанные с будущим, оставлены автором за рамками повествования.

АТЛАС МИРОВОГО ОКЕАНА, том 3: Северный Ледовитый океан. Ответственный редактор — С. Г. Горшков, Главнокомандующий Военно-Морским флотом СССР. Главное управление навигации и океанографии Министерства обороны СССР, 1980

WORLD OCEAN ATLAS, VOLUME 3: THE ARCTIC OCEAN. Edited by Sergey G. Gorshkov, Commander-in-Chief of the USSR Navy. Department of Navigation and Oceanography, Ministry of Defense. Union of Soviet Socialist Republics. Distributed by Pergamon Press (\$400)

АТЛАС ОКЕАНОВ издательства «Таймс». Под редакцией Э. Купера THE TIMES ATLAS OF THE OCEANS, edited by Alistair Couper. Van Nostrand Reinhold Company (\$90.50)

У ВЕСИСТЫЙ том, полметра высотой, если его поставить стоймя, — третий из серии (атлас Тихого океана был издан в 1976 г., Атлантического и Индийского океанов — в 1979 г., цена каждого тома около 400 долл.). Это продукция картографов Военно-Морского флота СССР — плод совместной работы многих научно-исследовательских институтов и большой группы редакторов, включая адмиралов во главе

с С. Г. Горшковым. Атлас великолепно издан: отличный шрифт, яркие краски, плавные цветовые переходы на картах. Для рядового англоязычного читателя он вряд ли удобен, поскольку, исключая титульный лист, весь текст и надписи даны на русском языке.

Хотя Северный Ледовитый океан и не является *Mare Nostrum* для Советского Союза, он омывает его берега. Плавание в суровых условиях прибрежной Арктики до сих пор остается смелым и рискованным предприятием в экономическом хозяйстве страны. Исторический раздел атласа, наиболее интересный, пожалуй, для рядового читателя, проливает свет на эту проблему. Читатель узнает, что первым пилотом, совершившим полет над Арктикой, был Я. И. Нагурский: в 1914 г. он пролетел над безжизненными просторами Новой Земли. Позднее появились дрейфующие станции, ледоколы и караваны судов. В 1977 г. впервые в истории (если не считать подводных лодок) морское судно — атомный ледокол «Арктика» — достигло Северного полюса. А в 1979 г. к полюсу по весеннему льду проложили путь семеро молодых лыжников, стартовавших от Новосибирских островов. К удивлению читателя, американские средства массовой информации мало освещали такого рода события последних лет. Атлас ни в коей мере не преувеличивает достижений русских исследователей, в равной степени широко представлена вся история, от Эрика Рыжого до Роберта Пири и американских станций погоды «Браво» и «Чарли».

Исторические сведения составляют лишь десятую часть тома. Океанское дно, его рельеф и строение, климатические условия месяц за месяцем и на различных высотах, распределение осадков, схемы ветров и воздушных масс, физические и химические характеристики океанских вод и их динамика, лед (припайный и плавучий), фауна и флора — вот основное содержание атласа, представленное в виде подробных карт и основанное на самых современных данных. Не забыты и полярные сияния, и магнитное поле Земли, и даже продолжительность светлого времени суток. На превосходной вклейке показано смещение магнитного полюса за каждые 5 или 10 лет начиная с 1900 г.: он пересек острова, лежащие к северу от Канады, и продолжает двигаться к Северному полюсу (хотя и не так целеустремленно, как советские лыжники).

Это научный атлас, которым, будем надеяться, смогут пользоваться моряки всех профессий. Надо полагать, что среднемесячные карты распространения плавучего льда не раз пригодятся им в опасных ситуациях.

Атлас безусловно потребует библиотек, собирающим литературу по Арктике. Океанографические библио-

теки пожелают, конечно, иметь всю серию томов, хотя наиболее интересные и свежие сведения касаются именно Арктики. Несомненной удачей следует считать то, что фирме «Пергамон Пресс» предоставлена возможность распространять столь ценный труд за пределами СССР.

Атлас океанов издательства «Таймс» менее внушителен и по размерам, и по объему информации, но гораздо больше подходит для широкой англоязычной публики. Он содержит карты всех океанов, включая Арктику, хотя и не такие подробные. Это скорее даже не морской атлас, а богатая иллюстрированное введение в экономическую географию океанов, с плотной начинкой из сведений по физике и биологии моря. Страницы большого формата украшает множество рисунков — от изображений морских судов до фотографий крыла и каракатицы и поедаемого ими планктона. Единственная тематическая подборка карт занимает первые 10 страниц и показывает дно Мирового океана — его хребты, разломы, подводные горы и равнины.

Сотни других карт и рисунков разбросаны по статьям, касающимся самых разных волнующих тем. Это окружающая среда и ресурсы, торговля и военная стратегия, освоение океана и морское право. Можно проследить путь айсберга Троллтунга (снимок участка ледяного покрова впервые получен со спутника в 1967 г.). Эта гигантская, размером в пол-острова Лонг-Айленд, льдина медленно дрейфовала на север, пока через 10 лет южнее мыса Доброй Надежды не превратилась в кучку мелких обломков. Одна из карт усеяна изображениями двухсот проливов и каналов, а с полдюжину важнейших из них показаны более подробно. Среди них Ормузский пролив, название которого часто мелькает в тревожных заголовках газет.

На ряде других карт обозначены подводные кабели, скважины, пробуренные с судна «Гломар Челленджер», вероятные пути распространения цунами, места крупнейших за последние два года кораблекрушений и даже около двадцати наиболее популярных курортов для любителей серфинга (общее число энтузиастов этого вида спорта по всему свету, не считая полярных областей, достигает трех миллионов). Война на Фолклендских (Мальвинских) островах фигурирует среди двухсот военно-морских инцидентов, происшедших за период с 1946 года. По вмешательству в военные конфликты на море, будь они наступательного или оборонительного характера, первое место занимают США.

Объем информации самого разного характера делает атлас первоклассным справочным пособием. Его редактор и составители (большая часть авторов

работает в Кардиффском университете в Уэльсе) имеют полное право гордиться плодом своего труда. Эту честь разделяют с ними и издательские группы из Англии, Дании и Италии.

Ганс Й. Люгт. Вихревое движение в природе и в технике
VORTEX FLOW IN NATURE AND TECHNOLOGY, by Hans J. Lugt. John Wiley and Sons, Inc. (\$ 49.95)

ВИХРИ — одна из форм упорядоченного движения, которую природа часто предпочитает хаосу». Вращение вещества вокруг общего центра, будь то небольшой вихорик или целая галактика, всегда восхищало глаз и ум.

Люгт — известный гидродинамик, работающий в Центре исследований и разработок по морским судам Дэвида В. Тэйлора близ Вашингтона. Он одинаково уверенно чувствует себя и с огромными моделями кораблей, которые буксируют в бассейнах длиной в милю, и с историей науки, и с могущественным, понятным лишь посвященным языком современных компьютеров. Его книга — это исчерпывающее повествование о вихревом движении, имеющее описательный, но строго научный характер; в ней почти нет уравнений, зато в избытке таблицы, графики и диаграммы. Охватываемая книгой область столь обширна, а геометрические представления, использованные в ней, настолько далеки от интуитивных, что она заслуживает самого внимательного прочтения. Если первая глава посвящена «преданьям старины», отразившимся в вихре мифологических сюжетов, или бурным музыкальным метафорам в «Страстях» Баха, то в последней главе мы встречаемся с вихрями в космосе. Математическое дополнение полностью обособленно. Те, кто знаком с векторными полями и уравнениями гидродинамики, найдут строгое обоснование приведенных в книге рассуждений.

Содержание делится на две части. В первой рассмотрены движения, связанные с внутренними причинами: влиянием стенок, кромок и крыльев, неустойчивостью и турбулентностью потоков в лабораторных условиях. Это что-то вроде панорамного обозрения теории вязкой жидкости. Во второй части автор переходит к течениям значительно больших масштабов, в которых существенны и вращение Земли, и стратификация атмосферы и океана, создаваемая силой тяжести. Две части книги, по 100 с лишним страниц каждая, представляют последовательный анализ явлений, наблюдаемых как в лабораториях, так и за их пределами, и содержат множество примеров с количественными оценками. Так, три или четыре страницы посвящены вихрям в

водозаборах и у сливных отверстий — родственникам обычной воронки, которую можно наблюдать в ванне. Такие упорядоченные и устойчивые движения, отличающиеся «компактностью» энергии, источник которой не так-то легко определить, кажутся настоящим чудом. Прибегая к закону сохранения энергии, автор легко показывает, как слабое начальное возмущение в жидкости может вырасти в быстро вращающийся вихрь. Воронка в ванне имеет три или четыре не совсем очевидных источника завихренности. В книге описаны эксперименты, которые при тщательно подобранных условиях

обнаруживают величественное вращение Земли по эффектам в простой ванне. В Сиднее вода, вытекающая из симметрично сделанной ванны, будет закручиваться по часовой стрелке, в Бостоне — в обратном направлении.

Наиболее интересные и оригинальные разделы первой части книги посвящены вихрям, рождающимся при столкновении или слиянии потоков, а также в результате неустойчивости и турбулизации. То, что упорядоченные вихревые структуры появляются даже в процессе постепенного перехода к турбулентному режиму, лишней раз подтверждает предположение, что ха-

ос не возникает хаотически.

Во второй части книги речь идет о вихревых движениях в океане и атмосфере Земли. Здесь и торнадо, и песчаные бури, и Гольфстрим, и струйные течения — все это в контексте с обзором современных представлений о циркуляции «в морях и в небесах». Наглядно представлены на рисунках и схемах струйные течения (по два в каждом полушарии — субполярное и субтропическое), хотя их природа остается не вполне ясной для читателя. Описана связь Гольфстрима с вихревыми движениями. Мы выясняем, к своему удивлению, что центральная часть североатлантического круговорота, та самая спокойная «заводь», которую именуют Саргассовым морем, имеет аналог в северной части Тихого океана в районе Гавайских островов.

Физически ясно описаны различные режимы течения, зависящие от соотношения действующих сил; в количественном виде эти соотношения выражаются числами Рейнольдса, Россби, Рэлея и Экмана. В неравномерно вращающейся баке неправильной формы возникают удивительно разнообразные водовороты — явление, которым мы обязаны сэру Джэфри Тэйлору. Заключительная глава написана не без некоторой претенциозности. На десяти или около того страницах автор пытается объяснить все — от большого красного пятна Юпитера до вращения галактик. Люфт стремится отыскать причину этого вращения в пределах самой галактики, не соглашаясь с наиболее распространенной точкой зрения, согласно которой галактики вращаются за счет взаимодействия друг с другом. Вообще говоря, ничто не указывает на существование результирующего момента количества движения Вселенной.

Те, кто действительно интересуется вопросами течения жидкостей, найдут в этой книге превосходное изложение предмета, не обремененное математикой. Для студентов и преподавателей книга может стать настольным пособием, если учесть, что в ней к тому же содержится 500 библиографических ссылок. Можно надеяться, что неподготовленный читатель также захочет углубиться в сжатое написанные главы. После издания ее на немецком языке около двух лет назад книга была тепло встречена серьезной читательской аудиторией. Познакомившийся с ней будет помнить, что стремительно плывущая рыба и медленно поворачивающаяся подводная лодка, падающий с дерева лист и легкий летний ветерок оставляют за собой слабый, порой неощутимый след из разнообразных по форме и размеру вихрей, являющих собой более упорядоченную и, возможно, более распространенную форму движения, чем всем известные волны.

Издательство МИР предлагает:

М. Дж. Адамс ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ

Перевод с английского

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

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

1984, 34 л. Цена 2 р. 90 к.

А. Лихтенберг, М. А. Либерман РЕГУЛЯРНАЯ СТОХАСТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА

Перевод с английского

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

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

1984, 30 л. Цена 4 р. 80 к.



Издательство МИР предлагает:

И. Мадсен, Р. Милгрэм

**КЛАССИФИЦИРУЮЩИЕ ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ ПЕРЕСТРОЕК
И КОБОРДИЗМОВ МНОГООБРАЗИЙ**



Книга известных математиков И. Мадсена (Дания) и Р. Милгрэма (США) посвящена важному разделу современной алгебраической топологии, имеющему фундаментальное общематематическое значение. Она является

итогом двадцатилетнего периода решения труднейшей проблемы классификации структур на многообразиях.

Для математиков различных специальностей, алгебраистов и топологов.

1984, 14 л. Цена 2 р. 10 коп.



Занимательный компьютер

Поворачивающаяся черепаха позволяет взглянуть на геометрию «изнутри»

БРАЙАН ХЭЙЕС

ЧТО ТАКОЕ окружность? Быть может, это предел, к которому стремится n -угольник при бесконечном возрастании n ? Или это частный случай эллипса, в котором два фокуса слились в один? А может быть, геометрическое место точек плоскости, равноудаленных от заданной точки?

Разумеется, все эти определения имеют право на существование, и можно дать немало других. Но рассмотрим лишь одно из них: окружность представляет собой замкнутую кривую, образованную последовательным повторением двух чередующихся элементарных действий — продвижением чуть-чуть вперед и поворотом чуть-чуть вправо до тех пор, пока полный поворот не составит 360° . Такое определение принципиально отличается от других: вместо описания самой окружности или характерных ее свойств предлагается процедура построения. Более того, сама процедура имеет особый характер — ее формулировка целиком опирается на «локальные» свойства окружности. Для построения кривой

достаточно информации об окрестности той точки, где вы сейчас находитесь; совсем не нужно представления о всей картине в целом. Также нет необходимости знать ни о расположении центра, ни даже о величине ее радиуса.

В такого рода процедурах и заключается суть нового взгляда на геометрию как на эмпирическую геометрию. При этом подходе исследователю предлагается вообразить себя путешественником в мире геометрических фигур, тогда как для других подходов характерна тенденция отделить фигуру от наблюдателя, расположить их в ином пространстве. Разница здесь примерно такая же, как между непосредственным исследованием местности и изучением ее карты. Особенно полезен эмпирический подход в тех случаях, когда геометрические понятия изучают при помощи компьютеров. Определение, заданное процедурой, легко запрограммировать, и ЭВМ будет вычерчивать соответствующую фигуру.

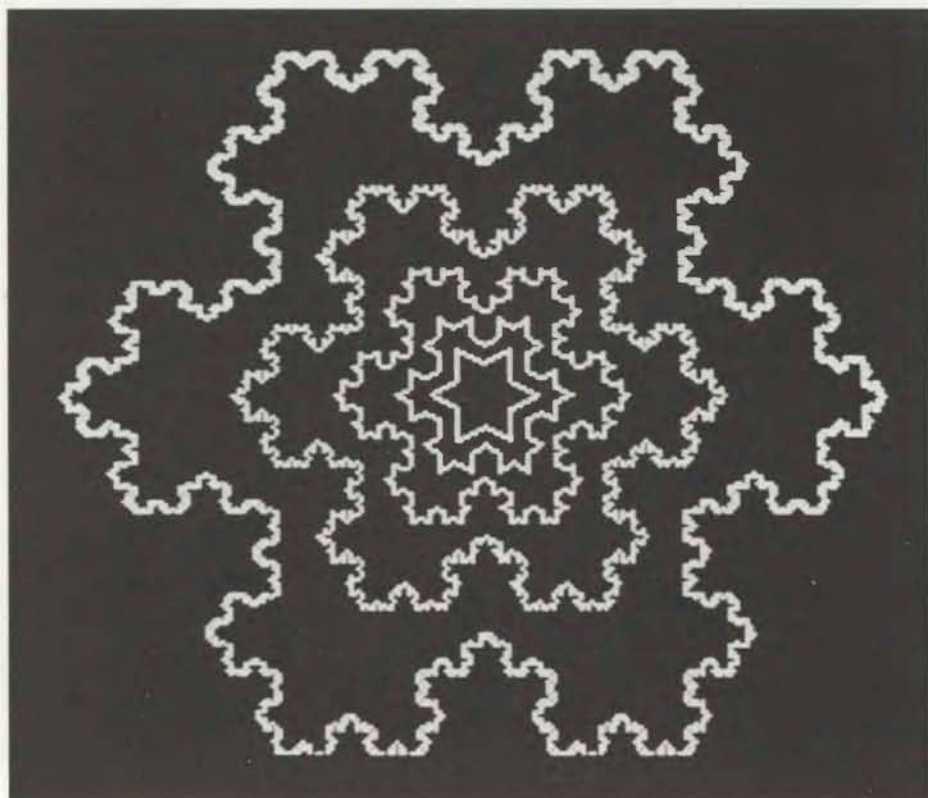
НОВЫЙ взгляд на геометрию реализовался в так называемой «чере-

пашей графике», тесно связанной с языком программирования Лого, разработанным в 1960 г. Сеймуром Перпелтом в Массачусетском технологическом институте (МТИ) для ознакомления детей с основами программирования. С тех пор язык значительно усовершенствовался и сфера его приложения вышла за рамки образования. Среди многих внесших свой вклад в развитие Лого следует выделить сотрудников МТИ Харолда Эйбелсона и Андреа диСессу, которые в своей необыкновенно иллюстративной работе "Turtle Geometry: The Computer as a Medium for Exploring Mathematics" («Черепаший график. ЭВМ как средство математических исследований») изложили идеи, легшие в основу черепаший графике.

Первая «черепаха» была механическим устройством: небольшая тележка на колесах, управляемая ЭВМ по командам, задаваемым с пульта. Ее построил английский нейрофизиолог У. Грей Уолтер в конце 40-х годов. Куполообразный корпус этой конструкции был похож на черепаший панцирь. Механическая черепаха могла передвигаться вперед и назад и менять направление поворотом на месте. В шасси было вмонтировано перо, так что когда черепаха ползала по листу бумаги, то прочерчивала на нем свою траекторию. Сегодня такая «напольная черепаха» известна меньше, чем «экранная черепаха», которая в виде треугольника перемещается по телевизионному экрану по команде с пульта или по введенной с терминала программе.

В большинстве методов формирования графического изображения при помощи ЭВМ используется фиксированная система координат, как правило декартова, с двумя перпендикулярными осями. Положение каждой точки на экране определяется относительно фиксированного начала координат, например левого нижнего угла, в котором пересекаются воображаемые оси. Направления на плоскости определяются также относительно этих осей. Чтобы задать команду для проведения отрезка прямой, достаточно указать координаты двух концевых точек. Если, например, эти точки $[0, 0]$ и $[100, 0]$, внизу экрана появится прямая линия длиной в 100 единиц.

Следует отметить, что в любой фиксированной системе координат результат выполнения команды не зависит от предшествующей последовательности команд. Совсем иное положение в черепаший графике. Чтобы прочертить отрезок прямой длиной в 100 единиц, черепахе дают команду ВПЕРЕД 100. Однако, где именно на экране появится этот отрезок и как он будет ориентирован, целиком зависит от состояния черепахи к моменту получения команды. Состояние черепахи в любой момент



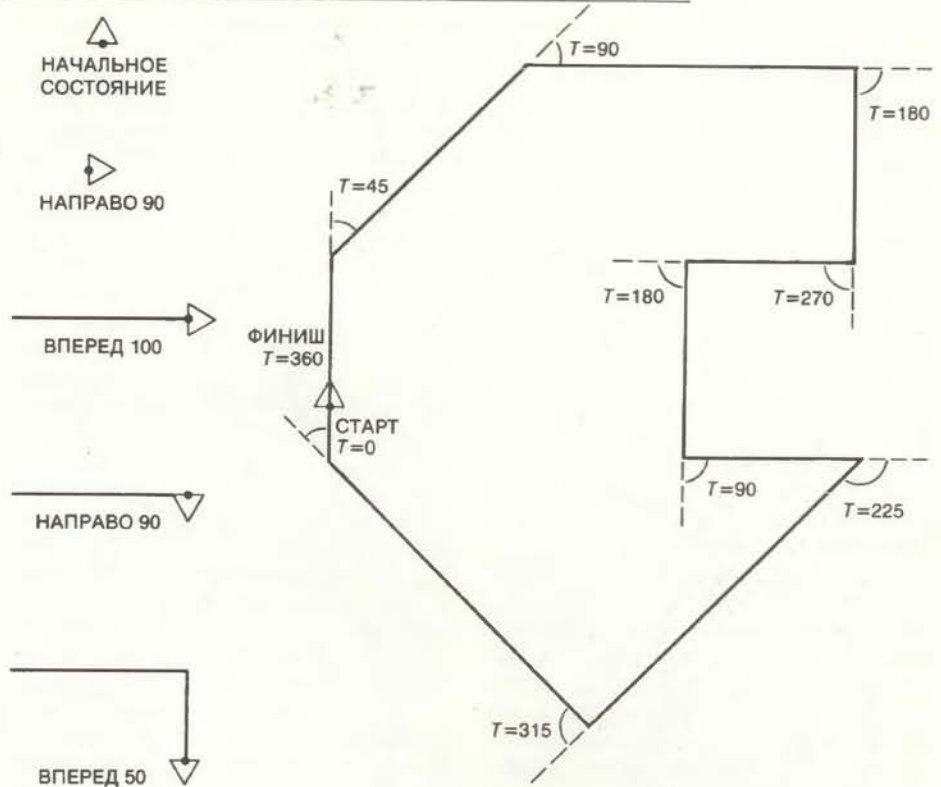
Вложенная последовательность кривых в виде снежинки, нарисованная черепахой

определяется ее местоположением и курсом. Команда ВПЕРЕД 100 служит для черепахи основанием продвигаться из своего текущего положения на 100 единиц в направлении, определяемом текущим курсом (т.е. «головой вперед»). Следовательно, одна и та же команда в зависимости от начального состояния черепахи может привести к абсолютно разным результатам.

Пользуясь всего лишь двумя командами ВПЕРЕД и НАПРАВО, можно получить простую систему черепаший графики. После команды ВПЕРЕД указывается число, означающее количество шагов, которое должна пройти черепаха. После НАПРАВО также следует число, выражающее угол в градусах, на который черепаха должна отклониться вправо от своего текущего курса. Последовательными продвижениями вперед и правыми поворотами можно начертить на плоскости любую геометрическую фигуру. (Заметим, что левый поворот на 90° можно определить двойкой: НАПРАВО 270, или НАПРАВО -90° .) Тем не менее в реальных системах черепаший графики обычно есть команды НАЗАД (или ОБРАТНО) и НАЛЕВО. Командами ПЕРОВНИЗ и ПЕРОВВЕРХ дается или отменяется указание вычерчивать траекторию движения черепахи. Имеется также несколько команд, которые позволяют по состоянию черепахи вычислять ее абсолютные координаты, но для черепаший графики они не существенны.

ГЕОМЕТРИЮ, порожденную черепаший графикой, формально можно назвать конечно-разностной геометрией. Она конечная, так как черепаха способна передвигаться только дискретными шагами, и разностная, потому что все перемещения определяются разностью между текущими и последующими значениями положения и курса. Таким образом, в иных терминах выражено то обстоятельство, что в этой разновидности геометрии мы имеем дело лишь с локальными свойствами прямых, кривых и поверхностей; информации об отдаленных точках или о глобальных свойствах геометрических фигур здесь не требуется. Следовательно, от черепаший графики больше всего проку, когда мы стремимся выявить «подлинный характер» геометрической фигуры, т.е. когда нас интересует ее «внутреннее содержание».

Есть одно понятие, которое очень трудно сформулировать в декартовой системе координат, но стоит воспользоваться черепаший графикой, как оно становится абсолютно прозрачным. Это понятие кривизны. В декартовых координатах кривизну некоторой линии на плоскости можно представить себе как скорость изменения тангенса угла наклона касательной от точки к



Несколько получаемых черепахой команд (слева) и иллюстрация понятия полного поворота (справа)

точке. Изменение тангенса в свою очередь соответствует изменению координаты x . Черепахе следить за кривизной значительно проще: это полный поворот, совершаемый ею за один шаг. Таким образом, в окружности, которая определяется последовательным чередованием команд ВПЕРЕД 1, НАПРАВО 1, кривизна в любой точке равна 1.

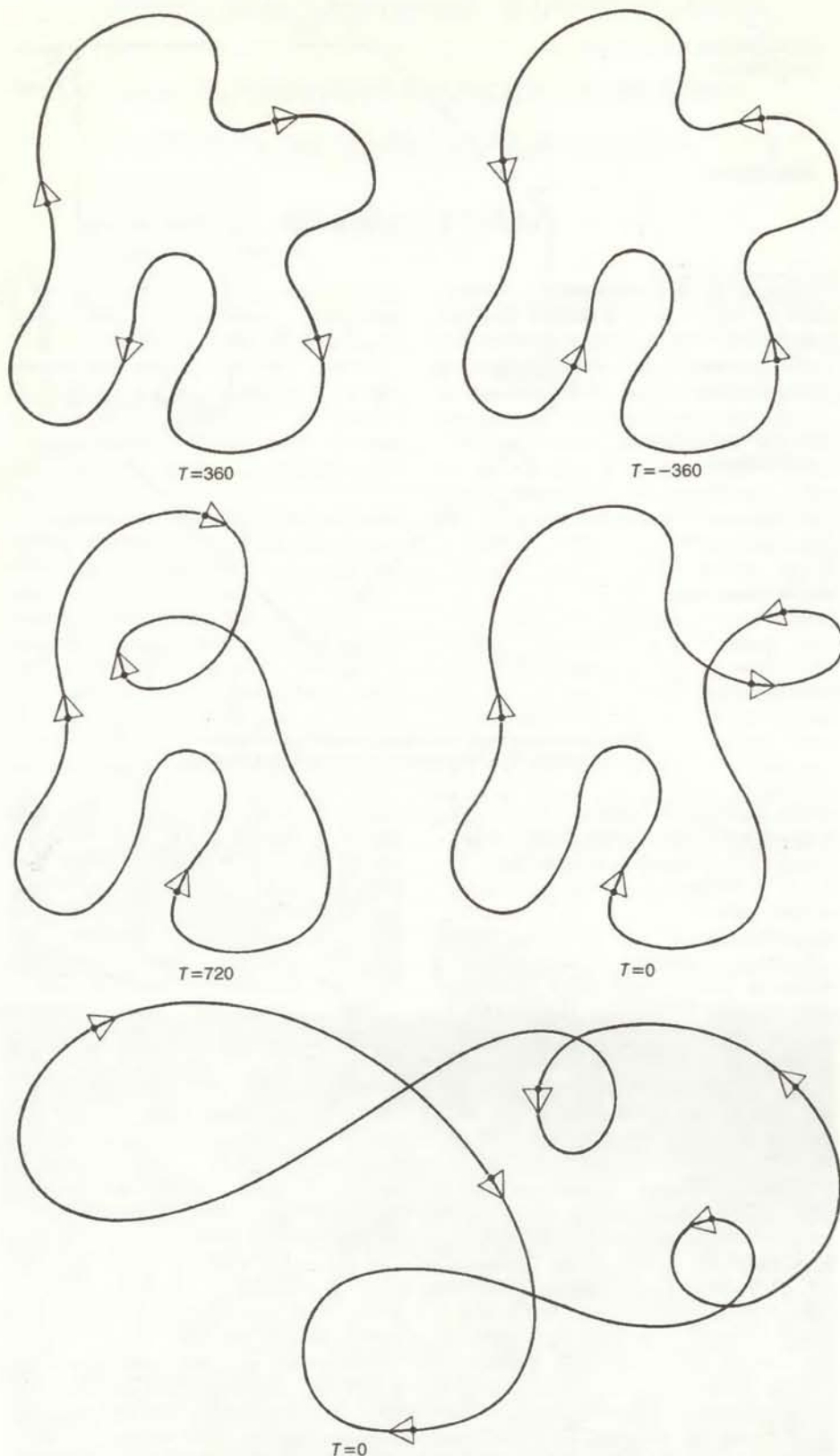
Понятие полного поворота обогащает нас другими интересными находками. Рассмотрим всем известную теорему евклидовой геометрии о сумме внутренних углов выпуклого многоугольника. В треугольнике эта сумма равна 180° , в четырехугольнике — 360° , в пятиугольнике — 540° , и т.д. Иными словами, это всегда целое число, умноженное на 180° , где целое на два меньше числа сторон. Полный поворот черепахи складывается совсем из других углов: это не внешние и не внутренние углы, а отклонения от курса в каждой вершине. Можно сформулировать теоремы о полном повороте в многоугольнике. Они будут несколько отличаться от теорем о внутренних углах, но им также свойственна общность.

В самой фундаментальной теореме утверждается, что полный поворот черепахи, вычерчивающей многоугольник, выражается целым числом, умноженным на 360° . Доказательство просто и совершенно очевидно. Если кривая замкнута (а это справедливо для любого многоугольника), то черепаха обязательно должна вернуться в исходную

точку, и, когда это произойдет, курс черепахи должен быть таким же, как в начале ее пути. (Последнее фактически может служить некоторым эффективным определением геометрической замкнутости.) Если курс совпадает с исходным, то полный поворот равен 0° , или 360° , или любому кратному 360° .

Для выпуклого многоугольника можно доказать более сильный результат: полный поворот равен точно 360° . (Многоугольник называется выпуклым, если прямая, связывающая любые две точки, принадлежащие его сторонам, никогда не выйдет за пределы многоугольника.) Эта теорема, однако, применима к любым многоугольникам, в том числе и к невыпуклым (таким, как пятиконечная звезда). Она применима даже к замкнутым фигурам, стороны которых образованы кривыми и которые, следовательно, не являются многоугольниками.

В геометрии, основанной на фиксированной системе координат, у суммы внутренних углов выпуклого многоугольника мало очевидных взаимосвязей с другими понятиями. А вот в черепаший графике понятие полного поворота служит мощным средством, применимым в широкой области. Эйбелсон и диСесса показали, что его можно использовать, например, для анализа топологических свойств замкнутого пути. Путь, составленный из любого числа прямых, кривых и витков, называется простым в топологическом смысле, если в нем нет пересечений. Как и в простом выпуклом много-



Топологически замкнутые кривые, в которых использовано понятие полного поворота

угольнике, полный поворот для простого пути равен 360° . Добавление одной петли (и одного пересечения) превращает полный поворот в 0° либо в 720° , в зависимости от ее ориентации. С каждой новой петлей либо добавляется, либо вычитается 360° . На этом основании, находясь на месте черепахи, топологические свойства пути можно определить, имея в каждый момент в поле зрения лишь микроскопи-

ческий участок пути.

Понятие полного поворота легло в основу алгоритма, позволяющего черепахе найти выход из лабиринта. У Эйбелсона и диСессы алгоритм выглядит так:

«1. Выбрать произвольное начальное направление (например, на север) и встать к нему лицом.

2. Двигаться в «северном» направлении до тех пор, пока не встретится пре-

пятствие.

3. Поворачивать налево до тех пор, пока это препятствие не окажется справа от вас.

4. Обходить это препятствие так, чтобы оно все время оставалось справа от вас, пока полный поворот (включая первый поворот на шаге 3) не станет равным 0.

5. Вернуться к шагу 2».

Следуя этим правилам, черепаха сможет выбраться из любого лабиринта (разумеется, при условии, что он имеет выход). Эта процедура всегда работает, потому что есть только одна возможность заманить черепаху в ловушку — завести ее в бесконечный цикл. А если следовать курсу полного поворота, такой ловушки можно избежать. Снова отметим, что стоящая перед черепахой глобальная задача — найти дорогу из лабиринта — будет решена, несмотря на то что черепахе доступны сведения только о ближайшем окружении; взгляд на лабиринт с высоты птичьего полета абсолютно не нужен. Универсальная процедура решения лабиринта называется алгоритмом Пледжа в честь англичанина Джона Пледжа из Эксетера, придумавшего алгоритм в двенадцатилетнем возрасте.

Еще большие возможности появляются, если понятие полного поворота применить к случаю, когда поверхность, по которой разрешается бродить черепахе, не плоскость. На сфере, например, полный поворот по замкнутому пути оказывается меньше 360° . Более того, величина отклонения от 360° зависит от длины пути или, точнее, от области, которую этот путь охватывает. Читатели, знакомые с неевклидовой геометрией (открытой в XIX столетии), должны понять, в чем здесь дело: в угловом дефекте — мере кривизны поверхности. В этом примере существенно, что измерение может быть сделано только по локальной информации. Если в качестве примера вам больше нравится кривизна пространства-времени Вселенной, то и эта мера, очевидно, была получена изнутри Вселенной. Эйбелсон и диСесса рассматривают эти вопросы в конце своей книги (см. библиографию), где они формулируют общую теорию относительности при помощи черепаший графики.

Они также рассматривают блуждания черепахи по поверхности куба, которая топологически эквивалентна сфере, но имеет совсем другие геометрические свойства. В самом деле, геометрия поверхности куба весьма причудлива. Предположим, что длина ребра куба равна 100 единицам и что сначала черепаха находится в центре одной из граней и направлена параллельно какому-нибудь ребру. Трижды повторим команды ВПЕРЕД 100, НАПРАВО 90. В результате получим замкнутую кривую, ограничивающую геомет-

рическую фигуру с тремя равными углами и тремя равными сторонами, или, можно сказать, равносторонний многоугольник с прямыми углами. Что же это — правильный треугольник с прямыми углами или квадрат с тремя сторонами?

Другим замечательным примером геометрии кубической поверхности может служить моногон — односторонний многоугольник. Это замкнутый путь, который проделывает черепаха, движущаяся все время в одном направлении, без поворотов. Представьте себе, как получается такой моногон, очень просто, даже не имея черепахи, управляемой компьютером: мысленно проведите на кубе «экватор». Куда сложнее другой вопрос: существует ли на поверхности куба такая комбинация начального положения и курса, которая не приводит к моногону, если двигаться все время в заданном направлении? Что если этот угол выражается иррациональным числом? Ответ можно найти в гл. 6 упомянутой выше книги Эйбелсона и диСессы, но авторы настоятельно не советуют его смотреть. В одном месте они помещают такое предостережение: «ОСТОРОЖНО! В следующем разделе содержится «сверхтворение» математики (уже открытое). Оно может повредить вашему воображению, так что пользуйтесь этим материалом только в самом крайнем случае».

ОТКРЫТИЕ какого-либо принципа и исследование его обобщений весьма характерно для стиля черепашьей графики. Этот процесс значительно упрощается благодаря компьютеру: эксперименты ставятся очень легко, а любые вариации на заданную тему получаются мизерными усилиями. Короче говоря, это геометрия для халтурщиков.

Рассмотрим следующую процедуру, описанную Эйбелсоном и диСессой и другими авторами работ по языку Лого:

```

НА КВАДРАЛЬ :РАССТОЯНИЕ
ВПЕРЕД :РАССТОЯНИЕ
НАПРАВО 90
КВАДРАЛЬ :РАССТОЯНИЕ + 5
КОНЕЦ

```

Здесь КВАДРАЛЬ — название процедуры, РАССТОЯНИЕ — переменная, начальное значение которой задается при обращении к процедуре. (Двоеточие — принятое в Лого соглашение для идентификации переменных.) Черепахе дается команда двигаться вперед на заданное расстояние и потом повернуть на 90° ; затем процедура КВАДРАЛЬ выполняется снова, но уже с большим значением переменной РАССТОЯНИЕ. В результате получается «КВАДратная СПИРАЛЬ», которая, постепенно расширяясь, подходит к

рамке экрана. (Спираль, полученная по приведенной здесь процедуре, может расти бесконечно, хотя на экране будет виден только ее конечный фрагмент.)

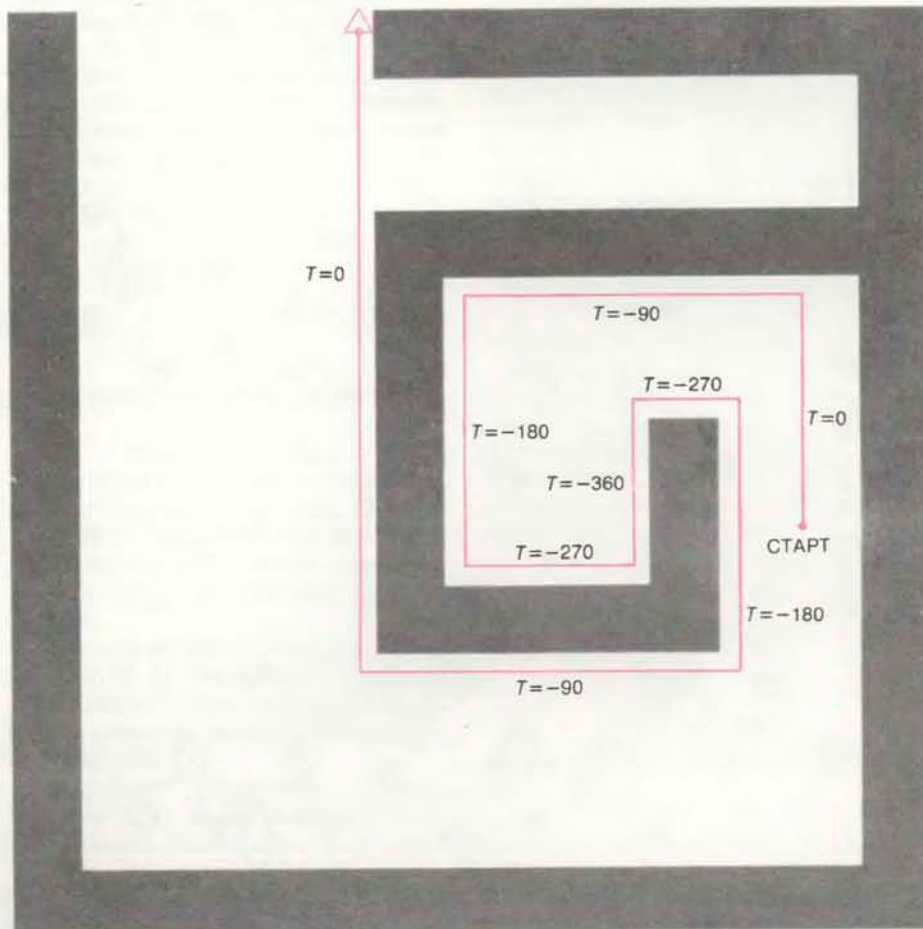
Допустимы всевозможные модификации. Меняя постоянное слагаемое, которое прибавляется к переменной, мы будем всего лишь равномерно стягивать или растягивать витки спирали. Если же сложение заменить умножением на константу, большую единицы, то получится спираль, прямые отрезки которой будут увеличиваться пропорционально их расстоянию от центра. Если в команде НАПРАВО 90 подставлять другие постоянные значения угла, то можно получать треугольную, пятиугольную и какую-угодно-угольную спирали. Если угол отличается от прямого незначительно, получается совокупность вложенных «квадратов», закручивающаяся вокруг центра, причем их вершины описывают другие спирали. Задание очень маленького угла приводит к некоему приближению к гладкой «круговой» спирали.

Можно также изменить процедуру таким образом, чтобы при каждом обращении к ней менялось не расстояние, а угол. Метаморфоза совершенно потрясающая: вместо одной постоянно раскручивающейся спирали черепаха рисует скручивающуюся спираль и затем, поменяв направление, раскручивающуюся спираль, потом другую скру-

чивающуюся и т.д., создавая симметричный массив спиралей, связанных воедино самыми объемлющими циклами. Причина кроется в том, что при добавлении постоянной расстояние может увеличиваться лишь монотонно, тогда как изменение на константу угла обязательно приведет снова к малому его значению, поскольку значения углов повторяются с периодом 360° .

Рассмотрим один подкласс кривых, полученных при начальном значении угла 0° (см. рисунок на с. 62). Все узоры этого класса по основным очертаниям аналогичны. Черепаха создает ряд спиралей, то раскручивая, то закручивая их, затем проходит весь этот путь в обратном направлении и, вернувшись в исходную точку, создает идентичный массив, отраженный относительно первого на 180° . Этот путь черепаха проходит бесконечно. Количество нарисованных ею спиралей зависит только от приращения угла, но природа этой зависимости далеко не очевидна. Если приращение угла не делится на 8, то число спиралей на единицу больше числа, полученного от деления приращения на наибольший общий делитель приращения и 360. Можете объяснить почему? Можете ли вы предсказать общие очертания узора, когда приращение кратно 8?

Благодаря компьютеру стало возможно изучать семейства таких спира-



Черепаха, следуя алгоритму Пледжа, выбирается из лабиринта

лей. Аналогичные исследования можно предпринять в отношении семейства многоугольников, ячеистых покрытий и рекурсивных фигур вроде снежинки, которая получается повторением в постоянно уменьшающемся масштабе одной и той же структуры (см. рисунок на с. 98). В этом процессе неограниченную помощь может оказать черепаший график благодаря конструктивному и алгоритмическому ее определению. Было бы по крайней мере нелепо выписывать уравнение, которое целиком описывает структуру снежинки, если можно воспользоваться процедурой порождения такой конфигурации, легко разбиваемой на несколько повторяющихся элементарных шагов.

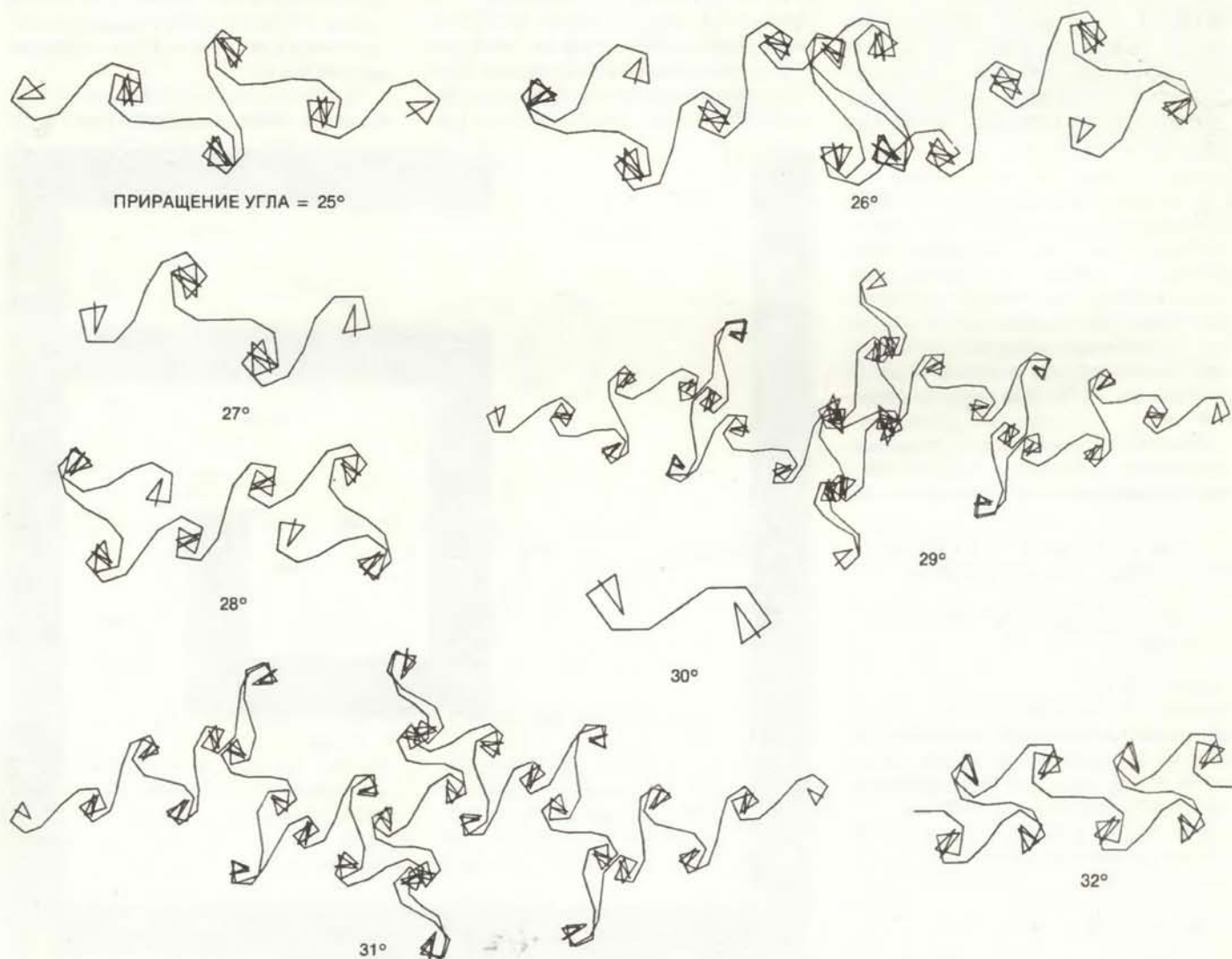
Хотя черепаший график и язык программирования Лого исторически развивались параллельно, потом пути их разошлись. Эйбелсон и диСесса отмечают, что черепахи обосновались по меньшей мере еще в двух языках (разновидностях АПЛ и Smalltalk), а программы в их книге написаны не на Лого, а на специальном языке, названном ими Turtle Procedure Notation. Они со-

ветуют создать систему черепаший графики на базе Бейсика и Паскаля. Черепаха наложила отпечаток и на новый язык Вохег, который сейчас разрабатывается в МТИ членами группы Лого.

САМ ПО СЕБЕ Лого — мощный универсальный язык программирования. Тесные родственные узы связывают его с Лиспом — языком для обработки списков, изобретенным более 20 лет назад Джоном Маккарти. Различия между этими языками в сущности сводятся к различиям в словаре и пунктуации. Лого был задуман как язык для детей и был решен в антропоморфическом аспекте. Программист пишет так, как если бы он обращался непосредственно к черепахе, и время от времени черепаха дерзит, выдавая сообщение об ошибке: «Я не знаю, как делать квадраль». Подобная «застенчивость» не должна вводить вас в заблуждение: это делается не забавы ради. Антропоморфизм здесь умышленный — это средство вовлечения программиста (ребенка или взрослого — все равно) в

эксперимент с системой черепаший графики. Когда программа ставит вас в тупик, она советует «поиграть с черепахой».

Глубочайшая связь между черепаший графикой и языком Лого состоит в общем подходе к методике обучения. Основная идея этого подхода заимствована из работ Жана Пьяже, в которых высшим достижением в процессе обучения считаются открытия, сделанные самими учащимися. Пейперт, в течение пяти лет работавший с Пьяже, изложил его взгляды в работе "Mindstorms: Children, Computers and Powerful Ideas": «Программирование поведения черепахи начинается с воспроизведения того, что стал бы делать сам программист на месте черепахи. Таким образом, обучая черепаху действовать или «думать», он вынужден воспроизводить собственное поведение или мысли... Эксперимент может оказаться и опрометчивым: размышляя о процессе мышления, ребенок превращается в гносеолога, а такая роль подчас бывает не по силам и взрослому».



Восемь семейств спиралей, полученных добавлением фиксированного приращения к начальному углу 0°

МЫ ПОЛУЧИЛИ ряд откликов по поводу порождения случайной прозы, обсуждавшейся в январском номере. С удовольствием предоставляем их вашему вниманию. Один из описанных мною алгоритмов предназначался для поиска в тексте данной последовательности символов и построения затем таблицы частот символов, которые появлялись за данной последовательностью. Процедура повторялась с каждой буквой текста, полученного случайным образом. Несколько читателей предложили более эффективные процедуры.

В подходе, предложенном Ю. Дейхофф и С. Локом, используется структура данных, называемая кеш-таблица. Каждой последовательности символов в тексте приписывается численное значение, которое служит индексом элемента в таблице. Сам элемент представляет собой частоты символов, которые появляются за последовательностью с этим номером. Включать следует только реально существующие последовательности. Процедура должна быть очень быстрой, потому что кеш-таблица строится один раз и для обращения к ней требуется только вычислить индекс, не отыскивая все элементы.

Б. Брайан, Дж. Батлер, Р. Дил, У. Данлэн и Дж. Шермер указали еще на один алгоритм, который не только быстрее моего, но и значительно проще. В нем таблица частот вообще не требуется. Когда исследуется некий символ, который должен идти за данной последовательностью, в качестве исходной точки берем случайное положение в тексте и от этого места ищем образованную последовательность. Вместо того чтобы табулировать все вхождения таких последовательностей, поиск заканчивается, как только найдена первая; затем исследуется другая буква. Если распределение буквенных последовательностей практически равномерно, результаты должны быть близки к тем, которые дает таблица частот.

С. П. Капица, главный редактор журнала «В мире науки», обратил мое внимание на важный исторический факт. Появление некоторой буквы в тексте может рассматриваться как марковская цепь, названная так в честь создателя теории таких процессов известного русского математика А. А. Маркова (1856—1922 гг.). Марков впервые рассмотрел подобные процессы в статье «Пример статистического исследования над текстом «Евгения Онегина», иллюстрирующий связь испытаний в цепь» (1913 г.), сыгравшей основополагающую роль в области теории случайных процессов, которая теперь находит широкое применение как в физике, так и в математической лингвистике и теории информации.

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

MINDSTORMS: CHILDREN, COMPUTERS, AND POWERFUL IDEAS. Seymour Papert. Basic Books, Inc., 1980.

TURTLE GEOMETRY: THE COMPUTER AS A MEDIUM FOR EXPLORING MATHEMATICS. Harold Abelson and Andrea A. di Sessa. The MIT Press, 1980.

СПЕКТРОСКОПИЯ ПЕРЕОХЛАЖДЕННЫХ ГАЗОВ

SUPERSONIC NOZZLE BEAMS. James B. Anderson, Ronald P. Andres and John B. Fenn in *Advances in Chemical Physics*, Vol. 10, pages 275—317; 1966.

LASER SPECTROSCOPY IN SUPERSONIC JETS. D. H. Levy, L. Wharton and R. E. Smalley in *Chemical and Biochemical Applications of Lasers*, edited by C. Bradley Moore. Academic Press, 1977.

MOLECULAR OPTICAL SPECTROSCOPY WITH SUPERSONIC BEAMS AND JETS. Richard E. Smalley, Lennard Wharton and Donald H. Levy in *Accounts of Chemical Research*, Vol. 10, No. 4, pages 139—145; April, 1977.

Катаев Д. И., Мальцев А. А. СПЕКТРОСКОПИЯ ПАРОВ ТРУДНОЛЕТЕЧИХ СОЕДИНЕНИЙ, ПЕРЕОХЛАЖДЕННЫХ В СВЕРХЗВУКОВОМ ПОТОКЕ. — Журнал экспериментальной и теоретической физики, 1973, т. 64, № 5, с. 1527—1537.

Баронов Г. С., Бритов А. Д. и др. СТРУКТУРА МОЛЕКУЛЯРНЫХ СПЕКТРОВ ПЕРЕОХЛАЖДЕННЫХ ГЕКСАТОРИДОВ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ПОЛУЧЕННАЯ С ПОМОЩЬЮ СПЕКТРОМЕТРА НА ИНЖЕКЦИОННЫХ ЛАЗЕРАХ. — Известия АН СССР, серия физическая, 1981, т. 45, № 8, с. 1500—1503.

ДРЕВНЕЙШИЕ ЭУКАРИОТИЧЕСКИЕ КЛЕТКИ

THE OLDEST FOSSILS. Elso S. Barghoorn in *Scientific American*, Vol. 224, No. 5, pages 30—42; May, 1971.

THE EVOLUTION OF THE EARLIEST CELLS. J. William Schopf in *Scientific American*, Vol. 239, No. 3, pages 84—102; September, 1978.

SYMBIOSIS IN CELL EVOLUTION. Lynn Margulis. W. H. Freeman and Company, 1981. [Имеется перевод: Маргелис Л. Роль симбиоза в эволюции клетки. — М.: Мир, 1983.]

PROTEROZOIC PLANKTON. Gonzalo Vidal and A. H. Knoll. Geological Society of America. Memoire No. 30, in press.

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ ДОКЕМБРИЯ И РАННЕГО КЕМБРИЯ. Труды Всесоюзного симпозиума 11—14 мая, Ленинград. — Л.: Наука, 1979.

Соколов Б. С., Федонкин М. А.

И ЕЩЕ 100 МИЛЛИОНОВ ЛЕТ. — Наука в СССР, 1983, № 5, с. 10—19.

Тимофеев Б. В. МИКРОФОССИЛИИ РАННЕГО ДОКЕМБРИЯ. — Л.: Наука, 1982.

Янкаускас Т. В. НОВЫЕ ВИДЫ АКРИТАРХ ИЗ НИЖНЕГО КЕМБРИЯ ПРИБАЛТИКИ. — Труды Ин-та геологии и геофизики Сиб. отд-ния АН СССР, 1976, вып. 296, с. 187—192.

ОРБИТА ЗЕМЛИ И ЛЕДНИКОВЫЕ ЭПОХИ

VARIATIONS IN THE EARTH'S ORBIT: PACEMAKER OF THE ICE AGES. J. D. Hays, John Imbrie and N. J. Shackleton in *Science*, Vol. 194, No. 4270, pages 1121—1132; December 10, 1976.

ICE AGES: SOLVING THE MYSTERY. John Imbrie and Katherine Palmer Imbrie. Enslow Publishers, 1979.

MILANKOVITCH AND CLIMATE CHANGE. Edited by J. Imbrie and A. Berger. Elsevier Science Publishing Co., Inc., 1984.

ЗИМЫ НАШЕЙ ПЛАНЕТЫ. Под ред. Б. Джона. Перев. с англ. — М.: Мир, 1982.

Серебряный Л. Р. ДРЕВНЕЕ ОЛЕДЕНЕНИЕ И ЖИЗНЬ. — М.: Наука, 1980.

СТРУКТУРА БЕЛКОВ В БИОЛОГИЧЕСКИХ МЕМБРАНАХ

STRUCTURAL ANALYSIS OF MACROMOLECULAR ASSEMBLIES BY IMAGE RECONSTRUCTION FROM ELECTRON MICROGRAPHS. R. A. Crowther and A. Klug in *Annual Review of Biochemistry*, Vol. 44, pages 161—182; 1975.

THREE-DIMENSIONAL MODEL OF PURPLE MEMBRANE OBTAINED BY ELECTRON MICROSCOPY. R. Henderson and P. N. T. Unwin in *Nature*, Vol. 257, No. 5521, pages 28—32; September 4, 1975.

STRUCTURE OF THE JUNCTION BETWEEN COMMUNICATING CELLS. P. N. T. Unwin and G. Zampighi in *Nature*, Vol. 283, No. 5747, pages 545—549; February 7, 1980.

MEMBRANE PROTEIN STRUCTURE. R. Henderson in *Membranes and Intercellular Communication: Les Houches Session XXXIII, July 30—August 30, 1979*, edited by Roger Balian, Marc Chabre and Philippe F. Devaux. Amsterdam North-Holland Publishing Co., 1981.

ЛАЗЕРНАЯ АБДОМИНАЛЬНАЯ ХИРУРГИЯ

LASER SCALPEL IN ABDOMINAL, PURULENT AND PLASTIC SURGERY. O. K. Skobelkin, E. I. Brekhov, V. P. Bashilov, V. I. Korepanov, M. V. Smolyaninov in *Proceedings of the 4th Congress of International Society for Laser Surgery*. Tokyo, 1981, Session 9, pages 8—9.

CARBON DIOXIDE LASER GENERAL SURGERY — OUR EXPERIENCE OF OVER 150 CASES. K. Hishimoto, M. Shimada, S. Takiguchi, I. Shiga in *Proceedings of the 4th Congress of International Society for Laser Surgery*. Tokyo, 1981, Session 23, pages 32—34.

ABDOMINAL LASER SURGERY. O. K. Skobelkin, E. I. Brekhov, V. I. Korepanov in *New Frontiers in Laser Medicine and Surgery*.—*Excerpta Medica*. Amsterdam—Oxford—Princeton, 1983, pages 307—315.

Скобелкин О. К., Брехов Е. И., Корепанов В. И. ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРА в хирургии. — *Хирургия*, 1983, № 3, с. 15—18.

Брехов Е. И., Скобелкин О. К., Башилов В. П., Корепанов В. И., Смольянинов М. В. РЕЗЕКЦИЯ ЖЕЛУДКА ПРИ ЯЗВЕННОЙ БОЛЕЗНИ И РАКЕ. — *Хирургия*, 1983, № 3, с. 33—37.

ЧИСЛА И МЕРЫ В ДРЕВНЕЙШИХ ПИСЬМЕННЫХ ДОКУМЕНТАХ

A METHOD FOR DECIPHERMENT, THROUGH MATHEMATICAL AND METROLOGICAL ANALYSIS, OF PROTO-SUMERIAN AND PROTO-ELAMITE SEMI-PICTOGRAPHIC INSCRIPTIONS. J. Friberg in *Research Report No. 1978-9*. Department of Mathematics, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 1978.

METROLOGICAL RELATIONS IN A GROUP OF SEMI-PICTOGRAPHIC TABLETS OF THE JEMDET NASR TYPE, PROBABLY FROM URUK-WARKA. J. Friberg in *Research Report No. 1979-15*. Department of Mathematics, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 1979.

A SURVEY OF PUBLICATIONS ON SUMERO-AKKADIAN MATHEMATICS, METROLOGY AND RELATED MATTERS (1854—1982). J. Friberg in *Research Report No. 1982-17*. Department of Mathematics, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 1982.

Вайман А. А. ШУМЕРО-ВАВИЛОНСКАЯ МАТЕМАТИКА. — М.: Наука, 1961.

Вайман А. А. О СВЯЗИ ПРОТОЭЛАМСКОЙ ПИСЬМЕННОСТИ С ПРОТОШУМЕРСКОЙ. — *Вестник древней истории*, 1972, № 3.

Нейгебауэр О. ТОЧНЫЕ НАУКИ В ДРЕВНОСТИ — М.: Наука, 1968.

ОДИНОЧНЫЕ ПЧЕЛЫ

GENESIS OF THE HYMENOPTERA AND THE PHASES OF THEIR EVOLUTION. S. I. Malyshev. Methuen and Co., 1966.

INSECT POLLINATION OF CROPS. John B. Free. Academic Press, 1970.

THE SOCIAL BEHAVIOR OF THE BEES: A COMPARATIVE STUDY. C. D. Michener. Harvard University Press, 1974.

EVOLUTION OF INSTINCT: COMPARATIVE ETHOLOGY OF HYMENOPTERA. Kunio Iwata. Published for the Smithsonian Institution and the National Science Foundation by Amerind Publishing Co., New Delhi, available from the U. S. Department of Commerce, National Technical Information Service, 1976.

ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МАШИНОПИСИ

THE PSYCHOLOGY OF SKILL, WITH SPECIAL REFERENCE TO ITS ACQUISITION IN TYPEWRITING. William Frederick Book. University of Montana Press, 1908.

A METHOD OF TEACHING TYPEWRITING BASED UPON A PSYCHOLOGICAL ANALYSIS OF EXPERT TYPING. J. E. Coover in *National Education Association: Adresses and Proceedings*, Vol. 61, pages 561—567; 1923.

ON THE ABILITY TO INHIBIT COMPLEX MOVEMENTS: A STOP-SIGNAL STUDY OF TYPEWRITING. G. D. Logan in *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Perception*, Vol. 8, pages 778—792; 1982.

COGNITIVE ASPECTS OF SKILLED TYPEWRITING. Edited by W. E. Cooper. Springer-Verlag, 1983.

Бернштейн Н. А. ОЧЕРКИ ПО ФИЗИОЛОГИИ ДВИЖЕНИЙ И ФИЗИОЛОГИИ АКТИВНОСТИ. — М.: Медицина, 1966.

Гордеева Н. Д., Зинченко В. П. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ДЕЙСТВИЯ. — М.: изд-во МГУ, 1982.

НАУКА ВОКРУГ НАС

WHY THE BLUE ARCS OF THE RETINA ARE BLUE. Carl R. Ingling, Jr., and Bruce A. Drum in *Vision Research*, Vol. 17, pages 498—500; 1977.

THE EFFECT OF HUMMING ON VISION. H. A. K. Mastebroek and J. B. van der Kooi in *Physics Education*, Vol. 14, pages 253—254; 1979.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 02.04.84.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/4.

Гарнитуры таймс, гелиос

Офсетная печать.

Объем 6,50 бум. л.

Усл.-печ. л. 13,00,

Уч.-изд. л. 16,47

Усл. кр.-отт. 40,36

Изд. № 36/3474. Заказ 221-84

Тираж 20000 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

Набрано в редакции по подготовке оригинал-макетов издательства «Мир» на фотонаборном комплексе

«Компьюграфик»

Типография В/О «Внешторгиздат»

Государственного комитета СССР

по делам издательств,

полиграфии и книжной торговли.

127576, Москва, Илимская, 7

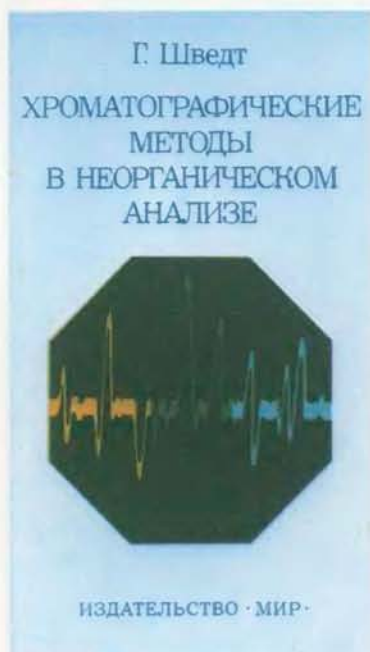


Издательство МИР предлагает:

Г. Шведт

**ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
В НЕОРГАНИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ**

Перевод с английского



Книга посвящена одному из наиболее универсальных аналитических методов—хроматографии, причем рассматриваются все основные виды хроматографии—газовая, колоночная, жидкостная, тонколинейная, что позволяет выбрать оптимальный способ анализа неорганических соединений. Положительными

особенностями монографии являются ее практическая направленность и лаконичность изложения в сочетании с превосходной организацией изложенного материала.

Для химиков, металлургов, биологов, медиков, геологов, работников служб контроля окружающей среды.

1984, 15 л. Цена 2 р. 60 коп.



В следующем номере:



ПРОИСХОЖДЕНИЕ ГОМИНОИДОВ И ГОМИНИД

НЕСПОКОЙНЫЕ ГЛУБИНЫ,
ПОДВОДНЫЕ «БУРИ» В ПРИДОННОМ СЛОЕ ОКЕАНА

СОКРАЩЕНИЕ РОЖДАЕМОСТИ В КИТАЕ
И ЕГО ВОЗМОЖНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

КАК ГЕНЫ КОНТРОЛИРУЮТ ВРОЖДЕННОЕ ПОВЕДЕНИЕ

ЭКСИТОННОЕ ВЕЩЕСТВО

ЗВУЧАНИЕ МЫШЦ

ПРИСПОСОБИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ДОМОВОЙ МЫШИ

ФЛОРЕНС НАЙТИНГЕЙЛ —
ОСНОВОПОЛОЖНИЦА СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ
МЕДИЦИНСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

КАК РЫБА ВИДИТ НАЖИВКУ НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ

КЛЕТОЧНЫЙ АВТОМАТ И МОДЕЛЬ МИРА