

В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Сентябрь **9** 1988

ГРАВИТАЦИОННЫЕ
ЛИНЗЫ

Внимание читателей!

Если Вы хотите получать оперативную информацию о новых зарубежных книгах, отражающих последние достижения в различных отраслях науки и техники, подписывайтесь на критико-библиографический бюллетень

НОВЫЕ КНИГИ ЗА РУБЕЖОМ, выпускаемый издательством «Мир».

Бюллетень выходит ежемесячно в трех сериях:



СЕРИЯ А. Теоретическая кибернетика, программирование и математическое обеспечение ЭВМ, механика и процессы управления, теоретическая и прикладная математика, астрономия и исследования космоса, физика, химия и геология. Цена одного номера — 70 к.; подписная цена на год — 8 р. 40 к. Индекс 70631.

СЕРИЯ Б. Техника: техническая кибернетика, вычислительная техника, микроэлектроника, электроника и радиотехника, робототехника, САПР, ГАП, ядерная техника, авиация и космонавтика, физико-технические проблемы энергетики, материаловедение, вопросы охраны окружающей среды. Цена одного номера — 85 к.; подписная цена на год — 10 р. 20 к. Индекс 70632.

СЕРИЯ В. Биология: молекулярная биология, генетика, геновая инженерия, биотехнология, иммунология, физиология, биохимия, биофизика, микробиология, экология, вопросы клинической медицины, сельское хозяйство, земледелие, животноводство, растениеводство, ветеринария, борьба с вредителями сельскохозяйственных культур. Цена одного номера — 50 к.; подписная цена на год — 6 р. Индекс 70633.

Бюллетень публикует развернутые рецензии на книги, которые поступают в редакцию сразу после их выхода в свет от многих ведущих зарубежных научно-технических издательств. Авторами рецензий являются высококвалифицированные специалисты, дающие подробный критический анализ книги.

В бюллетене публикуются также списки книг, готовящихся к изданию в зарубежных книгоиздательских фирмах.

Подписка оформляется на каждую серию без ограничения с любого очередного месяца по Каталогу советских газет и журналов.



В МИРЕ НАУКИ

Scientific American · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

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

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» МОСКВА

№ 9 · СЕНТЯБРЬ 1988

В номере:

СТАТЬИ

(Scientific American, July 1988, Vol. 259, No. 1)

6 География президентских выборов в США

Дж. Кларк Арчер, Фред М. Шелли, Питер Дж. Тейлор, Эллен Р. Уайт

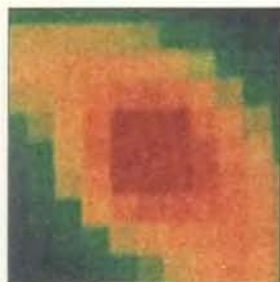
Американские избиратели разделяются по устойчивым географическим регионам. Это деление играет важную роль в формировании коллегии выборщиков. Поэтому, чтобы одержать победу, кандидат в президенты должен обеспечить себе поддержку широкой «географической коалиции»



16 Гравитационные линзы

Эдвин Л. Тернер

Обнаружение таких объектов дает уникальную возможность проникнуть в тайны Вселенной. Систематические исследования, которые ведутся в настоящее время, направлены на то, чтобы оценить научную значимость гравитационных линз



24 Гормоны, стимулирующие кроветворение

Дейвид У. Голд, Джудит К. Гассон

Каждый из этих гормонов стимулирует образование особого набора клеток крови. Получение гемопоэтинов при помощи технологии рекомбинантной ДНК обещает революционизировать медицинскую практику



34 Суперконтинентальный цикл

Р. Дамиан Нанс, Томас Р. Уорсли, Джудит Б. Муди

На протяжении геологической истории Земли континенты неоднократно соединялись, образуя единый суперконтинент, который позже снова раскалывался на части. Этот процесс, по-видимому, имеет периодический характер; он влияет на геологическое строение и климат Земли и тем самым на эволюцию жизни

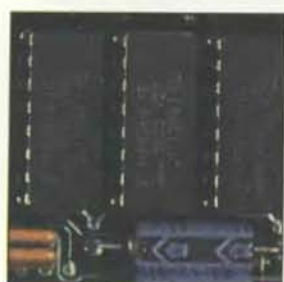




42 Случайность в арифметике

Грегори Дж. Чейтин

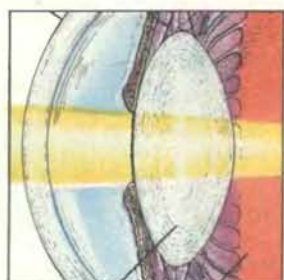
Невозможно доказать, конечное или бесконечное число решений имеет каждое уравнение из семейства алгебраических уравнений: ответ варьирует случайным образом, и, следовательно, не может быть найден с помощью математического рассуждения



50 Конденсаторы

Дональд М. Троттер-младший

Эти элементы выполняют роль электронных «защитников» интегральных микросхем. За 200 лет своего существования они неузнаваемо изменились. Современные конденсаторы отвечают всем требованиям передовой полупроводниковой технологии



58 Как фокусирует человеческий глаз

Джейн Ф. Корец, Джордж Х. Хандельман

С возрастом у людей ослабевает способность фокусироваться на близкие предметы. Установлено несколько вероятных причин этого, в том числе изменения геометрии и биохимии глаза



68 Община в каньоне Чако

Стивен Х. Лексон, Томас К. Уайндз, Джон Р. Стейн, У. Джеймс Джадж

В каньоне Чако находятся развалины многоэтажных зданий, некогда связанных с внешним миром системой дорог. С какой целью были построены эти здания и кто жил в них?

РУБРИКИ 4 Об авторах

5 50 и 100 лет назад

14, 48, 57, 66, 86,

92 Наука и общество

78 Наука вокруг нас

82 Занимательный компьютер

88 Книги

103 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan Piel
EDITOR

Harry Myers
PRESIDENT AND PUBLISHER

BOARD OF EDITORS

Armand Schwab, Jr.
Timothy Appenzeller
Timothy M. Beardsley
John M. Benditt, Laurie Burnham
David L. Cooke, Jr.; Elizabeth Corcoran
Ari W. Epstein, Gregory R. Greenwell
John Horgan, June Kinoshita;
Philip Morrison (BOOK EDITOR)
Ricki L. Rusting, Karen Wright

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR

Richard Sasso
DIRECTOR OF PRODUCTION

SCIENTIFIC AMERICAN, INC.

Claus-Gerhard Firchow
PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER

Georg-Dieter von Holtzbrinck
CHAIRMAN OF THE BOARD

Gerard Piel
CHAIRMAN EMERITUS

© 1988 by Scientific American, Inc.

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

В МИРЕ НАУКИ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
С. П. Капица

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
Л. В. Шепелева

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

ЛИТЕРАТУРНЫЕ РЕДАКТОРЫ
М. В. Суrowова,
Н. А. Вавилова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. А. Стулов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
Т. Д. Франк-Каменецкая

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОНАБОРА
В. С. Галкин

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
С. К. Аносов

КОРРЕКТОР
Р. Л. Вибке

ОФОРМЛЕНИЕ ОБЛОЖКИ РУССКОГО ИЗДАНИЯ
М. Г. Жуков

ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ
В. В. Ефимов

АДРЕС РЕДАКЦИИ

129820, Москва, ГСП, 1-й Рижский пер., 2

ТЕЛЕФОН РЕДАКЦИИ
286.2588

© перевод на русский язык
и оформление, «Мир», 1988

На обложке



Гравитационные линзы

На обложке изображена фотография имени "Einstein", искаженного линзой так же, как искривляют свет гравитационные линзы (см. статью Эдвина Л. Тернера «Гравитационные линзы» на с. 16). Две желтые фигуры в форме полумесяца в центре фотографии появились в результате обращения и зеркального отображения букв *S* и *T*. Эффект гравитационной линзы происходит, когда гравитационное поле галактики искривляет свет от удаленного квазара. Искривление изображения объекта несет информацию о промежуточном пространстве. Линзу предоставил Эдвин Л. Тернер.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: S. Varnedoe

| СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК | СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК | СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК |
|--|--|---|
| 7 Quesada/Burke с разрешения the Carnegie Institution of Washington | 31 Patricia J. Wynne | 61 From <i>Tissues and Organs: A Text- Atlas of Scanning Electron Microscopy</i> , by Richard G. Kessel and Randy H. Kardon, © 1979 W.H. Freeman and Company (<i>вверху</i>); Carol Donner (<i>внизу</i>) |
| 8 Jerome Kuhl | 32 David W. Golde | 62 Carol Donner |
| 9 Ellen R. White | 35-40 George Retseck | 63 Jane F. Koretz |
| 10 Jerome Kuhl | 43 James Kilkelly, с разрешения Paulson Casino Supplies of New Jersey, Inc. | 64 Patricia N. Farnsworth, University of Medicine and Dentistry of New Jersey in Newark |
| 11 Ellen R. White | 44 Quesada/Burke, from <i>Hilbert</i> , by Constance Reid, © 1970 Springer Verlag | 65 Jane F. Koretz |
| 12 Jerome Kuhl | 45 © Arnold Newman | 69 Paul Logsdon |
| 13 Ellen R. White | 46 Bob Conrad(<i>вверху</i>); Mirray Greenfield(<i>внизу</i>) | 70 Tom Prentiss |
| 17 Jacqueline N. Hewitt | 47 Bob Conrad | 71 Laurie Burnham |
| 18-21 Joe Lertola | 51 Quesada/Burke | 72,73 Tom Prentiss |
| 22 F.H. Owen, J.J. Puschell, с разрешения the National Radio Astronomy Observatory (<i>вверху и в середине</i>), P.E. Greenfield, D.H. Roberts, B.F. Burke, с разрешения the National Radio Astronomy Observatory (<i>внизу</i>) | 52-55 George V. Kelwin, Science Graphics | 74,75 Laurie Burnham |
| 25 David W. Golde | 56 Robin Revell, Corning Glass Works | 76 Tom Prentiss |
| 26-29 Patricia J. Wynne | 59 Patricia N. Farnsworth, University of Medicine and Dentistry of New Jersey in Newark | 77 Paul Logsdon |
| 30 David W. Golde | 60 Carol Donner | 78-81 Michael Goodman |
| | | 82-85 Thomas C. Moore |

Об авторах

J.Clark Archer, Fred M.Shelley, Peter J.Taylor, Ellen R.White (ДЖ. КЛАРК АРЧЕР, ФРЕД М. ШЕЛЛИ, ПИТЕР ДЖ. ТЕЙЛОР, ЭЛЛЕН Р. УАЙТ «География президентских выборов в США»): Арчер — доцент кафедры географии в Университете шт. Небраска в Линкольне. В 1974 г. в Университете шт. Айова ему была присвоена ученая степень доктора философии. Шелли — доцент кафедры географии в Университете шт. Южная Каролина; ученую степень доктора философии получил в 1981 г. также в Университете шт. Айова. Тейлор — преподаватель политической географии в Ньюкаслском университете. Докторскую степень получил в 1970 г. в Ливерпульском университете. Одновременно является редактором журналов «Political Geography Quarterly» и «Geography of the World-Economy», выпускаемого издательством Cambridge University Press. Уайт — директор Центра картографических исследований и пространственного анализа при Мичиганском университете. Ученую степень магистра получила в Политехническом институте и Университете шт. Виргиния. Помимо предлагаемой статьи является автором различных карт и схем, опубликованных в ряде изданий.

Edwin L. Turner (ЭДВИН Л. ТЕРНЕР — «Гравитационные линзы») — профессор астрофизики Принстонского университета. Закончил физический факультет Массачусетского технологического института. В 1975 г. в Калифорнийском технологическом институте получил степень доктора философии в области астрономии. После короткой стажировки в Институте высших исследований и работы ассистентом в Гарвардском университете в 1978 г. стал сотрудником Принстонского университета. Занимается рядом проблем в области внегалактической астрономии и космологии, в том числе динамикой двойных галактик, галактическими кластерами, эволюцией квазаров, космическим фоновым излучением и гравитационными линзами. Тернер интересуется также современными статистическими методами.

David W.Golde, Judith C.Gasson (ДЕЙВИД У. ГОЛД, ДЖУДИТ К. ГАССОН «Гормоны, стимулирующие кроветворение») — сотрудни-

ки Медицинской школы Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе, занимаются исследованиями колониестимулирующих факторов. Голд — профессор медицины, возглавляет Отделение гематологии и онкологии, директор Центра по СПИДу и Центра общих клинических исследований этого университета. Гассон — доцент медицины, заместитель директора отделения, которое возглавляет Голд.

R.Damian Nance, Thomas R.Worsley, Judith B.Moody (Р. ДАМИАН НАНС, ТОМАС Р. УОРСЛИ, ДЖУДИТ Б. МУДИ «Суперконтинентальный цикл») — специалисты по тектонике, океанографии и геохимии соответственно. Работают в тесном сотрудничестве. Уорсли и Нанс преподают в Университете шт. Огайо, Муди возглавляет фирму J.V.Moody and Associates (Колумбус, шт. Огайо). Муди и Уорсли женаты девять лет. Нанс получил степень доктора философии в Кембриджском университете в 1978 г. и до перехода в Университет шт. Огайо преподавал в Университете Ксавьера в Новой Шотландии. Уорсли получил степень доктора философии в 1970 г. в Иллинойском университете и после преподавательской работы в Вашингтонском университете переехал в шт. Огайо. Муди получила степень доктора философии в 1974 г. в Университете Макгилла. С 1981 г. по настоящее время она работает в Институте Баттеля.

Gregory J.Chaitin (ГРЕГОРИ ДЖ.ЧЕЙТИН «Случайность в арифметике») — сотрудник исследовательского центра Томаса Уотсона компании ИВМ в Йорктауне, шт. Нью-Джерси. Он — один из создателей алгоритмической теории информации. Опубликовал две книги, в которых, используя эту теорию, разъяснил природу случайности и выдвинул некоторые ограничения на применимость методов чистой математики.

Donald M.Trotter, Jr. (ДОНАЛЬД М. ТРОТТЕР-МЛАДШИЙ «Конденсаторы») — старший научный сотрудник фирмы Corning Glass Works, где в течение ряда лет занимался экспериментальными работами, связанными с созданием новых конструкций конденсаторов. Степени бакалавра и магистра присвоены ему Университетом шт. Канзас, а степень доктора —

Техасским университетом в Остине в 1977 г. В фирме Corning Троттер работает с 1980 г., предварительно закончив постдокторантуру при Корнеллском университете. Троттер — любитель научной фантастики, он автор нескольких опубликованных рассказов в этом жанре.

Jane F.Koretz, George H.Handelman (ДЖЕЙН Ф. КОРЕЦ, ДЖОРДЖ Х. ХАНДЕЛЬМАН «Как фокусирует человеческий глаз») работают в Политехническом институте в Ренселере. Корец получила степень доктора философии в области биофизики в Чикагском университете. Сейчас она занимает должность доцента биологии, а также сотрудничает в Центре биофизики. Хандельман получил степень доктора прикладной математики в Университете Брауна. В течение 18 лет был деканом Научной школы при институте, заведовал кафедрой математики; в настоящее время почетный профессор. Авторы посвящают свою статью памяти Генри Фукуи из Национального глазного института.

Stephen H.Lekson, Thomas C.Windes, John K.Stein, W.James Judge (СТИВЕН Х. ЛЕКСОН, ТОМАС К. УАЙНДЗ, ДЖОН Р. СТЕЙН, У. ДЖЕЙМС ДЖАДЖ «Община в каньоне Чако») — в течение 10 лет проводят совместные археологические исследования в каньоне Чако. Лексон получил степень бакалавра искусств в Университете Кейс-Вестерн-Ризев, а в 1978 г. — степень магистра искусств в Университете Восточного Нью-Мексико. В настоящее время работает в Музее шт. Аризона в Туксоне и готовится к защите докторской диссертации в Аризонском университете в нынешнем году. Уайндз — археолог Службы национального парка в Санта-Фе. Степень бакалавра искусств получил в Университете шт. Северная Каролина, а магистра искусств — в Университете шт. Нью-Мексико. В настоящее время исследует, как были связаны между собой чакоанская и верденская культуры. Стейн получил степень бакалавра искусств в Университете шт. Нью-Мексико в 1974 г. Его основные объекты исследования — чакоанская система дорог и «большие дома» за пределами каньона Чако. Джадж является директором Исследовательского центра в Форт-Бергвине Южного методистского университета. Степень доктора философии получил в Университете шт. Нью-Мексико в 1970 г.; с 1977 по 1985 г. возглавлял исследования в каньоне Чако.

50 и 100 лет назад

SCIENTIFIC
AMERICAN

ИЮЛЬ 1938: «Фюзеляж самой большой в мире летающей лодки, которую в настоящее время фирма Boeing Aircraft строит для компании Pan-American Airways, освободили от строительных лесов. Фюзеляж выглядит таким огромным, что напоминает скорее корпус корабля, чем летательный аппарат. Длина его от носа до хвоста составляет 109 футов, а по внутреннему объему его можно сравнить с пятикомнатным домом. Винтовая лестница соединит «капитанский» мостик самолета, или кабину управления на верхней «палубе», с главной «палубой», где разместятся просторные пассажирские отсеки, столовая, салон, и т.д.»

«В современную турбину пар поступает при температуре, достаточной для воспламенения дерева и через 0,03 с выходит оттуда охлажденным настолько, что если бы такую температуру имела вода в ванне, то купание в ней не доставило бы большого удовольствия».

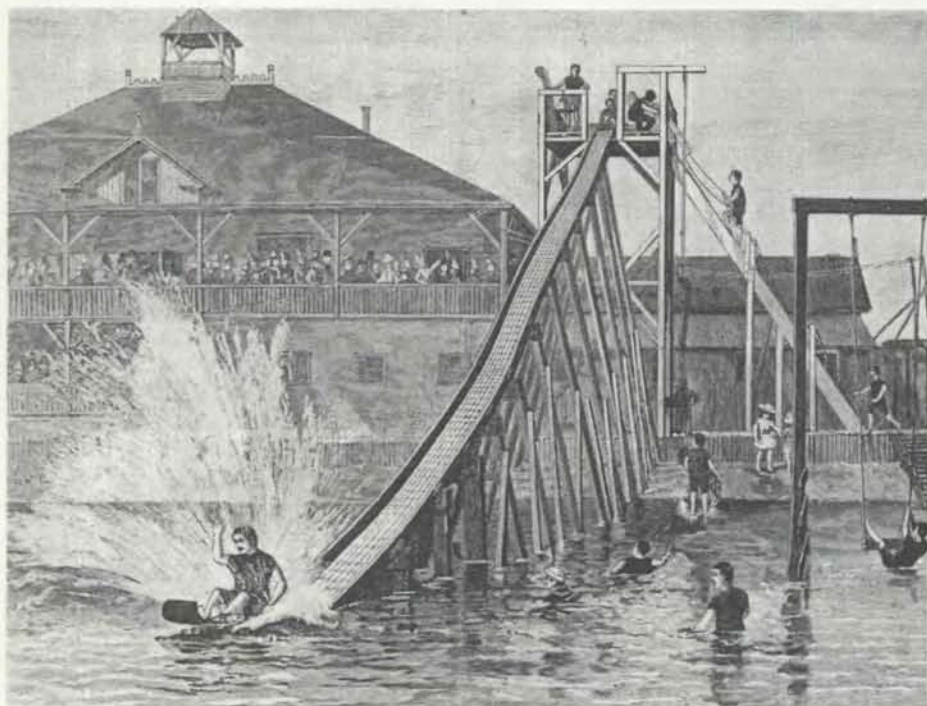
«Алюминиевая киноплёнка, созданная фирмой Fischer Film Corporation, имеет большое практическое значение для учебных целей и архивного дела.

Эта плёнка непрозрачна, поэтому для воспроизведения заснятых на ней изображений должен применяться принцип отражения. Этот принцип широко известен и позволяет добиться хорошего качества как самих изображений, так и звука. Одно из преимуществ новой плёнки — ее невоспламеняемость».

«Почему русские ученые, не побоявшись опасностей и лишений, решили основать метеорологическую станцию на дрейфующей льдине в северных полярных морях? Потому что разгадку процессов, определяющих погодные условия, следует искать в верхних широтах и в изучении пути распространения масс арктического воздуха. Нам сейчас необходимо создать ряд метеорологических станций вдоль Арктического побережья Канады. Данные, которые будут получены на этих станциях, наряду с результатами наблюдений на станциях, расположенные на севере европейской части России и в Сибири, помогут бы приоткрыть секрет «зарождения» погоды в Северном полушарии».



ИЮЛЬ 1888: «Автор одной из статей в журнале «La Nature» отмечает, что



Горка для катания на водных санках близ Бриджпорта, шт. Коннектикут

при планировке улиц американских городов, пересекающихся под прямыми углами, использовалась мерная рулетка. Это, по его мнению, прекрасно с точки зрения геометрии, но чревато экономическими последствиями. Действительно, если идти вдоль двух сторон квадрата, а не по диагонали, расстояние увеличивается на 40%, т.е., к примеру, вместо 100 придется пройти 140 футов. Тем самым неизбежны потери времени, сил и денег».

«150 женщинам из гарема султана в Константинополе сделана прививка оспы. Эта процедура проходила в большом зале под присмотром 4 великанов-евнухов. Проводивший вакцинацию итальянский врач стоял перед большой ширмой, за которой находились женщины. Посередине ширмы было сделано отверстие, размер которого позволял просунуть только руку».

«Действие полной темноты на нормальный зрачок до сих пор можно было наблюдать только с помощью света электрических разрядов, что не позволяло проводить каких-либо измерений. Господа Мите и Гедике, открывшие ныне хорошо известное взрывчатое вещество из магниевой смеси, разработали более простой способ. В совершенно темной комнате можно сделать фотографию глаза, на которой зрачок будет полностью расширенным».

«Огромный глобус, выполненный в масштабе 1:1 000 000, будет демонстрироваться на парижской выставке в 1889 г. Глобус, диаметром почти 13 м, даст представление о реальных размерах, так как человеческий разум способен проводить сравнения при соотношении размеров в один миллион».

«Катание на санках зимой доставляет столь большое удовольствие, что однажды мистеру К.Дж.Белкнапу из Бриджпорта, шт. Коннектикут, пришла идея заняться этим и летом. В 1887 г. он соорудил в заливе Зунд горку в виде желоба высотой 32 фута. Длина желоба составила 178 футов, а ширина — 20 дюймов. Желоб имеет 725 колес, образующих «санную дорожку». Скатываются с горки поочередно по сигналу колокольчика. Скатившиеся «санки» движутся в воде по инерции 75—175 футов, подпрыгивая словно плоский камешек. Купальщик затем плывет к берегу, волоча «санки» за собой. По лицам тех, кто впервые прокатился на водных санках, можно судить о том удовольствии, которое они испытали».

География президентских выборов в США

Американские избиратели разделяются по устойчивым географическим регионам. Это деление играет важную роль в формировании коллегии выборщиков. Поэтому, чтобы одержать победу, кандидат в президенты должен обеспечить себе поддержку широкой «географической коалиции»

ДЖ. КЛАРК АРЧЕР, ФРЕД М. ШЕЛЛИ, ПИТЕР ДЖ. ТЕЙЛОР, ЭЛЛЕН Р. УАЙТ

ПРЕЗИДЕНТСКИЕ выборы 1988 г. совпадают со столетием одного необычного и почти совсем забытого события. На выборах 1888 г. кандидат, получивший относительное большинство голосов, не был избран президентом. Этим неудачником стал тогдашний президент от демократической партии Гровер Кливленд, который набрал 5 540 365 голосов против 5 445 269, отданных его сопернику Бенджамину Гаррисону, кандидату от республиканцев. Относительное большинство почти в 100 000 голосов, полученное Кливлендом, не оказало никакого влияния на коллегию выборщиков, которая избрала Гаррисона президентом 233 голосами против 168.

Дело объясняется очень просто: голоса за Кливленда были поданы не там, где надо. Он оказался жертвой своеобразной системы формирования коллегии выборщиков, системы, которая была создана в предшествующее столетие и цель которой заключалась в том, чтобы кандидаты в президенты старались получить поддержку избирателей во многих районах страны. Условия, вызвавшие необходимость в коллегии выборщиков, продолжали существовать и во время кампании, когда избирался Кливленд, и не исключено, что они сохранились и по сей день. Проведенный нами статистический анализ президентских выборов в прошлом и настоящем показал, что имеется устойчивые географические регионы с определенными симпатиями к той или иной партии и тенденциями их изменений, которые не могут не проявиться и на нынешних выборах, независимо от характера кандидатов и их предвыборных программ.

Коллегия выборщиков, в которой каждый штат имеет число голосов, равное общему количеству его представителей в обеих палатах конгресса,

была создана творцами Конституции США как один из способов решения сложной задачи сплочения в единую нацию весьма разнородных и нередко конфликтующих социальных групп. С давних пор 13 американских колоний разделились по преобладающим в них направлениям экономики на три региона. Основу экономики Новой Англии составляли торговля, рыболовство и судостроение; на плантациях Юга выращивался хлопок, табак и другие культуры, а в колониях, расположенных между ними на Атлантическом побережье, сельское хозяйство развивалось наряду с промышленностью и торговлей. Эти три региона колониальной Америки образовали самостоятельные «очаги культуры»: они отличались друг от друга не только своей экономикой, но и этническим составом, вероисповеданием, диалектами, характером населенных пунктов и способами землепользования.

Политические конфликты между этими регионами возникли задолго до войны за независимость (1775—1783 гг.), а внутри каждого региона существовали противоречия между торговыми кругами прибрежных районов и поселенцами на границах колоний, недовольных ростом экономической мощи городов на побережье. Чтобы найти общую основу для образования единой нации, «отцы американской Конституции» попытались создать такую систему правления, которая не позволила бы какому-либо региону диктовать свою волю при избрании президента. Этой идее и должна была отвечать коллегия выборщиков, через которую каждый штат мог сказать свое слово в процессе выборов.

В начале XIX в. коллегия выборщиков стала придерживаться еще одного негласного правила, а именно — «победитель берет все»; оно означало, что кандидат, завоевавший относительное

большинство голосов в штате, получает голоса всех избирателей в этом штате. Вследствие этого никакое подавляющее большинство голосов, полученное в нескольких штатах, не может компенсировать неудачи во многих других штатах. Кандидат, завоевавший незначительное большинство, скажем в двух штатах, обеспечит себе поддержку большего числа избирателей, чем другой кандидат, который в одном из этих штатов победил подавляющим большинством голосов, а в другом — лишь немного уступил сопернику. Это произойдет даже в том случае, если второй кандидат в сумме наберет больше голосов, чем первый. Именно так и потерпел поражение Кливленд в 1888 г.: незначительно уступив сопернику в штате Нью-Йорк, он потерял 36 выборщиков, хотя и одержал победу большинством более чем в две трети голосов в нескольких штатах, главным образом на Юге. Таким образом, исход президентских выборов решает не простое большинство голосов, а результаты голосования «географической коалиции».

Такая система формирования коллегии выборщиков побуждает кандидатов в президенты искать поддержки у избирателей в каждом штате. Она способствует усилению влияния региональных различий на избирательную стратегию претендентов и, пожалуй, даже помогает сохранению этих различий. Как отражались региональные различия на результатах президентских выборов в прошлом? В какой форме и в какой степени они существуют сейчас, в год выборов и какое значение они имеют для творцов избирательной стратегии в каждой из партий, пытающихся составить такую карту Соединенных Штатов, которая принесла бы им победу? В поиске ответов на эти вопросы мы и предприняли наше статистическое ис-

следование «географии президентских выборов».

ПЕРВАЯ задача заключалась в том, чтобы выяснить, как проявлялись основные региональные различия на всех президентских выборах после гражданской войны между Севером и Югом. Решая эту задачу, мы применили метод факторного анализа для выявления тех штатов, где история президентских выборов имела общие черты. Статистический метод, именуемый факторным анализом, первоначально был разработан в психологии с целью выделения отдельных компонентов человеческого интеллекта на основе количественных данных, полученных в результате большой серии тестов по измерению умственных способностей человека. Факторный анализ успешно применяется и в других областях, включая археологию, климатологию, экономику и географию. С его помощью определяется число основных «факторов», необходимых для статистического описания зависимостей, которые су-

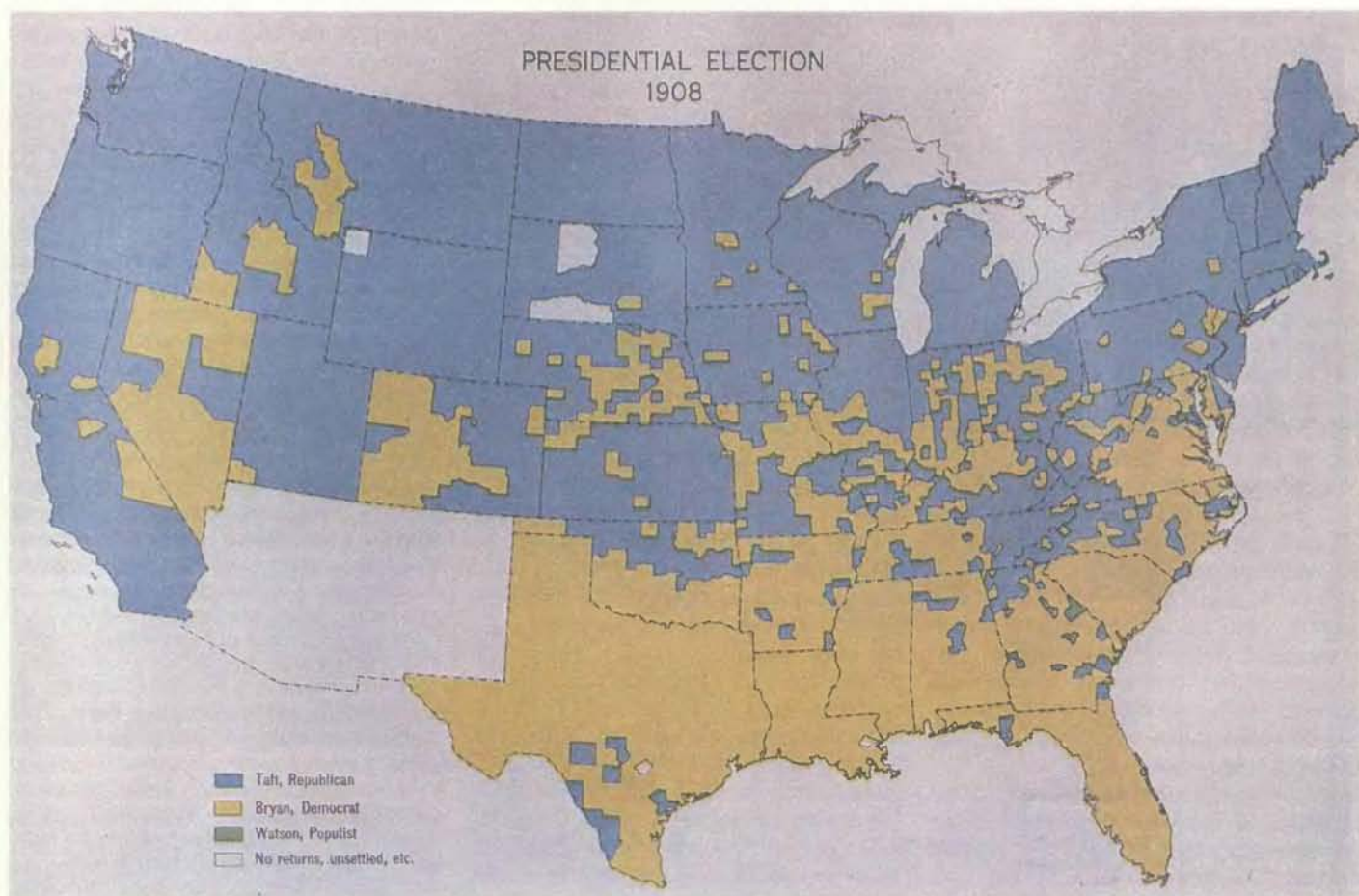
ществуют в большом объеме фактического материала.

Мы использовали данные о числе голосов, поданных в каждом штате за кандидата в президенты от демократической партии, в процентном отношении к общему числу голосовавших на каждом президентских выборах в период с 1872 по 1984 г. (Данные по штатам, вошедшим в состав США после 1872 г., относились к более короткому периоду, а Аляска и Гавайские острова вообще были исключены из рассмотрения.) Для каждой пары штатов во всех возможных сочетаниях выводился коэффициент корреляции, указывающий на степень связи между количеством голосов в одном и другом штате, отданных демократам во время всех выборных кампаний. Матрица полученных коэффициентов была затем подвергнута факторному анализу.

Оказалось, что большинство выявленных корреляций можно статистически «обосновать» всего тремя основными факторами. Для каждого штата каждому из этих факторов

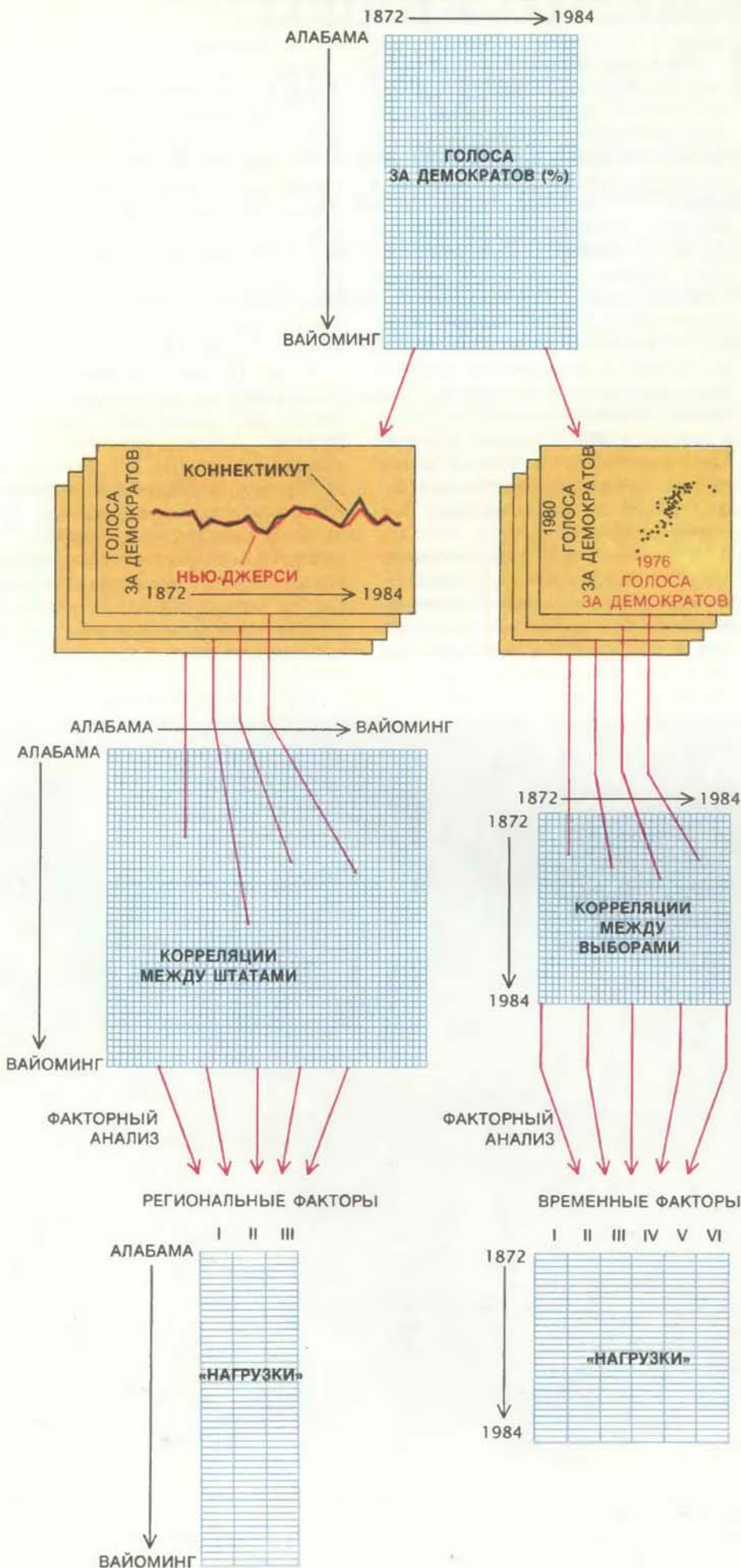
приписывалась своя «нагрузка» (весовой коэффициент), указывающая на степень, с какой данный фактор проявлялся в действиях избирателей штата. Обнаружилось, что соотношение факторов соответствует географическому делению. Когда на карте страны были выделены штаты, у которых один и тот же фактор получил наибольшую «нагрузку», они образовали три отчетливо выраженные региональные группировки: Северо-Восток, простирающийся на юг до штата Мэриленд и реки Огайо и на запад до штатов Миннесота, Айова и Миссури; Юг, простирающийся на запад до штатов Техас и Оклахома; и Запад, куда вошли остальные из 48 штатов. Анализ факторов свидетельствует о наличии устойчивой «географии президентских выборов», обусловленной региональными различиями в культуре и экономике.

Какова была роль этих трех регионов в избирательных кампаниях за последние сто лет? Для ответа на этот вопрос анализу подверглись уже не пространственные, а временные кор-



ГЕОГРАФИЯ ПРЕЗИДЕНТСКИХ ВЫБОРОВ представлена картой, на которой указаны результаты голосования в различных графствах за кандидатов в президенты на выборах 1908 г. Республиканец Уильям Г. Тафт взял верх над демократом Уильямом Дж. Брайаном и несколькими кандидатами от других партий. В соответствии с давно сложив-

шей географией распределения голосов демократы имели прочные позиции на Юге, а республиканцы — на Северо-Востоке. На Западе голоса избирателей разделились примерно поровну. Карта была опубликована в 1932 г. в «Атласе исторической географии Соединенных Штатов», составленном Ч. Поллином.



реляции, т.е. корреляции не между отдельными штатами на протяжении всей серии выборов, а между голосами, поданными во всех штатах за кандидата от демократов на каждой паре выборов. Коэффициент корреляции для каждой пары выборов в данном случае указывает, в какой степени характер голосования за демократов во всех штатах на одних выборах повторяется на других выборах. Была составлена матрица коэффициентов корреляции для всех возможных парных сочетаний выборов с 1872 по 1984 г. включительно, а затем эти данные подверглись факторному анализу. Результаты показали, что в основе всех корреляций лежат три главных и несколько второстепенных факторов.

Когда были рассчитаны «нагрузки» для каждого фактора на всех выборах, оказалось, что на двух следующих друг за другом выборах часто большую «нагрузку» имеет один и тот же фактор. Анализ факторов обнаруживает существование отдельных «избирательных эпох»: периодов, когда на нескольких последовательных выборах в отдельных штатах проявляется тенденция сохранять определенный тип голосования по всей стране. В рамках «избиратель-

ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ позволяет выявить число «факторов», необходимых для статистического описания корреляций, наблюдаемых в большом объеме фактических данных. Для проведения факторного анализа результатов президентских выборов авторы вначале составили матрицу данных (вверху), показывающих относительное число голосов (в процентном отношении к общему числу избирателей) в каждом штате за кандидата от демократической партии во время всех выборных кампаний с 1872 г. В поисках факторов, определяющих схожее поведение избирателей в разных штатах (слева), вначале для каждой пары штатов во всех возможных сочетаниях была определена степень корреляции между количеством голосов, отданных в этих штатах демократам во всех избирательных кампаниях. Факторный анализ матрицы коэффициентов корреляции показал, что большинство корреляций может быть статистически обосновано тремя факторами, если для каждого штата каждому из этих факторов будет приписана своя «нагрузка». Для того чтобы выявить факторы, обуславливающие схожесть ситуаций во время различных выборных кампаний (справа), авторы определили коэффициенты корреляции для каждой пары кампаний между количеством голосов за кандидата от демократов по всем штатам. Факторный анализ показал, что существуют три главных временных фактора и три второстепенных.

ной эпохи» колебания в ту или иную сторону числа голосов, поданных за демократов или республиканцев в данном регионе, были более значительными, чем в целом по стране.

НАИБОЛЕЕ длительной была первая такая эпоха, продолжавшаяся почти без перерыва с периода реконструкции после войны Севера с Югом до конца второй мировой войны. Это был период, когда прочным позициям демократов на Юге более чем успешно противостояло господство республиканцев на развивающемся промышленном Северо-Востоке. Поэтому решающим полем боя в избирательных кампаниях были штаты Запада и бывших северо-западных территорий, включающих штаты Огайо, Индиана и Иллинойс. О главенствующей роли этого региона свидетельствует тот факт, что из девяти президентов — республиканцев, избранных в период с 1860 по 1920 г., восемь происходили из одного из этих трех штатов.

Назовем этот наиболее устойчивый тип распределения голосов в истории выборов в США нормальным региональным типом. Он был нарушен лишь однажды в 1896 г., когда вокруг кандидатуры Уильяма Брайана объединились республиканцы Юга, демократы Запада и популисты — члены третьей партии, созданной на Западе, — и эта коалиция бросила вызов Северо-Востоку, где господствовали республиканцы. На короткое время возникло новое региональное разделение: Северо-Восток противостоял объединенному Югу и Западу. Однако в конечном счете был избран республиканский кандидат Уильям Маккинли, благодаря его победам в штатах Северо-Запада. Когда же на выборах 1900 г. Маккинли был избран на второй срок, Запад и Юг выступили в своих традиционных ролях. И хотя в эпоху нормального регионального типа были случаи, когда одна из партий побеждала на выборах в течение длительного периода (например, при Франклине Рузвельте демократы непрерывно одерживали победы в 30-х и 40-х годах), соотношение влияния партий в каждом из регионов оставалось неизменным.

С периодом нормального регионального типа сразу покончили в 1946 г., когда в результате более либеральной позиции демократической партии в отношении защиты гражданских прав произошел раскол среди демократов Юга, прежде выступавших единым фронтом. Часть из них, так называемые «диксикраты», встала и отдала свои голоса не кандидату от демократической партии Гарри Трумэну, а другому кандидату —

ФАКТОР I



ФАКТОР II



ФАКТОР III



РЕГИОНЫ



ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ предпочтений избирателей видно из карт, где каждый штат окрашен в соответствии с «нагрузкой», которую получил в этом штате каждый из трех факторов, выявленных с помощью факторного анализа результатов голосования в разных штатах (см. рисунок на с. 8). Более темная окраска соответствует большей «нагрузке» фактора. По одному фактору можно сгруппировать штаты с аналогичным поведением избирателей.

Строму Тэрмонду. С тех пор демократы уже никогда не имели такой прочной поддержки на Юге, какой они пользовались при господстве нормального регионального типа.

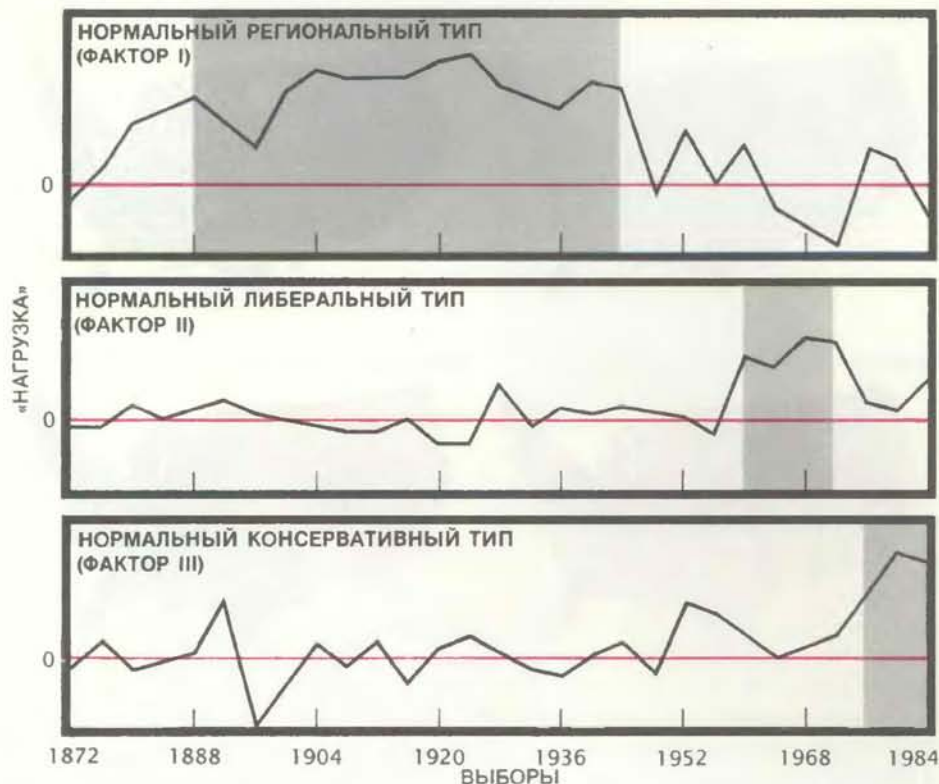
Два противоположных типа регионального распределения голосов между демократическими и республиканскими кандидатами характерны для ряда выборов после 1948 г. Первый тип охватывает выборы 1964, 1968 и 1972 гг., на которых кандидаты от демократической партии Линдон Джонсон, Хьюберт Хэмфри и Джордж Макговерн выступали за расширение роли федерального правительства в жизни нации. Поэтому мы будем называть этот тип географии президентских выборов указанного периода нормальным либеральным типом. На выборах в 1976, 1980 и 1984 гг. главным лозунгом, объединившим многих избирателей, был призыв ограничить или даже сократить роль федерального правительства, с которым выступили у республиканцев Джералд Форд и Рональд Рейган, а у демократов — Джимми Картер. Поэтому географическое распределение голосов на этих выборах мы будем называть нормальным консервативным типом.

ПОДРОБНОЕ исследование различий в географии выборов в рамках нормального либерального типа и нормального консервативного типа

проводилось нами на примере более 3000 графств и округов страны. Были составлены карты США, на которых для каждого графства отмечался средний процент голосов, поданных за кандидатов от демократической партии в период каждого из указанных типов. Карта нормального либерального типа (см. верхний рисунок на с. 11) свидетельствует об одном важном изменении по сравнению с периодом нормального регионального типа. На всем «Глубоком Юге» кандидаты от демократической партии получали в этот период менее трети всех голосов во многих графствах — в тех самых графствах, где за двадцать лет до этого подавляющее большинство избирателей голосовало за Рузвельта. Другие районы, где демократы имели очень слабую поддержку при нормальном либеральном типе, включали центральную область Великих равнин и Скалистых гор.

В то же время демократы создали себе новую прочную базу на Северо-Востоке, где перед второй мировой войной господствовали республиканцы. Карта с изображением графств указывает также на существование небольших очагов в северной части Среднего Запада и на Тихоокеанском побережье, где в среднем был высокий процент голосовавших за демократов.

На выборах в 1976 г. на смену нормальному либеральному типу пришел



«ИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ ЭПОХИ» — это периоды, в течение которых поведение избирателей в каждом географическом регионе остается относительно стабильным. Они изображены в виде графиков, на которых для всех выборных кампаний указана «нагрузка», каждого из трех главных временных факторов, выявленных с помощью факторного анализа (см. рисунок на с. 8). Избирательная эпоха охватывает ряд следующих друг за другом выборных кампаний с большой величиной «нагрузки» одного и того же фактора. В следующих друг за другом эпохах региональные группировки остаются в основном неизменными, но результаты голосования в регионе в целом могут резко меняться.

нормальный консервативный тип. Хотя демократы-южане в период нормального либерального типа нередко порывали традиционные связи со своей партией, многие из них на выборах в 1976 и 1980 гг. поддержали Джими Картера, и на карте виден новый рост влияния демократов на Юге (см. нижний рисунок на с. 11). Однако это усиление демократов компенсировалось восстановлением влияния республиканцев в некоторых (хотя далеко не во всех) штатах Северо-Востока. Демократы сохранили свои позиции в северной части Среднего Запада, в крупных городах и шахтерских районах, а также в графствах «пояса ржавления», где расположены такие переживающие упадок отрасли промышленности, как сталелитейная и автомобильная.

Самые большие области слабого и крайне слабого влияния демократов в период нормального консервативного типа находятся на Западе — в районе Великих равнин, Скалистых гор и Калифорнии. За исключением графств, где расположены крупнейшие университеты или где проживают большие группы индейцев или латиноамериканцев, Запад в целом взял на себя такую же роль в поддержке на выборах ре-

спубликанской партии, какую Юг играл до 1948 г. в отношении демократов. Единственный кандидат демократов, завоевавший Белый дом после 1964 г., — Картер — был избран коалицией избирателей Юга и Северо-Востока; к западу от Миссисипи он победил только в Техасе (который мы относим к южным штатам) и на Гавайских островах.

КАРТА с изображением графств рисует весьма пеструю картину. В районах с подавляющим господством республиканцев обнаруживаются отдельные островки, голосующие за демократов; в штате, где доминируют демократы, республиканцы могут иметь большинство в пригородных или сельских графствах. В какой степени сохраняется региональное разделение перед лицом этих более частных различий в симпатиях избирателей, отражающих характер урбанизации и другие культурные, социальные или экономические особенности? Ведь часто утверждают, что региональные особенности культуры в США стираются под влиянием роста мобильности, улучшения связи, развития общенациональной системы средств массовой информации и воз-

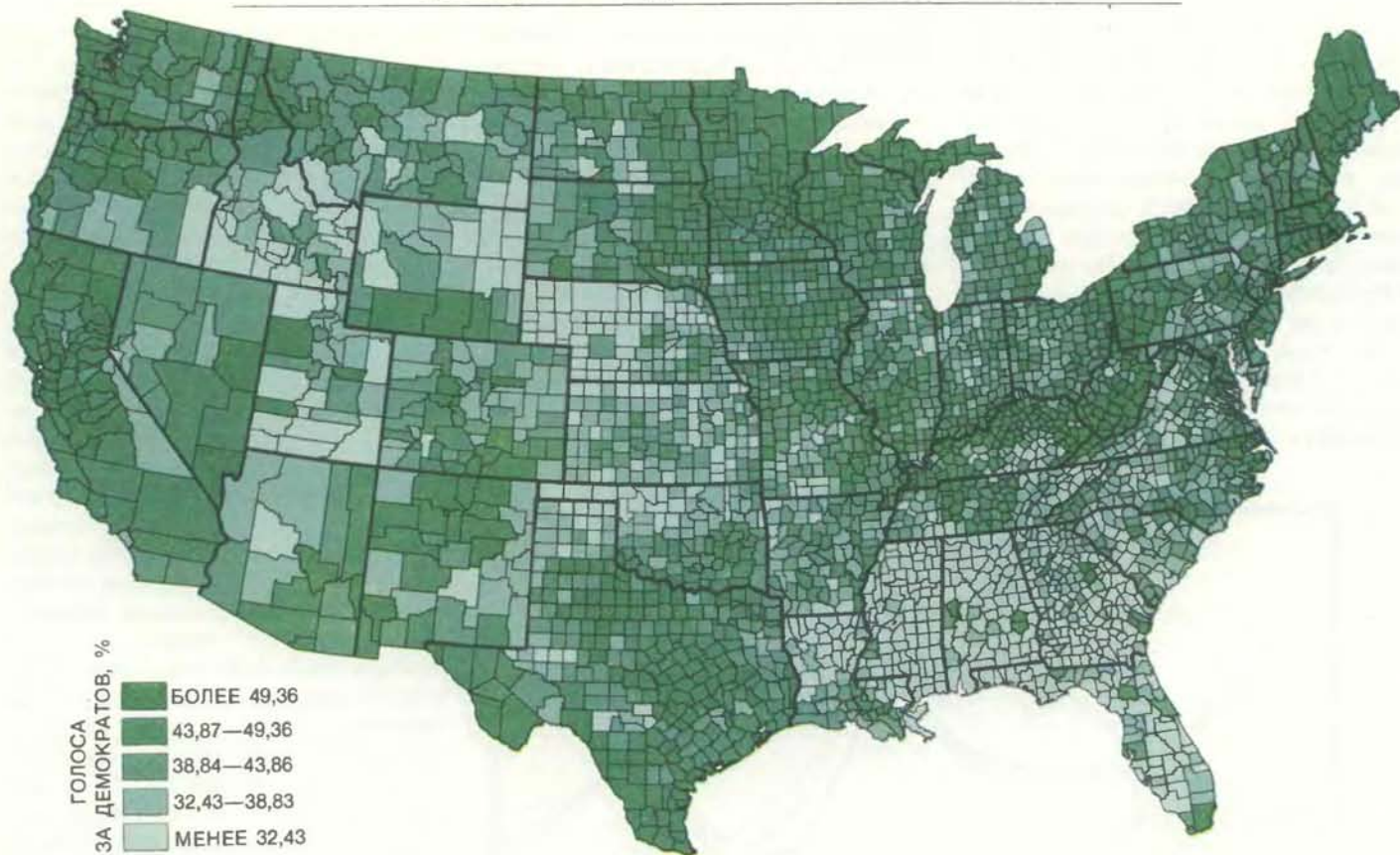
никновения постиндустриальной экономики.

Для выяснения вопроса, не уменьшилось ли значение регионального разделения в результате предполагаемой унификации, мы рассмотрим зависимость его влияния на характер голосования в отдельных графствах от степени урбанизации, т.е. от такого фактора, как проживание избирателей в крупных городах, в пригородах или сельской местности. Были получены данные о проценте голосов, поданных за кандидатов от демократической партии в каждом графстве на всех президентских выборах с 1940 по 1984 г. При этом графства классифицировались по двум направлениям. Во-первых, как городские, пригородные или сельские на основании данных статистического бюро США за 1954 г. (они использовались для анализа выборов с 1940 по 1964 г.) и за 1982 г. (для анализа выборов с 1968 по 1984 г.). Во-вторых, графства различались по их географическому положению в соответствии с делением страны на Северо-Восток, Юг и Запад.

Сопоставление важности урбанизации и регионального разделения производилось методом множественной регрессии, с помощью которого оценивается статистическая зависимость какой-либо переменной величины от двух или более «независимых» переменных. В данном случае «зависимой переменной» было число голосов, поданных за кандидата от демократов в каждом графстве, а в качестве независимых переменных выступали, с одной стороны, статус графства как преимущественно городского, пригородного или сельского и, с другой, его принадлежность к Северо-Востоку, Югу или Западу.

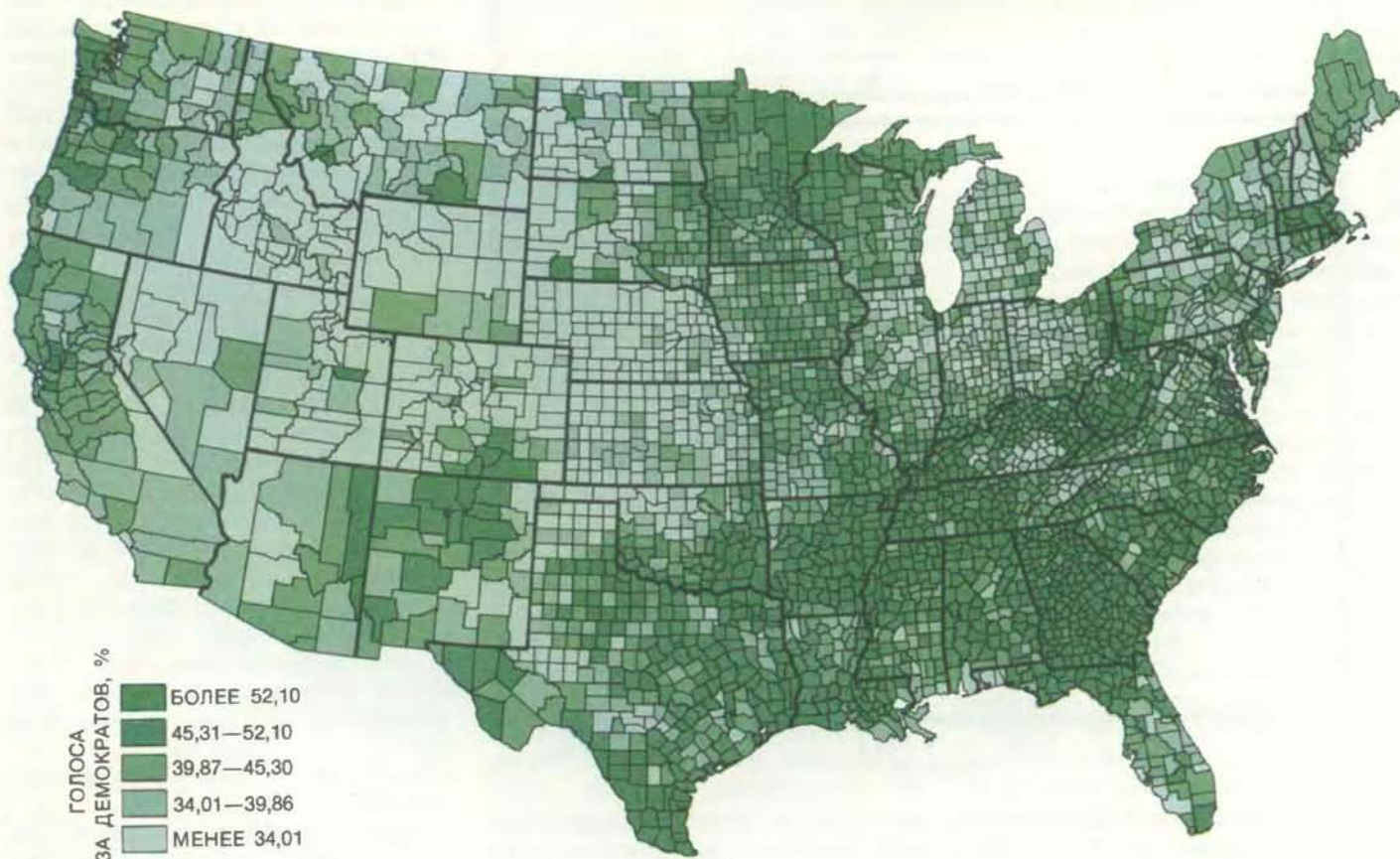
Оказалось, что степень урбанизации оказывает удивительно слабое воздействие на характер голосования в общенациональном масштабе. Различия в проценте голосов, поданных за демократов в отдельных графствах, которые можно статистически объяснить разграничением по принадлежности к городским, пригородным и сельским графствам, составляют лишь от 0,03 % (на выборах в 1952 и 1980 гг.) до 2,4 % (на выборах 1968 г.). В среднем на всех 12 исследованных выборах эта цифра составила лишь 0,8 %.

Напротив, принадлежностью графства к Северо-Востоку, Югу или Западу объясняется в среднем 24 % различий в поведении его избирателей. Этот показатель снизился до 2,7 % на выборах 1948 г., когда противодействие дискристов движению в защиту гражданских прав привело к расколу демократической партии на Юге, но



НОРМАЛЬНЫЙ ЛИБЕРАЛЬНЫЙ ТИП распределения голосов, который доминировал на выборах 1964, 1968 и 1972 гг., представлен на карте графств. Усредненная степень поддержки кандидата от демократической партии в каждом штате указывается густотой цвета. Четко обнаруживается

раскол между Северо-Востоком, преимущественно стоящим на стороне демократов, и Югом, где, как правило, поддерживают республиканских кандидатов. Демократы значительно уступали республиканцам также на Западе, в районе Великих равнин и Скалистых гор.



НОРМАЛЬНЫЙ КОНСЕРВАТИВНЫЙ ТИП распределения голосов географически резко отличается от нормального либерального типа, который он сменил в 1976 г. На Юге популярность демократов была восстановлена, но в большей части Северо-Востока она снизилась. Запад превратился в са-

мый надежный оплот республиканцев во всей стране за некоторыми исключениями, — главным образом, населенных латиноамериканцами графств на севере штата Нью-Мексико и на юге штата Колорадо, а также некоторых районов северо-восточной части Аризоны, где живут индейцы.

на выборах 1940, 1944, 1952 и 1980 гг. он превышал 35 %. Роль региональной принадлежности стала еще более очевидной, когда мы выделили отдельные части внутри каждого региона, разбив северо-восточную часть США на штаты Новой Англии, Среднеатлантического побережья и Среднего Запада, Юг — на Центральный Юг, Окраинный Юг и Юго-Запад и Запад — на Великие равнины, Скалистые горы и Тихоокеанское побережье. Тогда та часть различий в характере голосования, которую можно объяснить региональной принадлеж-

ностью графства, возросла в среднем до 36 %, а на выборах 1940 г. она составила уже три четверти.

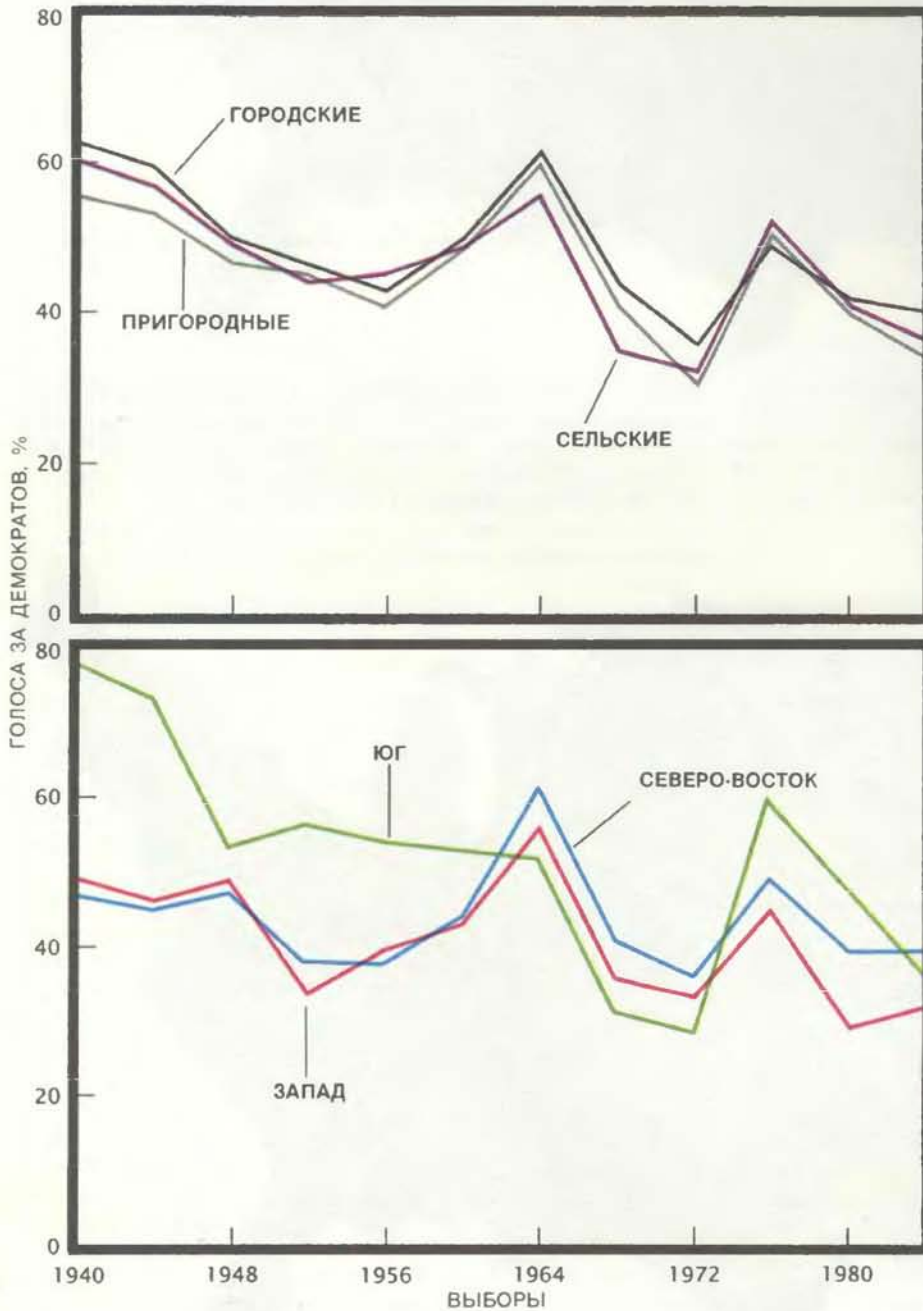
Такие статистические данные, вероятно, были бы с удовлетворением восприняты авторами Конституции США. Полученные результаты свидетельствуют о том, что коллегия выборщиков, созданная отчасти в связи с региональным разделением избирателей в то время, когда была принята Декларация о независимости, и сейчас еще выполняет важнейшую функцию: региональные различия, с которыми столкнулись «отцы американской

Конституции» существуют и сегодня, хотя и в сильно измененном виде. Региональные особенности культуры (в частности, общность истории, диалекта, религии) все еще в большей степени определяют политическое поведение людей, чем другие фундаментальные различия, существующие в американском обществе.

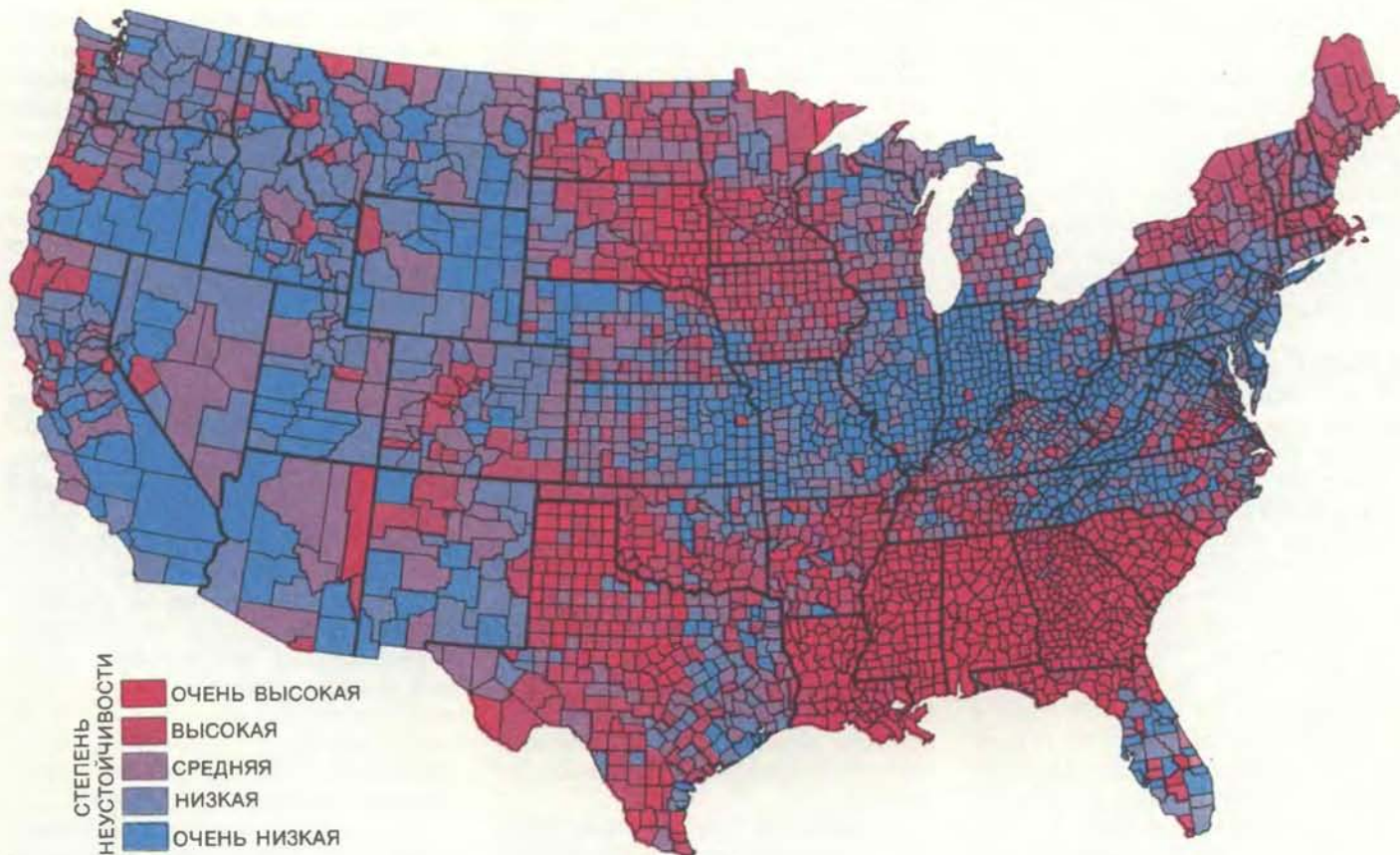
КАКОЕ значение имеет эта «география выборов» для кандидата в президенты, стремящегося создать широкую «географическую коалицию», которая обеспечила бы ему победу? Хотя регионы, в которых объединяются штаты, обычно голосующие одинаково, вполне стабильны, характер голосования региона может меняться. Особенно резко он меняется на «перегруппирующих» выборах, когда происходит переход от одной «избирательной эпохи» к другой, однако и в пределах каждой такой эпохи некоторые районы страны оказываются весьма неустойчивыми. Хотя обычно при разработке стратегии своей избирательной кампании партия ориентируется на районы, где она с уверенностью может рассчитывать на поддержку избирателей, ей следовало бы проявлять наибольшую активность как раз в районах с неустойчивыми позициями.

Какие же районы страны наиболее часто меняли свои партийные симпатии на выборах в недавнем прошлом и какие оказались наиболее устойчивыми? Анализ политической географии на уровне отдельных графств был продолжен с целью расчета индекса неустойчивости избирателей. При этом в качестве объекта для сравнения принимаются общенациональные тенденции распределения голосов на президентских выборах с 1940 по 1984 г. Те графства, в которых процент голосов за кандидата от демократической партии на протяжении ряда выборов оставался в той же пропорции к общенациональному уровню, получили низкий индекс, а у графств, в которых эта пропорция менялась, индекс был выше. Величина индекса не отражает абсолютного уровня партийных симпатий: графство, в котором большинство проголосовало за республиканцев на выборах, где победили демократы, не считается неустойчивым, если процент голосов за демократов в штате изменялся в соответствии с общенациональной тенденцией.

Анализ индексов неустойчивости для всех графств показывает, что, как и партийные симпатии, степень неустойчивости определяется географическими факторами (см. рисунок на с. 13). Высокая степень неустойчивости у графств Новой Англии, перифе-



РЕГИОНАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ, как показал анализ результатов голосования, в отдельных графствах на 12 последних выборах играют большую роль, чем социально-экономические в распределении голосов избирателей. В среднем число голосующих за кандидата от демократической партии мало зависит от принадлежности графства к городскому, пригородному или сельскому типу, т.е. от его социально-экономических условий (*вверху*). Напротив, принадлежность графства к определенному географическому региону часто существенно отражается на среднем проценте голосов, отданных демократам (*внизу*).



НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ИЗБИРАТЕЛЕЙ, равно как и стабильность их партийных симпатий, географически остается неизменной. Колебание позиций избирателей определялось для каждого графства по тому, как часто число голосов, поданных в графстве за кандидата от демократической партии на двух следующих друг за другом выборах, менялось в направлении, противоположном общенациональной тенденции. Например, если число голосов на данных выборах по сравнению с предыдущей

кампанией сокращалось, в то время как поддержка партии в общенациональном масштабе возрастала, считалось, что предпочтение избирателей в данном графстве неустойчиво (независимо от абсолютного числа голосовавших за демократов). Показанные на карте районы с высокой степенью неустойчивости — Северо-Восток, Юг и северная часть Среднего Запада — составляют главное поле предвыборных сражений для кандидатов обеих партий.

рийной части штата Нью-Йорк и северной части Среднего Запада. Выделяется в этом отношении и «Глубокий Юг», где наиболее высокая неустойчивость отмечается в Алабаме, Джорджии и Миссисипи. Эти очаги неустойчивости отчасти отражают историю недавних выборов: резкое изменение партийных симпатий на Северо-Востоке и Юге в 1976 г., когда осуществился переход от нормального либерального типа к нормальному консервативному типу. В более общем плане карта неустойчивости выявляет регионы, где избиратели часто бывают недовольны кандидатами или позицией главных партий. В таких районах необычно мощную поддержку может получить кандидат от какой-либо третьей партии, как это случилось с Джорджем Уоллесом на Юге в 1968 г. и с Джоном Андерсоном в Новой Англии в 1980 г.

Аналогично отсутствие неустойчивости имеет яркую географическую выраженность. Наиболее низкий индекс неустойчивости имеют графства в широком поясе, простирающемся от Пенсильвании и штатов Среднеат-

лантического побережья на запад через Огайо, Индиану и Иллинойс к Миссури и далее на север и юг в Небраску и Канзас. Вдоль линии Скалистых гор этот пояс становится еще более широким и охватывает значительную часть внутренних районов Запада и Тихоокеанского побережья.

Такая картина географического распределения (три пояса — два с высокой степенью неустойчивости и один с низкой, — которые охватывают восточную половину США) служит иллюстрацией связи между региональным разделением, существовавшим еще во времена «отцов американской Конституции», и сегодняшней географией президентских выборов. Американские поселенцы, двигавшиеся на запад в XVIII и XIX вв., обычно следовали по путям вдоль параллелей. Пояса графств с аналогичной степенью неустойчивости, которые мы сегодня обнаруживаем, — это одно из следствий общности культуры и политических взглядов, привнесенных когда-то на запад из трех очагов культуры на Атлантическом побережье.

Такова география президентских

выборов, которая, по-видимому, будет определять стратегию избирательных кампаний в обозримом будущем. Поскольку политическую ориентацию внутренних районов Запада (за республиканцев) нетрудно предвидеть, этим районам будет, по всей вероятности, уделяться меньше внимания, чем районам Северо-Востока и Юга с неустойчивыми политическими симпатиями. В нынешней избирательной кампании понимание важности региональных различий было одной из причин одновременного проведения в 14 южных штатах первичных выборов кандидатов в президенты в так называемый «супервторник» 8 марта. Одновременные первичные выборы, организованные главным образом демократической партией, преследовали цель предоставить этому региону больше прав в выдвижении кандидата и тем самым уменьшить возможность перехода избирателей из числа демократов-южан в лагерь соперника на всеобщих выборах. После утверждения кандидатов в президенты от обеих партий можно ожидать, что они развернут энергич-

ную избирательную кампанию в таких штатах, как Флорида, Нью-Йорк и Техас, которые имеют самый высокий индекс неустойчивости и в то же время большое число избирателей. О большом влиянии этих штатов можно судить по тому, что по меньшей мере на 13 из 15 последних президентских выборов в каждом из них избиратели отдали свои голоса кандидату, который вышел победителем.

КАКИЕ прогнозы можно сделать на основании географических данных относительно исхода президентских выборов этого года, первые результаты которых будут объявлены вечером 8 ноября? Исходя из предположения, что нормальный консервативный тип сохранится, особенно в части прочных позиций республиканцев на Западе, по всей вероятности, демократическая партия сможет одержать победу лишь в том случае, если преуспеет на Северо-Востоке и Юге, как это случилось в 1976 г. Если же республиканцы победят или хотя бы наберут значительное число голосов в трети восточной части страны — особенно в таких больших штатах с неустойчивыми симпатиями, как Флорида и Нью-Йорк. — это, скорее всего, будет означать их общую победу на выборах.

Фактически, с географической точки зрения демократическая партия находится в невыгодном положении. До 1980 г. северо-восточный избирательный регион в указанных нами границах имел небольшое, но все же абсолютное большинство в коллегии выборщиков, располагая 270 голосами против 147 у Юга и 121 у Запада. После перераспределения представительств в результате переписи 1980 г. число голосов Северо-Востока сократилось до 254, а голоса Юга и Запада возросли соответственно до 155 и 129. В итоге в 1984 г. впервые в истории итоги голосования на Северо-Востоке не могли, во всяком случае теоретически, сами по себе решить исход выборов. Теперь обе партии нуждаются для победы на президентских выборах в поддержке избирателей по меньшей мере двух регионов. Однако у республиканских кандидатов есть то преимущество, что им достаточно сосредоточить свои усилия только на одном из двух более неустойчивых регионов в дополнение к их, по видимому, прочной базе на Западе. Демократам же надо одержать победу в обоих регионах.

С географической точки зрения самым поразительным (и явно маловероятным) результатом президентских выборов в этом году был бы успех демократов в западной половине

страны. Резкий рост влияния демократической партии на Западе мог бы означать либо возникновение новой, хотя и временной, региональной структуры, как это было в 1896 г., ли-

бо начало новой избирательной эпохи, в которой воздействие прочного регионального распределения американских избирателей будет проявляться по-новому.

Наука и общество

Новые обезболивающие средства

ИЗУЧЕНИЕ механизма боли привело к открытию искусственных пептидов, обещающих стать новым средством управления болью и симптомами обычной простуды. Лекарственные препараты на основе этих пептидов, возможно, позволят избежать проблем, возникающих при применении существующих обезболивающих средств.

Большинство анальгетиков представляют собой производные салициловой кислоты (такие, как аспирин) или опиаты (такие, как морфин). Первые неэффективны при сильной боли и, кроме того, раздражают пищеварительный тракт. Вторые существенным образом влияют на многие органы, из-за чего они нередко нежелательны по медицинским показаниям; к тому же опиаты являются наркотиками. Ацетаминофен и некоторые другие новые лекарства, которые, подобно производным салициловой кислоты, препятствуют синтезу простагландинов, тоже обладают ограниченным действием и не годятся при сильной боли.

Обезболивающие пептиды являются модификациями природного пептида брадикинина. Брадикинин был идентифицирован в 1940-е годы по действию, оказываемому им на гладкую мускулатуру (он вызывает медленное сокращение гладких мышц). Молекула брадикинина представляет собой цепочку из девяти аминокислот. Предположение об участии брадикинина в явлении боли возникло на основании того, что это вещество присутствует в повышенной концентрации в поврежденных тканях, а введенное путем инъекции вызывает боль и воспаление. Позже было показано, что брадикинин, по-видимому, также участвует в развитии симптомов простуды.

Четыре года назад Дж. Стюарт из Медицинской школы Колорадского университета обнаружил, что брадикинин, в котором заменена одна, а

именно седьмая, аминокислота может подавлять действие натурального брадикинина, включая способность последнего вызывать боль. Предполагалось, что модифицированный брадикинин связывается с рецепторами брадикинина на нервных клетках, но не способен (из-за замены аминокислоты) инициировать нервный импульс. Таким образом он выводит рецепторы из строя и те уже не взаимодействуют с нормальным брадикинином. Однако роль самого брадикинина оставалась непонятной.

Участие этого вещества в возникновении боли прояснилось благодаря работам Л. Стеранки из компании Nova Pharmaceutical Corporation, С. Снайдера из Медицинской школы Университета Джонса Гопкинса и других исследователей. В журнале «Proceedings of the National Academy of Sciences» сообщается, что у крыс, которым вводили модифицированный брадикинин, замедлялась реакция на раздражитель (животным требовалось больше времени, чтобы отдернуть конечность, подвергнутую механическому давлению) и снижалась чувствительность к инъекциям кристаллов мочевой кислоты, которые вызывают болезненные симптомы подагры. Показано также, что наличие рецепторов брадикинина на клеточной поверхности — специфическая черта нервных волокон, передающих болевые сигналы. Как считает Снайдер, имеющиеся данные в совокупности убедительно доказывают, что брадикинин в норме служит инициатором ощущения боли. По мнению С. Энны, старшего вице-президента по научным исследованиям и разработкам в Nova Pharmaceutical Corporation, распространенность рецепторов брадикинина в центральной нервной системе свидетельствует о том, что брадикинин, возможно, играет еще и роль нейромедиатора в нервных клетках, передающих болевые сигналы.

Эта компания, основанная в 1982 г. при участии Снайдера, в настоящее время проводит клинические испытания антагонистов брадикинина (ли-

цензия на них принадлежит Стюарту) в качестве средств от простуды. В 1988 г. фирма предполагает начать испытания таких препаратов для местного обезболивания при ожогах, которые вызывают выделение большого количества брадикинина. Пептиды нельзя принимать через рот, что снижает их эффект, но Энна сообщила, что их фирма разрабатывает блокаторы брадикинина непептидной природы.

Вертолет на педалях

В НАЧАЛЕ 90-х годов XV в. Леонардо да Винчи сделал эскиз вертолета, приводимого в движение мускульной силой человека. Его конструкция была увенчана изогнутым пропеллером, выточенным из дерева. Такой аппарат никогда не полетит. Спустя почти пятьсот лет группа талантливых инженеров, имея в своем распоряжении компьютеры и легкие синтетические материалы, разработала новую конструкцию. Их детище тоже не летает — пока.

Студенты Калифорнийского политехнического университета надеются в скором времени исправить этот недостаток. Так называемый проект да Винчи родился в этом университете в 1981 г., вскоре после того, как Американское вертолетное общество назначило приз Игора Сикорского в размере 25 000 долл. за первый вертолет на мускульной силе. С тех пор на работы по проекту было затрачено 100 000 долл., не говоря о машинном времени, материалах и консультациях, которые оказывали несколько аэрокосмических компаний, а также бог знает, сколько часов свободного времени студентов.

Представитель вертолетного общества говорит, что Проект да Винчи, безусловно, идет впереди нескольких других претендентов на приз (среди которых аппарат, сконструированный пенсионером, бывшим специалистом по аэронавтике, а ныне выращивающим фрукты в шт. Орегон). «Я не знаю, каков будет исход, — заявил У.Паттерсон, консультант из числа преподавателей, с самого начала оказывающий помощь студентам, — но мы полны решимости выиграть».

Состав рабочей команды менялся, вместо одних идей появлялись другие, но конструкция, на которую возлагают надежду, осталась той, которая после кропотливых теоретических расчетов была выбрана в первый год работы. Аппарат состоит из жесткой рамы, похожей на велосипедную, а над ней вращается гигантский воздушный винт; на концах вин-

та находятся пропеллеры. Механизм привода действует, так сказать, не напрямую. Когда пилот крутит педали, вращается катушка, на которую наматывается полиэтиленовый шнур, перекинутый через оси пропеллеров и приводящий их в движение. Пропеллеры в свою очередь вращают воздушный винт. Пилот продолжает крутить педали до тех пор, пока шнур не оборвется (что случается довольно часто) или не наматается весь, что занимает около пяти минут.

Студенты быстро поняли, что аппарат нельзя испытывать на открытом воздухе: даже легкий ветерок его переворачивает. Испытания проводились в спортивном зале университета, а в последнее время в самолетном ангаре на заводах компании McDonnell Douglas. Проводимые много лет испытания и вносимые в конструкцию усовершенствования не привели к успеху: аппарат, воздушный винт которого имел в размахе 30 м, не взлетал. Вертолет частично переделали и снабдили его новым 42-метровым винтом из углеродного волокна и пенопласта. Во время испытаний в ноябре трос крепления

лопнул и оба пропеллера сломались. Студенты заменили пропеллеры, сконструировали новую систему растяжек и весной провели новые испытания.

Как вспоминает С.Ларвуд, один из руководителей проекта, в самом начале испытаний аппарат стал настолько сильно раскачиваться и крениться, что несколько человек ухватились за его раму. Однако, боясь помешать аппарату взлететь студенты решили «предоставить ему свободу». Когда пилот с силой начал крутить педали, аппарат внезапно перевернулся и лопасть винта отвалилась.

Студенты надеются сделать новый винт и осенью провести новые испытания. Все эти неудачи несколько убавили оптимизм команды. «Тот аппарат, которым мы сейчас располагаем, вряд ли выиграет приз Сикорского» — говорит Ларвуд, отмечая, что основным условием, выставленным призовым комитетом, является следующее: аппарат должен подняться над землей на 3 м и продержаться в воздухе в течение одной минуты. «Мы хотим только одного — подняться в воздух, — говорит он. — Это тоже будет мировым рекордом».



ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ НА МУСКУЛЬНОЙ СИЛЕ, построенный студентами Калифорнийского политехнического университета. Пилот, вращая педали, через специальный привод заставляет вращаться пропеллеры, укрепленные на концах 42-метрового воздушного винта. Пропеллеры заставляют крутиться винт. Фотография сделана Б.Роддамом из Douglas Aircraft Company.

Гравитационные линзы

Обнаружение таких объектов дает уникальную возможность проникнуть в тайны Вселенной. Систематические исследования, которые ведутся в настоящее время, направлены на то, чтобы оценить научную значимость гравитационных линз

ЭДВИН Л. ТЕРНЕР

ПРОЯВЛЕНИЯ неожиданных событий, как правило, являются источниками путаницы и ошибок в науке. Так, в течение нескольких лет астрономы прилагают значительные усилия, чтобы найти и изучить некий класс небесных явлений, само существование которых сильно зависит от стечения обстоятельств. Речь идет о возможных проявлениях так называемых гравитационных линз, когда два или несколько объектов, расположенных на разных расстояниях от Земли, ложатся на один луч зрения и, таким образом, совпадают на небесной сфере. Излучение от более удаленного объекта (обычно квазара) искривляется гравитационным полем более близкого объекта. Такое искривление при наблюдении создает миражи — искажения или кратные изображения этого удаленного объекта.

Изображения, созданные гравитационной линзой, могут представлять собой набор всевозможных искажений: они могут быть смещенными, усиленными, сжатыми, повернутыми, кратными, деформированными или со спектральной абберацией. Эти эффекты зависят от точности геометрической центровки, пространственных характеристик фонового источника, а также от напряженности и формы гравитационного поля более близкого массивного (гравитирующего) объекта. Следовательно, изучение этого явления позволяет установить необнаруженные ранее свойства источника излучения, гравитирующего объекта и пространства, находящегося между ними. Такие наблюдения могут помочь решению различных фундаментальных проблем космологии. В надежде реализовать когда-нибудь эту возможность несколько групп исследователей, членом одной из которых являюсь и я, проводят систематический поиск гравитационных линз. В настоящее время в этом направлении достигнут значительный прогресс.

История изучения гравитационных линз началась со знаменитой фундаментальной работы Эйнштейна (1915 г.), посвященной общей теории относительности (ОТО). В этой работе предлагалось три метода экспериментальной проверки новой теории, наиболее известный из которых состоял в измерении отклонения света звезды, проходящего вблизи диска Солнца. В классической теории Ньютона предсказывалось, что свет будет отклоняться полем тяготения Солнца на определенную величину; согласно общей теории относительности, величина этого отклонения должна быть вдвое больше. А.Эддингтон подтвердил предсказание Эйнштейна во время наблюдения солнечного затмения в 1919 г., в результате чего ОТО получила широкое признание.

В отличие от этого эффект гравитационной линзы не привлек такого внимания, пока Эйнштейн не опубликовал в 1936 г. краткие расчеты, показывающие, что если две звезды, находящиеся на разных расстояниях, точно совпадают на небе по положению, то изображение более далекой звезды будет иметь форму кольца. Он ограничился рассмотрением такого идеального расположения объектов, не представляющего, по его мнению, практического интереса. В следующем году Ф. Цвикки из Калифорнийского технологического института и Г. Рассел из Принстонского университета предложили другой подход. В частности, Цвикки (обладавший прекрасной интуицией) указал, что системы линз, включающие внегалактические объекты, такие, как галактики и галактические кластеры, по-видимому, могут не только наблюдаться, но и представлять большой научный интерес.

Новейшие исследования гравитационных линз относятся к началу 60-х годов. Это теоретические работы С. Рефсдела (в настоящее время работает в Гамбургском университете) и других ученых, которые рассмотре-

ли, как можно анализировать изображение гравитационной линзы, если она найдена. Они предположили также, что гравитационные линзы могут служить источником важной космологической информации, например о скорости расширения Вселенной и плотности темного вещества (скрытой массы). Но эти идеи были отнесены к игре воображения теоретиков, поскольку ни одна реальная система гравитационных линз не наблюдалась.

Затем в 1979 г. ситуация изменилась в связи с открытием линзовой системы (0957+ 561) в созвездии Большая Медведица (см.: F.H.Chaffee. The Discovery of a Gravitational Lens, "Scientific American", November 1980). В соответствии с предсказанием Цвикки эта система, а также другие линзовые системы, открытые впоследствии, включают в качестве источников излучения два и более внегалактических объектов (которые в большинстве случаев являются очень далекими квазарами) и умеренно удаленные галактики или галактические кластеры как гравитирующие объекты.

За последнее десятилетие число теоретических и экспериментальных исследований гравитационных линз быстро и постоянно возрастало. К моменту написания данной статьи в специальной литературе были обсуждены по крайней мере 17 кандидатов в линзовые системы, включая недавно открытые гигантские светящиеся дуги и объект, по форме приближающийся к Кольцу Эйнштейна. В настоящее время значительная часть времени работы на мощных радио- и оптических телескопах всего мира отводится на поиск и изучение этих объектов.

СНАЧАЛА гравитационные линзы относили просто к забавным курьезам, поскольку наблюдения этих эффектов дают мало информации об ОТО и гравитации, которая не может быть получена при исследованиях внутри Солнечной системы просты-

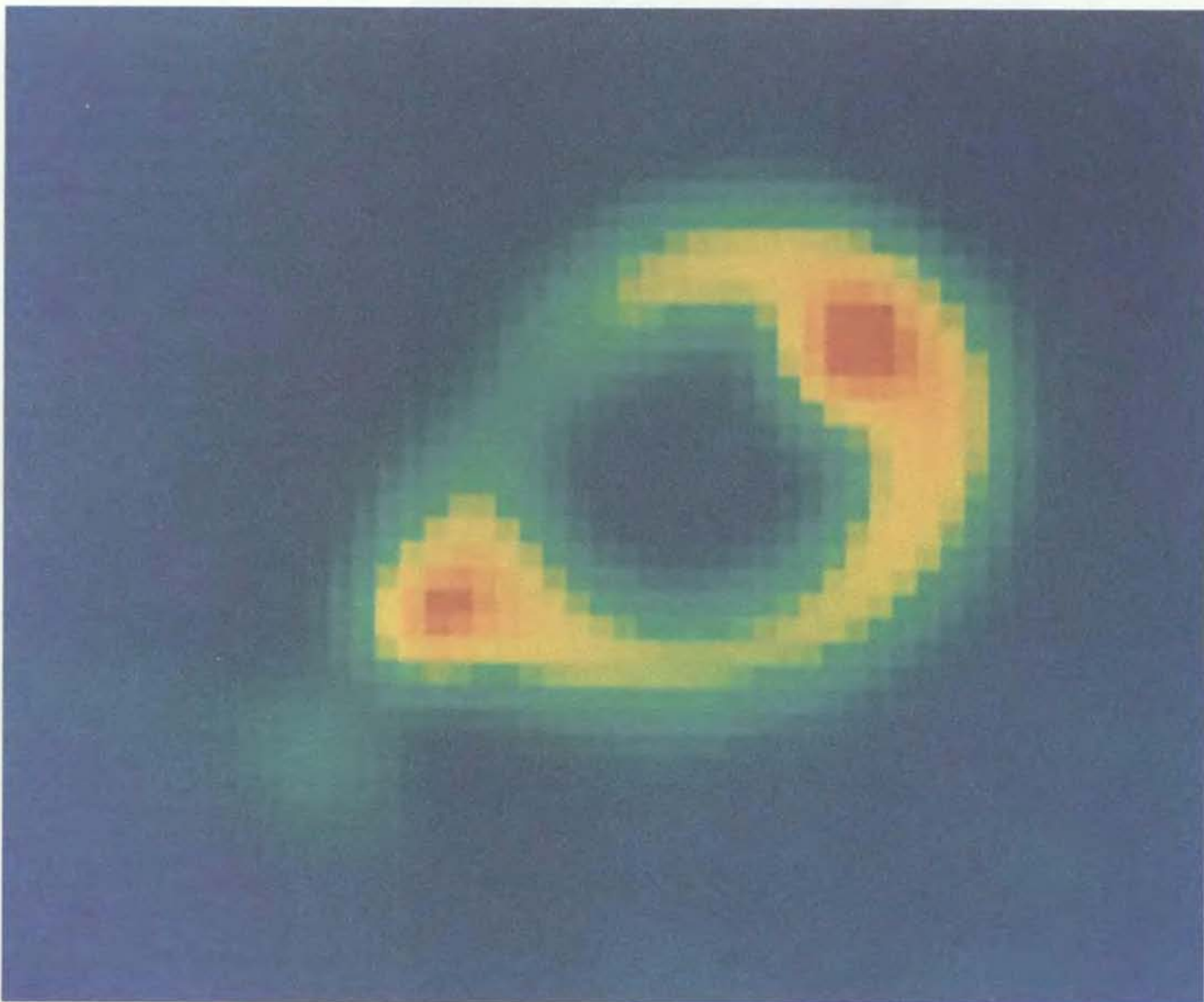
ми и надежными методами. Почему же тогда астрономы так интересуются этими космическими явлениями? Для ответа на этот вопрос нужно рассмотреть типичную гравитационную линзу более подробно.

Излучение, которое было испущено квазаром на ранних стадиях существования Вселенной, распространяется в направлении нашей Галактики. В то же время в результате расширения Вселенной происходит увеличение его длины волны — это хорошо известное явление так называемого красного смещения. Расширение Вселенной вызывает также уширение пучка света во время его распространения сквозь пространство. Если поток из-

лучения проходит вблизи какой-нибудь галактики, то под действием ее гравитационного поля траектории лучей искривятся. Величина искривления зависит от того, через какую область гравитационного поля пройдет поток излучения (точно так же, как угол отклонения луча света, прошедшего через оптическую линзу, зависит от того, где именно он прошел сквозь линзу). Следовательно, излучение может проходить через линзу разными путями и давать кратные изображения, обычно три или пять (истинное изображение + дополнительные изображения, которые, согласно теории, должны быть парными). Каждое изображение появляется в различ-

ных местах на небе и может быть усилено или искажено в разной степени. Некоторые изображения могут быть реверсивными, как в зеркале, или перевернутыми.

Изображения, создаваемые гравитационными линзами, возникают в результате сложного взаимодействия потока излучения с гравитационным полем галактики-линзы, которая в свою очередь зависит от пространственного распределения гравитирующей материи. Согласно ОТО, эта материя включает все виды вещества и энергии. Следовательно, линзовый объект может быть светящимся или темным, состоящим из обычного вещества или экзотического, он может



ЗАГАДОЧНАЯ КОСМИЧЕСКАЯ ПЕТЛЯ (MG 1131+0456), обнаруженная Жаклин Хьюитт и ее коллегами (включая автора данной статьи), по-видимому, — первое наблюдение Кольца Эйнштейна: изображения, созданного гравитационной линзой в результате точного расположения объектов на прямой линии (см. рисунок на с. 18). Наблюдаемый объект — типичный радиоисточник, являющийся выбросом из ядра, изображение которого искажено воздействием эллиптической галактики. На этом радиоизображении в ис-

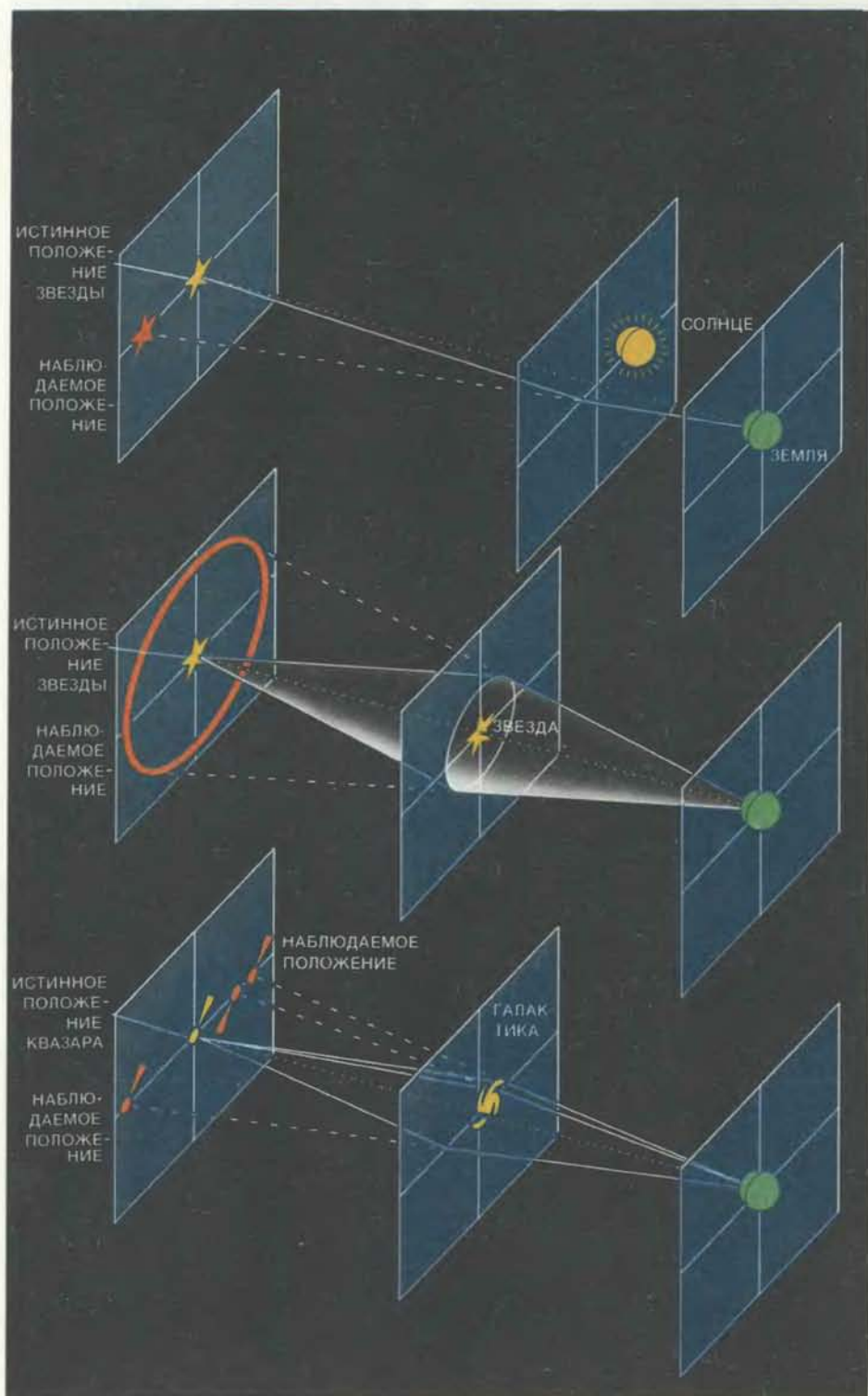
кусственных цветах две красные точки являются, вероятно, двойным изображением источника. Кольцеобразная желтая структура должна быть изображением выброса, вытянутого сзади галактического центра. Этот радиоисточник из созвездия Льва был занесен в каталог в 1950 г., но его необычная кольцеобразная форма была исследована только в прошлом году при поиске гравитационных линз на Большой антенной решетке VLA (Very Large Array).

состоять даже из неизвестного вещества, сконденсированного в звезды, или разреженного, такого, как газ элементарных частиц. Все нерегуляр-

ности в распределении вещества, возникающие вблизи траектории излучения, будут приводить к дополнительным малым отклонениям, т.е. к иска-

жениям наблюдаемых изображений.

Таким образом, эти изображения дают представление об уникальных астрономических объектах. Они несут информацию не только о свойствах источников излучения, но и о крупномасштабной геометрии Вселенной, эволюции пространства-времени, а также о неоднородностях распределения вещества во Вселенной. Надежда разобраться в этой информации и побуждает астрономов изучать эти объекты.



ЭФФЕКТ ГРАВИТАЦИОННОЙ ЛИНЗЫ происходит в тех случаях, когда гравитационное поле массивного объекта (*на переднем плане*) искривляет траектории фотонов, испущенных более удаленным источником. Отклонение искажает истинное положение источника излучения, а также его размеры и форму. Эйнштейн предсказал отклонение света звезд Солнцем (*вверху*) и существование кольца, которое должно появляться, если звезды расположены на одной линии (*в середине*). Получающееся изображение зависит от центровки внегалактического квазара и галактики (*внизу*). Отметим, что это изображение перевернуто.

АСТРОНОМЫ предполагают получить информацию трех видов. Во-первых, по первоначальному предположению Цвикки, гравитационная линза может действовать как естественный телескоп космических размеров: линзы могут усиливать изображение источника, давая такую структурную информацию, которую иначе было бы чрезвычайно трудно получить. Во-вторых, изображения, создаваемые гравитационной линзой, должны нести информацию об усредненных крупномасштабных свойствах Вселенной, включая величину космологической постоянной. В-третьих, с помощью таких изображений можно определить неоднородности во Вселенной, особенно такие, в которых сосредоточена так называемая скрытая масса (темное вещество) и которые, как полагают, обуславливают более высокую среднюю плотность вещества во Вселенной. В двух последних случаях создается перспектива использования гравитационных линз в качестве новых инструментов для изучения космологических проблем.

В качестве примера информации второго вида можно привести возможность получения данных, которые позволят непосредственно определить размеры и возраст Вселенной. Такое применение гравитационных линз следует из теории Большого взрыва (стандартной космологической модели), которая основана на наблюдении того факта, что на больших расстояниях объекты удаляются друг от друга со скоростями, пропорциональными расстоянию между ними. Такие данные можно объяснить в рамках модели расширяющейся Вселенной, в которой скорости удаления объектов пропорциональны расстояниям до них.

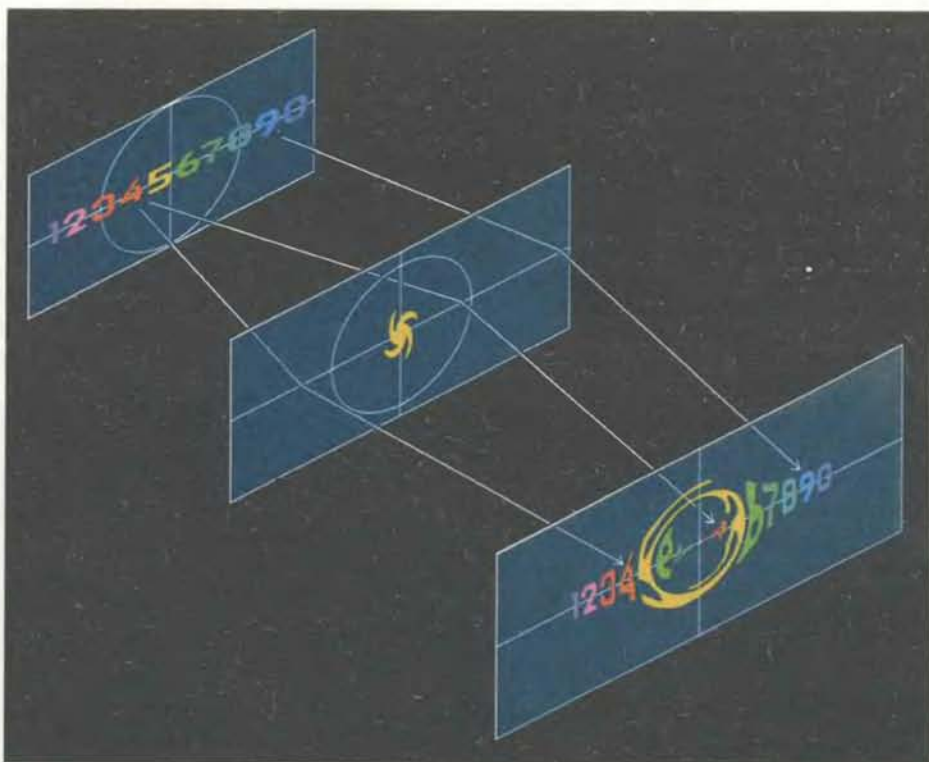
В течение почти 60 лет с тех пор, как было открыто расширение Вселенной, астрономы пытались измерить «постоянную пропорциональности» (так называемую постоянную Хаббла), связывающую скорость удаления объектов с расстоянием до них.

Эта постоянная дает возможность прямого определения как размеров Вселенной, так и ее возраста: времени, прошедшего с тех пор, как произошел Большой взрыв. Однако определение постоянной нуждается в знании абсолютных расстояний до удаленных внегалактических объектов. Такая задача является очень трудной; с помощью традиционных методов измерения астрономических расстояний пока не удастся получить точные значения, несмотря на усилия ученых в течение нескольких десятилетий. Лучшие полученные результаты различаются между собой в 2 раза.

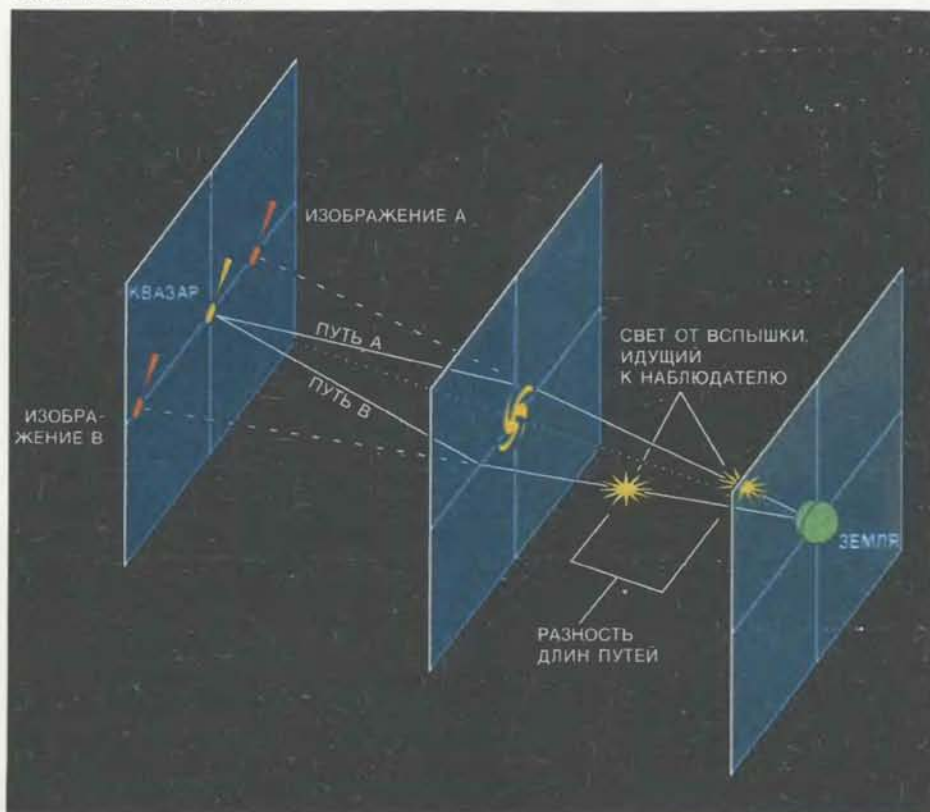
Исследования гравитационных линз открывают принципиально новый путь измерения астрономических расстояний и постоянной Хаббла. Новая приемная аппаратура даст возможность одинаково хорошо изучать как очень удаленные, так и близкие объекты. Это позволит рассчитать геометрию эффекта гравитационной линзы (см. рисунок внизу). С помощью такого анализа можно будет определить, что путь лучей для одного изображения, например, на одну миллиардную часть длиннее, чем путь для другого. Свет, идущий по двум разным путям, будет, следовательно, идти до Земли разное время. Если яркость квазара внезапно изменяется (как это часто происходит у квазаров), то можно наблюдать вспышку сначала на одном изображении и несколько позже на другом. Тогда разность длин путей определяется наблюдаемой временной разницей, умноженной на скорость света. Поскольку это расстояние составляет одну миллиардную часть полного расстояния, можно вывести абсолютное расстояние как до галактики, так и до квазара.

Гравитационные линзы особенно хорошо подходят для решения проблем третьей категории: изучения скрытой массы во Вселенной. Начиная с пионерской работы Цвикки (1930 г.), исследователи систематически накапливали доказательства существования гравитационных полей, являющихся гораздо более сильными, чем те, которые можно объяснить данными наблюдений звезд и межзвездного вещества. Большинство астрономов связывает это с тем, что от 90 до 99 % полной массы Вселенной составляет неопределенная компонента — предполагаемая скрытая масса. До сих пор излучения слабых эмиссионных линий или поглощения излучения в широком спектральном диапазоне не привели к обнаружению свидетельств существования скрытой массы.

Кроме прямого обнаружения, свойства темного вещества могут быть всесторонне изучены по его гравитационным эффектам, следова-



ГИГАНТСКИЕ ЦИФРЫ в небе (вверху слева) из-за гравитационного поля возмущающей галактики будут казаться искаженными для наблюдателя на Земле (внизу справа). Свет, проходящий внутри критической зоны влияния (разорванный круг), будет формировать кратное изображение. Цифры, расположенные ближе всего к линии, проходящей через галактику, будут претерпевать очень большие искажения.



ТЕХНИКА ДЛЯ ОБЗОРА, разработанная для обнаружения гравитационных линз, дает возможность астрономам вычислять абсолютное расстояние до удаленных квазаров. Наблюдатель может определить геометрию системы линзы из углового расстояния между изображениями, распределения масс галактик и отношения расстояния до галактики к расстоянию до квазара (основанных на их красных смещениях, при которых скорости пропорциональны расстоянию). Предположим, что путь В на одну миллиардную длиннее пути А. Если окажется, что яркость изображения В изменялась на два года позже изображения А, то абсолютная разница между путями А и В будет равна двум световым годам. Следовательно, длина пути А равна 2 млрд. св. лет.

тельно, они могут иметь непосредственную связь с гравитационными линзами. Возможно, легче всего определить частоту линзовых событий. По чисто статистическим причинам число линзовых систем среди объектов на определенном расстоянии должно быть пропорционально плотности гравитирующих тел во Вселенной (см. рисунок внизу). На практике пределы точности наблюдений, в частности разрешающая способность существующих телескопов, ограничивают типы гравитационных линз, которые могут быть выявлены: можно изучать только такие системы, в которых гравитирующие объекты достаточно массивны для получения отчетливых изображений с хорошим разрешением. Однако даже неудачи могут предоставить ценную инфор-

мацию о предельных плотностях некоторых гипотетических классов линз. Например, наблюдаемая частота линзовых событий исключает возможность существования очень большого числа массивных темных галактик и черных дыр.

ЭТИ ПРИМЕРЫ представляют только начало перечня из общего числа возможных применений гравитационных линз. Наблюдение эффекта гравитационной линзы в принципе может позволить провести независимые измерения галактических масс и упростить исследования пространственной структуры межгалактической среды. Усиление изображения объектов гравитационными линзами поможет объяснить, почему непредвиденно большое число квазаров с большим красным смещением обнаруживается вблизи галактик со значительно меньшим красным смещением; галактики могут усиливать изображения отдаленных квазаров, облегчая тем самым их наблюдение. Усиление изображения может помочь также объяснить кажущуюся необычную яркость или переменность излучения квазаров, квазароподобные объекты, имеющие необычные эмиссионные спектры, и «сверхсветовые» компоненты квазаров. Эти возможности ограничиваются только изобретательностью теоретиков.

Все это может так и остаться перспективой до тех пор, пока астрономы не получат статистически надежные выборки линзовых событий. Только в настоящее время астрономы начали проводить систематические обзоры неба в поисках линзовых систем; большинство из известных линз были открыты случайно и с точки зрения статистики не представляют интереса, подобно тому как при опросе общественного мнения пытаться подсчитывать голоса людей, встретившийся случайно во время послепопуденной прогулки.

Осознав потенциальные выгоды изучения гравитационных линз, некоторые группы ученых предприняли обширные исследования, надеясь собрать статистически надежные данные, а также выявить единичные события, представляющие особый интерес. Некоторые группы занимаются отбором известных квазаров, уделяя особое внимание наиболее удаленным объектам, для которых выше вероятность того, что они могут войти в систему линз. Другие группы расширяют круг своих поисков за счет ранее не известных квазаров или других удаленных объектов. Я участвую в проекте последнего типа, осуществляемого астрономами из Калифор-

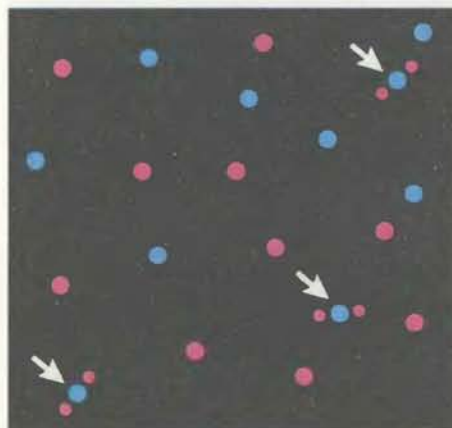
нийского технологического института, Обсерватории Хейстак, Института высших исследований, Массачусетского технологического института и Принстонского университета.

Основная трудность в этих исследованиях состоит в том, что линзовые события очень необычны. Среди известных классов астрономических объектов только квазары расположены достаточно далеко для того, чтобы иметь «шанс» находиться на одной линии с объектом, лежащим впереди. Даже среди квазаров линзовые системы встречаются редко: перед открытием первого такого случая в 1979 г. в каталоги было занесено приблизительно 2000 квазаров. Тщательный отбор известных квазаров может увеличить число кандидатов в гравитационные линзы, но не более чем на доли процента.

Кроме того, квазары довольно трудно отбирать из множества звезд нашей Галактики, на которые они внешне очень похожи. На протяжении почти 25 лет, с тех пор как были открыты квазары, исследования были направлены в основном на улучшение методов их обнаружения и индентификации. Для выявления гравитационных линз необходимо разработать специализированные программы, чтобы обнаружить подходящие кандидаты из числа обычных квазаров. Изучение гравитационных линз представляет своего рода поиск четырехлистного клевера (по поверью приносящего счастье).

МЫ НАЧАЛИ такой поиск в радиодиапазоне. Во-первых, обычные звезды являются, как правило, слабыми источниками радиоизлучения, тогда как большая часть известных ярких радиоисточников отождествлена с внегалактическими объектами, включая квазары. Во-вторых, в настоящее время радиоастрономы имеют в своем распоряжении наиболее мощные инструменты и методы наблюдения. Высокое угловое разрешение радиотелескопов позволяет обнаруживать мелкомасштабную структуру объектов, которая имеет важное значение для понимания эффекта гравитационной линзы. Однако только небольшой процент всех квазаров представляет обнаруженные радиоисточники. Поскольку источники, не излучающие радиоволны, имеют равный «шанс» в формировании эффекта гравитационной линзы, при радиообзоре выделяется всего лишь несколько процентов линзовых систем из их общего числа.

Впервые такие радионаблюдения были проведены группой ученых из Массачусетского технологического



ТЕМНОЕ ВЕЩЕСТВО во Вселенной можно обнаружить по наблюдениям гравитационных линз. Квазары (красные) «линзируются» скрытыми (темными) объектами (синие) пропорционально плотности темного вещества. Если темных объектов немного (вверху), то должно быть меньше гравитационных линз (стрелки), чем в случае, когда темных объектов много (внизу). С помощью телескопов могут наблюдаться только гравитационные линзы, созданные достаточно массивными объектами, поэтому большое население объектов с малой массой может оказаться ненаблюдаемым.

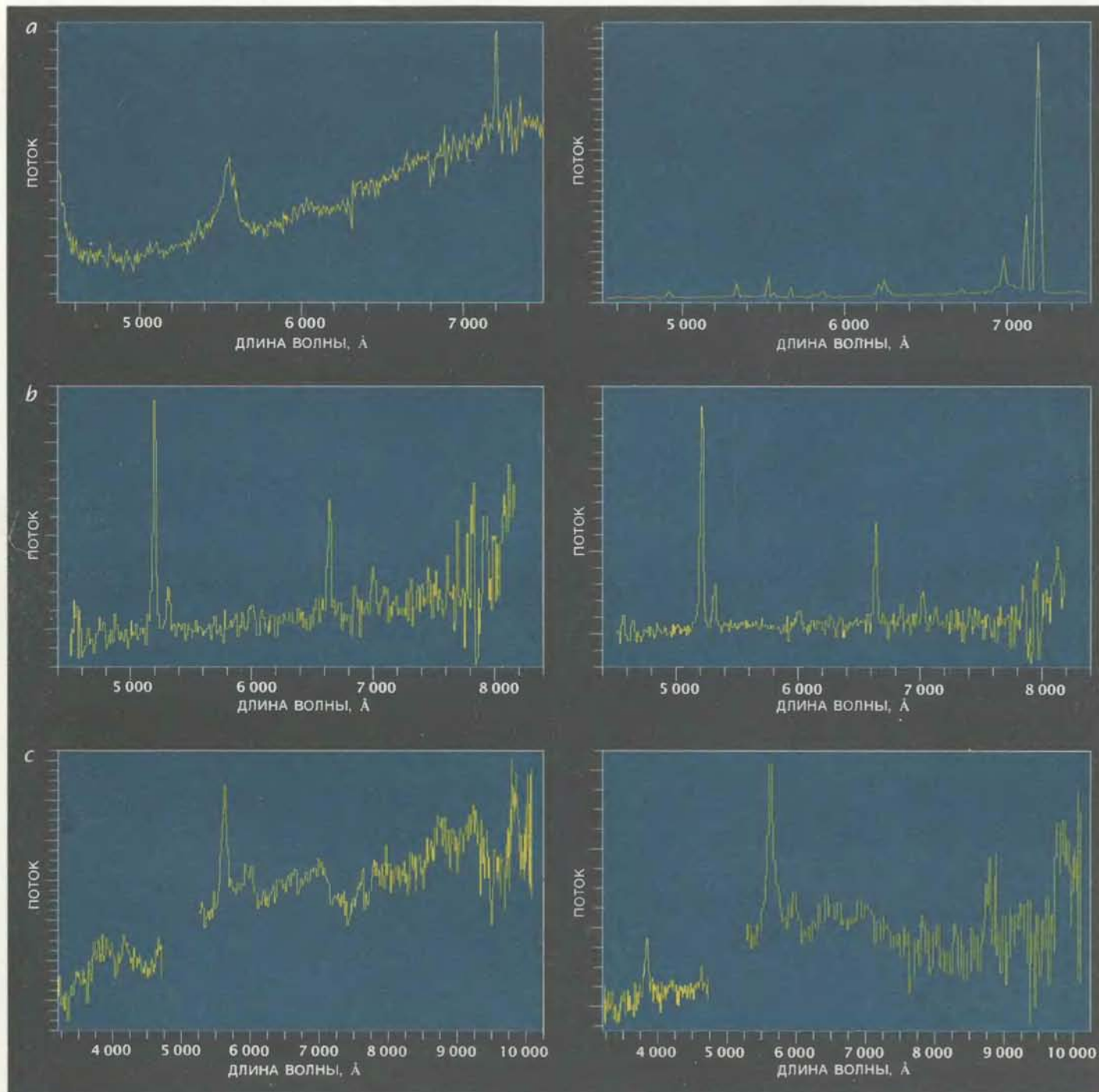
института (МТИ) под руководством Б. Барка на 100-метровом телескопе в Грин-Бэнке (шт. Западная Виргиния), принадлежащем Национальной радиоастрономической обсерватории (NRAO). При этом были обследованы большие участки неба в поисках источников излучения на длине волны 6 см и определены их положение и яркость. Несколько тысяч таких источников были занесены в каталоги.

Затем мы выбрали из них набор ис-

точников для исследования «фотографий», полученных на принадлежащей NRAO Большой антенной решетке VLA (Very Large Array), которая представляет собой телескоп-радиоинтерферометр, состоящий из 27 подвижных антенных чаш, расположенных на площади диаметром около 40 км на высокогорном плато в шт. Нью-Мехико. Для решения многих задач VLA — наиболее мощный радиотелескоп в мире и позволяет получать хо-

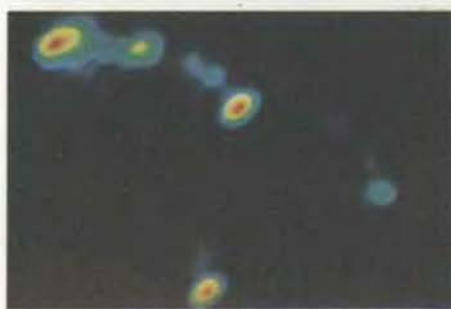
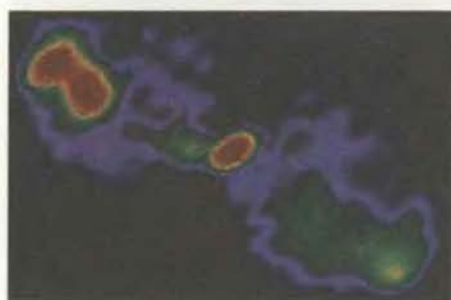
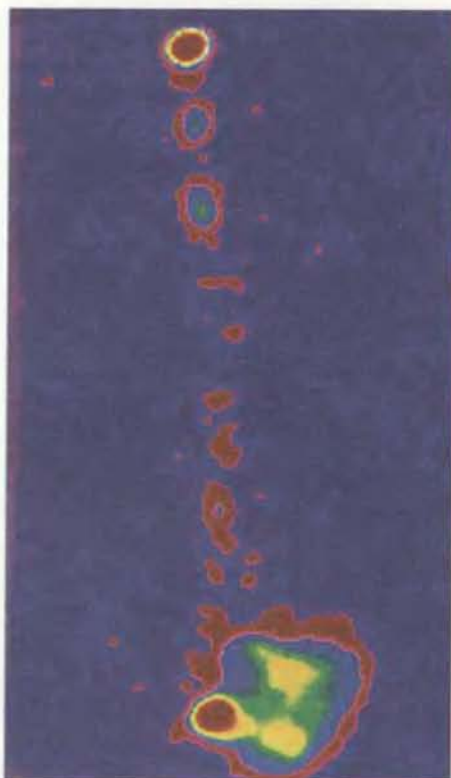
рошие изображения удаленных радиоисточников всего лишь за несколько минут наблюдений (обычно с разрешением 0,4 секунды дуги и чувствительностью к 50 % вариации в яркости). Четыре из 17 опубликованных кандидатов в линзы были открыты при наблюдениях на VLA. По-видимому, при осуществлении этой программы удастся получить от 10 до 30 «хороших» кандидатов.

После получения «фотографий»



СПЕКТРАЛЬНЫЕ «ОТПЕЧАТКИ ПАЛЬЦЕВ» позволяют проверить, являются ли пары небесных объектов кратными изображениями, обусловленными гравитационными линзами. Пары с явно различными спектрами (а) являются почти определенно разными объектами. Пары с почти идентичными спектрами (б), вероятно, представляют изображения, созданные гравитационными линзами. Во многих

случаях, таких, как пара (1146 + 111) (с), результаты неопределенны. Измерения, проведенные на длинах волн между 5000 и 7000 Å, оказались поразительно сходными и объект представлялся надежным кандидатом на гравитационную линзу. Но позднее при измерениях, проведенных на других длинах волн, были обнаружены важные различия, подвергающие сомнению прежние выводы.



КАКОЕ из этих трех радиоизображений является результатом эффекта гравитационной линзы? Верхние два (1007 + 417 и 2355 + 490) — обычные «нелинзированные» выбросы из ядра — точечные объекты, извергающие гигантские потоки плазмы. Внизу изображена система гравитационной линзы (0957 + 561), открытая в 1979 г. Несколько изображений квазара (в виде двух точечных компонент, которые расположены на линии вертикально в центре) обусловлены эффектом гравитационной линзы. Галактика-линза, которая также оказалась радиоисточником, проявляется как слабое синее пятно (немного выше нижнего изображения); в оптическом диапазоне галактика видна отчетливо. Все три карты яркости получены с помощью Большой антенной решетки (VLA).

выбранных источников на VLA необходимо внимательно их изучить. Даже обычные радиоисточники могут принимать различную форму — от простых звездоподобных точек и плазменных потоков, вытекающих из центрального точечного источника, до хаотических структур, имеющих сложные характеристики. Проблема состоит в том, чтобы отобрать лучшие кандидатуры на роль гравитационных линз из этого космического «зоопарка». При этом можно использовать тот эмпирический факт, что, как правило, радиоисточники представляются в виде одной яркой неразрешенной компоненты. Если такой источник подвергается сильному эффекту гравитационной линзы, то появляются два или больше его изображений. Особенно «хорошие» кандидаты дают более двух компонент, разделенных не более чем 10 секундами дуги. (Более высокое разрешение считается маловероятным, потому что для этого потребовалась бы слишком большая масса гравитационной линзы.) Источники, в которых компоненты вытянуты вдоль дуги, а не вдоль прямой линии, также вызывают интерес, поскольку эффект линзы приводит к усложненным искажениям, наиболее яркий пример которых представляет собой Кольцо Эйнштейна.

ЗАТЕМ ПОИСК продолжается в оптическом диапазоне. Согласно ОТО, отклонение излучения гравитационным полем не зависит от его длины волны, и если кратные изображения источника появляются в радиодиапазоне, то аналогичные кратные изображения должны появиться и в оптическом диапазоне. Таким образом, с помощью высокочувствительного оптического детектора, направленного на радиоисточник, можно получить его оптическое изображение и сравнить с соответствующим радиоизображением.

Эти наблюдения впервые были проведены с чрезвычайно чувствительным ПЗС-детектором (прибором с зарядовой связью), установленным в главном фокусе 4-метрового телескопа Мейлла Национальной оптической астрономической обсерватории Китт-Пик. ПЗС дает возможность на этом телескопе (третьем по величине в США) определить в течение 30-минутной экспозиции на один источник объекты, в 16 млн. раз менее яркие, чем самая слабая звезда, наблюдаемая невооруженным глазом.

После получения оптического изображения его сравнивают с радиоизображением. В некоторых случаях видимый оптический «дубликат» радиоисточника отсутствует, но в боль-

шинстве случаев существует оптический объект, ассоциируемый с данным источником. Однако иногда две или более радиокомпоненты имеют оптические дубликаты, что, возможно, является свойством гравитационных линз. Таким образом, оптические наблюдения ограничивают перечень VLA-кандидатов в линзы, чтобы затем можно было составить список основных «претендентов».

Источники, оставшиеся в результате такого отбора, подвергаются последнему «критическому испытанию». У каждой компоненты кратного изображения снимаются «отпечатки пальцев» путем получения оптического спектра высокого разрешения, показывающего видимую яркость для большого числа длин волн. Детали оптического спектра определяются сложной комбинацией многих физических свойств — расстояния до источника, пространственного движения, температуры, плотности, химического состава и т.д. Спектрографический тест, следовательно, должен позволить отличить реальные кратные изображения, создаваемые линзами (которые должны иметь идентичные спектры), от изображений похожих, но физически различных объектов, которые можно ошибочно принять за компоненты линзовой системы.

В принципе это самый надежный тест, поскольку маловероятно, чтобы два независимых объекта были тождественны по всем физическим свойствам. Однако на практике ситуация гораздо сложнее. Во-первых, часто бывает трудно или невозможно получить хороший спектр слабых объектов, разделенных всего лишь несколькими секундами дуги. В некоторых случаях для такой процедуры необходимы наблюдения в течение ночи на телескопах обсерваторий Китт-Пик или Маунт-Паломар. Во-вторых, разные квазары могут иметь очень похожие спектры либо случайно, либо потому, что эти объекты могут быть связаны каким-то образом. Кроме того, некоторые эффекты, такие, как неоднородное усиление линзой, могут приводить к малым искажениям в спектре изображений, создаваемых линзой. Спектральному анализу, возможно, больше подходит сравнение со «смазанной подписью», чем с «четкими отпечатками пальцев». Тем не менее, если спектры двух или более оптических компонент согласуются или очень похожи между собой, такой объект обычно вызывает интерес как достаточно хороший кандидат, чтобы быть обсужденным на страницах специальных изданий.

Когда такой кандидат отождествлен с одним из объектов, он обычно

проходит еще более тщательную проверку и, если он действительно входит в систему гравитационной линзы, необходимо объяснить механизм этого эффекта и смоделировать его. Одним из самых важных этапов этого исследования является поиск самих линз. Кроме того, важно получить изображения с высоким разрешением на возможно более широкой полосе длин волн, чтобы подобрать соответствующие теоретические модели. На такой анализ для одного хорошего кандидата на гравитационную линзу может потребоваться гораздо больше времени (примерно в 10 раз), чем на осуществление полного обзора, из которого этот кандидат был отобран.

ПЕРВЫЕ ОБЗОРЫ линз не были полными и продолжают появляться новые классы линз. До сих пор возникает очевидный вопрос: сколько линз сейчас найдено? Трудность ответа на этот вопрос высвечивает основную проблему в исследовании линз. Из 17 кандидатов на гравитационные линзы, о которых сообщается в специальной литературе, только пять считаются надежно установленными. Три относят к слишком слабым объектам — вероятность того, что они действительно являются линзовыми системами составляет менее 50%. Оставшиеся девять случаев вызывают большие сомнения, так что окончательное решение может склониться как в ту, так и в другую сторону.

Таким образом, лишь некоторые теоретические предположения по исследованиям гравитационных линз реализованы к настоящему времени. Еще не получены точные значения постоянной Хаббла и некоторых других фундаментальных космологических величин. Есть интересные результаты по скрытой массе, включающие ее распределение в особых объектах и пределы на ее полное содержание в особых формах. Например, установлено, что черных дыр среди галактических масс мало. (Эти результаты полезны, но пока они только подтверждают выводы или предположения, сделанные ранее. Информация о распределении скрытой массы в галактике может быть извлечена, например, из ее вращательного поведения.) По крайней мере в одной системе (2016+112) мечта Цвикки о «космическом телескопе» стала реальностью, дав возможность увидеть этот пекулярный квазар (иначе его блеск был бы очень слабым для наблюдения.) Список научных достижений в этой области невелик, но принимая во внимание, что исследования находятся в начальной стадии, не следует терять надежды.

Научная ценность исследований гравитационных линз остается дискутируемым вопросом. В идеализированном мире астрофизических теорий можно мечтать о многих элегантных и мощных применениях гравитационных линз для решения фундаментальных проблем. В реальном мире сложных событий и ограниченной информации о них не все потенциальные применения могут быть даже приближены к практике. До некоторой степени трудности вытекают из внутренней противоречивой природы космических гравитационных линз. В самом деле, они возникают из тех самых эффектов, которые делают линзы потенциально информативными. Например, создаваемые линзой изобра-

жения содержат информацию как о распределении полной массы гравитирующей галактики, так и об усредненных крупномасштабных свойствах Вселенной. Можно пытаться узнать о том и о другом, но часто бывает трудно сказать что-либо об одном из них без определенного знания о другом — это классическая ситуация, описанная в произведении Дж. Хеллера «Уловка-22». Несмотря на все трудности, стимул для продолжения исследований есть, даже если нет никаких других разумных предложений, кроме тех, что гравитационные линзы дают ученым новый «инструмент» для решения фундаментальных проблем, который сильно отличается от традиционных методов исследования.

Книги издательства „Мир“

А. Джейкс, Дж. Луис, К. Смит. КИМБЕРЛИТЫ И ЛАМПРОИТЫ ЗАПАДНОЙ АВСТРАЛИИ

Перевод с английского

В книге австралийских геологов приводятся результаты оригинальных минералогических, петрографических и геохимических исследований ультракалийевых алмазносных пород Западной Австралии — лампроитов и найденных здесь же кимберлитов. Обобщается огромный фактический материал по геологии региона, внутреннему строению отдельных тел лампроитов и кимберлитов, их вещественному составу, геохимии изотопов и петрогенезису. Дается детальное описание лампроитовых трубок и в том числе трубки АК—1, представляющей собой богатейшее в мире месторождение алмазов. Рассматриваются черты сходства и отличия алмазов из кимберлитов и лампроитов и особенности алмазов из различных районов Западной Австралии.

Для петрографов, минералогов и геохимиков, а также геологов и геофизиков, изучающих состав и строение земной коры и верхней мантии.

1989 г., 41 л. Цена 8 р. 50 к.

Предварительные заказы направляйте в магазины, распространяющие научно-техническую литературу.

Издательство заказы не принимает.



Гормоны, стимулирующие кроветворение

Каждый из этих гормонов стимулирует образование особого набора клеток крови. Получение гемопоэтинов при помощи технологии рекомбинантной ДНК обещает революционизировать медицинскую практику

ДЕЙВИД У. ГОЛД, ДЖУДИТ К. ГАССОН

В БИБЛИИ, в Третьей книге Моисеевой Левит, сказано: «душа тела в крови». Помимо своего метафорического смысла эта фраза верна буквально: ведь для жизни необходим каждый из многочисленных типов клеток крови. Эритроциты (красные клетки крови) снабжают ткани кислородом. Лейкоциты (белые клетки крови) защищают организм от рака и вторгающихся извне патогенов. До последнего времени в распоряжении медиков имелось лишь несколько методов для поддержания функционирования клеток крови: вакцины и улучшенное питание повышали иммунную защиту; переливание крови могло компенсировать потерю функций эритроцитов. Но в последние годы открыта группа гормонов, способных модифицировать все эти процессы. Эти белковые факторы роста известны под названием гемопоэтических гормонов или гемопоэтинов, от греческих слов *háima* (кровь) и *poiēsis* (творить).

И функцией этих гормонов действительно является кроветворение. Все различные типы клеток крови происходят от одного предшественника, называемого стволовой клеткой. Каждый из гемопоэтинов вызывает образование определенных классов клеток крови и служит для этих клеток стимулятором, усиливая их функции. Недавно удалось клонировать гены ряда гемопоэтинов, что позволяет получать соответствующие гормоны в значительном количестве. Скоро стимуляция образования определенного типа клеток крови станет обычным методом лечения. В результате резко уменьшится нужда в переливаниях крови, а процесс пересадки костного мозга упростится и станет менее рискованным. Все это поможет борьбе иммунной системы организма против болезнетворных организмов, СПИДа и злокачественных опухолей. Короче говоря, гемопоэтины могут привести к такой же революции в ме-

дицине, как и открытие антибиотиков пятьдесят лет назад.

ЭРИТРОЦИТЫ в зрелом состоянии единообразны, но среди белых клеток крови существуют три ряда, имеющие специализированные функции: гранулоциты, моноциты и лимфоциты. Гранулоциты в свою очередь подразделяются на три группы, называемые нейтрофилами, эозинофилами и базофилами. Эти названия отражают тип красителей, наиболее интенсивно окрашивающих клетки данной группы. Нейтрофилы незаменимы в борьбе организма с бактериями и некоторыми грибами. Эозинофилы играют существенную роль в защите от паразитов, таких как гельминты и простейшие. Функция базофилов гораздо менее ясна. Моноциты (и родственные им клетки, называемые макрофагами) очень важны для защиты от внутриклеточных паразитов, таких как вирусы и бактерии определенного типа. Лимфоциты участвуют в опознавании и разрушении различных патогенов.

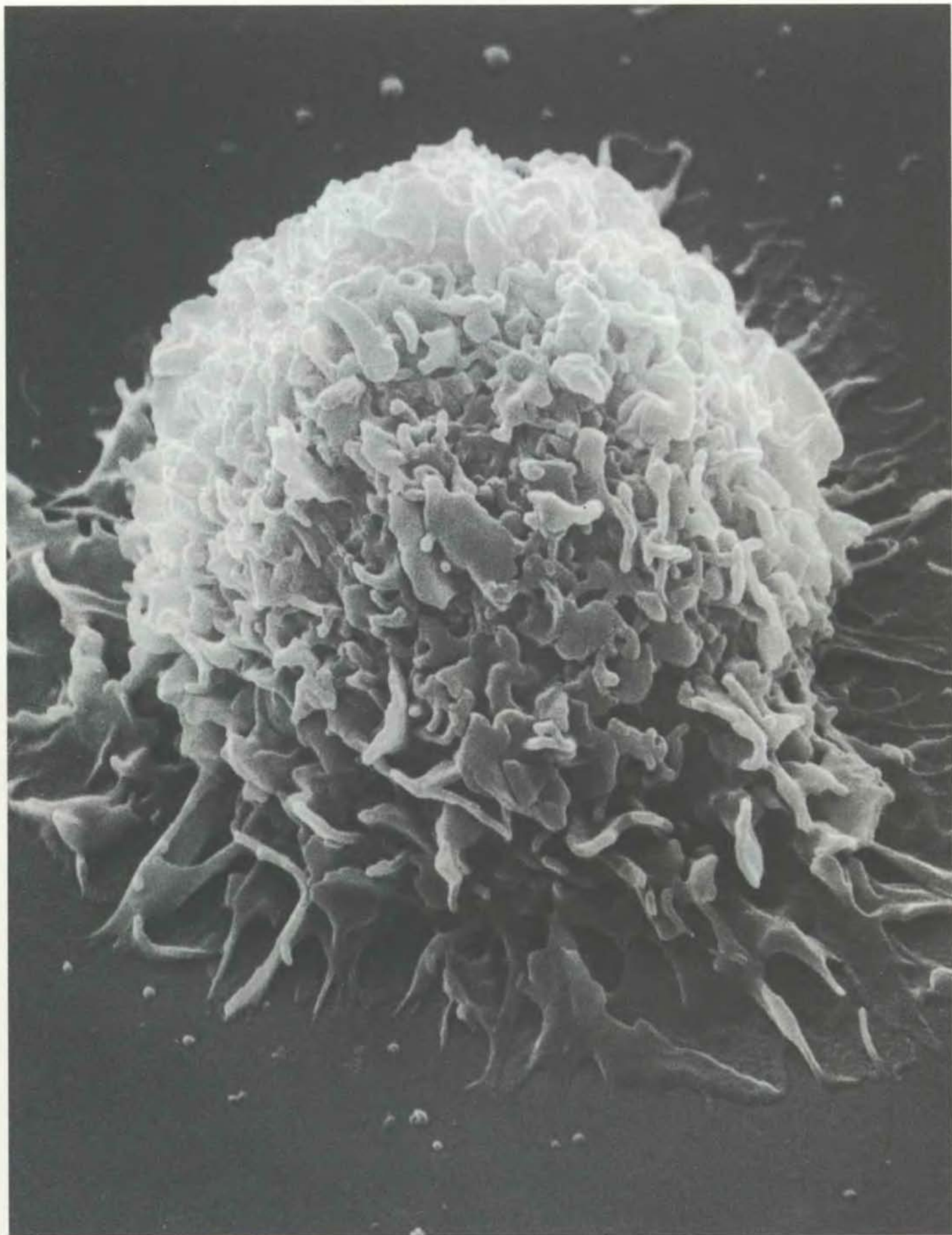
Как же такое войско разнообразных клеток может развиваться из одного предшественника? Этот процесс напоминает становление генеалогического древа: каждый очередной потомок все больше отличается от исходного предка. Развитие недифференцированных стволовых клеток происходит в основном в костном мозге, где и пребывают стволовые клетки. Деление стволовой клетки приводит либо к ее воспроизведению (т. е. дочерние клетки также являются стволовыми), либо к образованию клеток, коммитированных к определенному пути развития. Еще не установлено окончательно, что заставляет стволовую клетку «принять решение» о превращении в коммитированную для того или иного пути развития. Несомненно, это включает в себя экспрессию каких-то клеточных генов, но остается неясным, является ли

коммитирование случайным процессом, или же оно происходит под влиянием факторов окружающей среды. В любом случае приобретение коммитированности сопровождается появлением на поверхности клетки рецепторов, отвечающих на специфические гормональные сигналы. Эти сигналы в свою очередь побуждают клетки к дальнейшей дифференцировке по избранному пути к окончательной специализации.

Первое главное разветвление гемопоэтического древа отделяет предшественников лимфоцитов от предшественников остальных типов клеток крови. На этой стадии коммитированные стволовые клетки неразличимы по форме. В ходе дальнейшей дифференцировки появляются первые морфологически различаемые предшественники, в том числе эритробласты (предшественники эритроцитов) и миелобласты (предшественники гранулоцитов и моноцитов).




Нарисовать генеалогическое древо клеток крови не составляет труда, гораздо сложнее объяснить, как регулируется формирование такого древа. Первым стали изучать процесс, ведущий к появлению зрелых эритроцитов, и здесь удалось достигнуть заметных успехов. Еще в начале нашего столетия возникла идея о том, что в крови есть вещества, регулирующие образование эритроцитов. Поскольку главной функцией эритроцитов является перенос кислорода, казалось логичным, что образование эритроцитов должно быть сопряжено с потребностью в обеспечении организма кислородом.

Прямое доказательство существования в кровотоке фактора, стимулирующего эритропоэз (образование эритроцитов) в ответ на изменения содержания кислорода в окружающей среде и тканях, было получено К. Рейсманном из Школы авиационной медицины воздушных сил США. Рейсманн соединил системы крово-



МАКРОФАГ — «белая» клетка крови, играющая центральную роль в иммунном ответе. Эти подвижные клетки, встречающиеся во многих тканях, поглощают путем фагоцитоза патогенные и другие ненужные организму частицы. Складки клеточной поверхности служат для передвижения клетки, ее распластывания и фагоцитоза. Макро-

фаги относятся к числу клеток, выделяющих гормоны, называемые колониестимулирующими факторами, которые вызывают пролиферацию и созревание клеток крови. Фотография получена Ш. Куан с помощью сканирующего электронного микроскопа в лаборатории авторов; увеличение $\times 9000$.

| ТИПЫ КЛЕТОК КРОВИ | ВРЕМЯ ЖИЗНИ В КРОВотоКЕ | ФУНКЦИЯ |
|---|----------------------------|---|
| ЭРИТРОЦИТЫ  | 120 СУТОК | ПЕРЕНОС КИСЛОРОДА |
| МОНОЦИТЫ  | 3 СУТОК | УЧАСТВУЮТ В ИММУННОЙ ЗАЩИТЕ (ЯВЛЯЮТСЯ ПРЕДШЕСТВЕННИКАМИ МАКРОФАГОВ) |
| НЕЙТРОФИЛЫ  | 7 ЧАСОВ | УЧАСТВУЮТ В ИММУННОЙ ЗАЩИТЕ |
| ЭОЗИНОФИЛЫ  | ? | УЧАСТВУЮТ В ЗАЩИТЕ ОТ ПАРАЗИТИ- ЧЕСКИХ ОРГАНИЗМОВ, В АЛЛЕРГИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ |
| БАЗОФИЛЫ  | ? | УЧАСТВУЮТ В АЛЛЕРГИЧЕСКОЙ И ВОСПАЛИТЕЛЬНОЙ РЕАКЦИИ |
| ТРОМБОЦИТЫ  | 7—8 СУТОК | УЧАСТВУЮТ В СВЕРТЫВАНИИ КРОВИ |
| Т-ЛИМФОЦИТЫ  | ? | УЧАСТВУЮТ В ИММУННОЙ ЗАЩИТЕ (ОБЕСПЕЧИВАЮТ КЛЕТОЧНЫЙ ИММУНИТЕТ) |
| В-ЛИМФОЦИТЫ  | ? | УЧАСТВУЮТ В ИММУННОЙ ЗАЩИТЕ (ЯВЛЯЮТСЯ ПРЕДШЕСТВЕННИКАМИ ПЛАЗМАТИЧЕСКИХ КЛЕТОК, ПРОИЗВОДЯЩИХ АНТИТЕЛА) |

РАЗЛИЧНЫЕ ТИПЫ КЛЕТОК КРОВИ имеют специфические функции. Эритроциты, которые переносят кислород, известны также под названием «красные кровяные клетки», а остальные клетки все вместе называются лейкоцитами, или «белыми клетками». Некоторые моноциты покидают кровяное русло и в тканях претерпевают дальнейшую дифференцировку, становясь макрофагами. Нейтрофилы, эозинофилы и базофилы носят общее название гранулоцитов.

обращения двух крыс и создал для одной из них условия кислородной недостаточности. Стимуляция эритропоэза наблюдалась при этом у обоих животных, что указывало на образование в крови первой крысы фактора, свободно циркулирующего по общей системе кровообращения. Работы Рейссманна и других исследователей открыли дорогу основополагающим экспериментам А. Эрслева из Джефферсоновского медицинского колледжа. Эрслев с коллегами вызывали у

кроликов анемию путем кровопускания. Плазму (бесклеточную жидкую часть крови) анемичных животных вводили нормальным кроликам, и у тех наблюдалась стимуляция эритропоэза.

После исследований Эрслева прояснились многие свойства этого фактора роста эритроцитов. Стало известно, что вещество, стимулирующее эритропоэз, синтезируется почками, циркулирует в крови и выделяется из организма с мочой. Было показано,

что в лабораторных культурах клеток оно стимулирует включение железа в развивающиеся предшественники эритроцитов и стимулирует рост колоний эритроцитов. Но хотя сведений об эффектах гипотетического фактора накопилось немало, никак не удавалось идентифицировать само вещество, главным образом из-за его низкой концентрации в тканевых жидкостях. Лишь в 1977 г. Т. Миякэ и Ю. Голдвассер из Университета в Чикаго выделили это вещество, получившее название эритропоэтина. Для того чтобы получить всего несколько миллиграммов эритропоэтина, пришлось переработать 2500 л мочи человека.

КАК ТОЛЬКО белок был получен в чистом виде, работа пошла гораздо быстрее. В компаниях Amgen и Genetics Institute, Inc. был клонирован ген эритропоэтина. Молекулярная масса очищенного гормона составляет 34 000 дальтонов. Искусственный белок, полученный при помощи биотехнологических методов, обладает всеми свойствами природного эритропоэтина; это недавно было проверено в клинических испытаниях такого эритропоэтина. Дж. Эшбах и Дж. Адамсон из Медицинской школы Вашингтонского университета вводили искусственный гормон больным с тяжелой почечной недостаточностью, которым приходилось делать диализ для очистки крови от токсических веществ и отходов метаболизма.

Благодаря диализу решаются многие проблемы, создаваемые острой почечной недостаточностью, но не исчезает анемия (уменьшение количества циркулирующих в крови эритроцитов), сопровождающая нарушение функций почек. Эта анемия обусловлена низким уровнем эритропоэтина, притом она усугубляется накапливающимися в крови ингибиторами и токсинами, блокирующими действие гормона. Работа Эшбаха и Адамсона показала, что искусственный эритропоэтин преодолевает действие ингибиторов и возвращает к норме число эритроцитов в крови. В испытаниях участвовало более 300 больных, и почти во всех случаях произошло клинически ощутимое усиление эритропоэза.

Потенциальные возможности эритропоэтина не ограничиваются только почечными заболеваниями. Применение гормона радикально скажется на использовании банков крови. Поскольку эритропоэтин теоретически может усиливать образование эритроцитов в десятки раз, то и необходимость в переливании крови многократно снижается. Меньше переливаний крови будет требоваться при

хирургических операциях, так как эритропоэтином можно стимулировать образование собственных эритроцитов до, во время и после операции. Открывается возможность выращивать эритроциты в банках крови, которые благодаря этому станут не только хранилищами, но и производителями крови. Эритропоэтин найдет также широкое применение для восстановления количества эритроцитов в случае рака крови и у боль-

ных различными типами рака, подвергавшихся химиотерапии.

Выяснение действия эритропоэтина было не такой уж простой задачей, но еще труднее оказалось разобраться в регуляторных механизмах, управляющих формированием белых клеток крови. К началу 1960-х годов в многочисленных исследованиях были получены данные о скоростях образования различных лейкоцитов из их общих предшественников. Но факторы,

действующие на эти ряды клеток, оставались неизвестными, что неудивительно — ведь немногим более 20 лет назад не удавалось эффективно выращивать клетки костного мозга в лабораторных культурах. И лишь в 1966 г. ситуация изменилась благодаря открытию, сделанному Д. Плужником и Л. Саксом в Вейцманновском институте в Израиле, а также независимо Т. Брэдли из Мельбурнского университета и Д. Меткалфом из Ин-

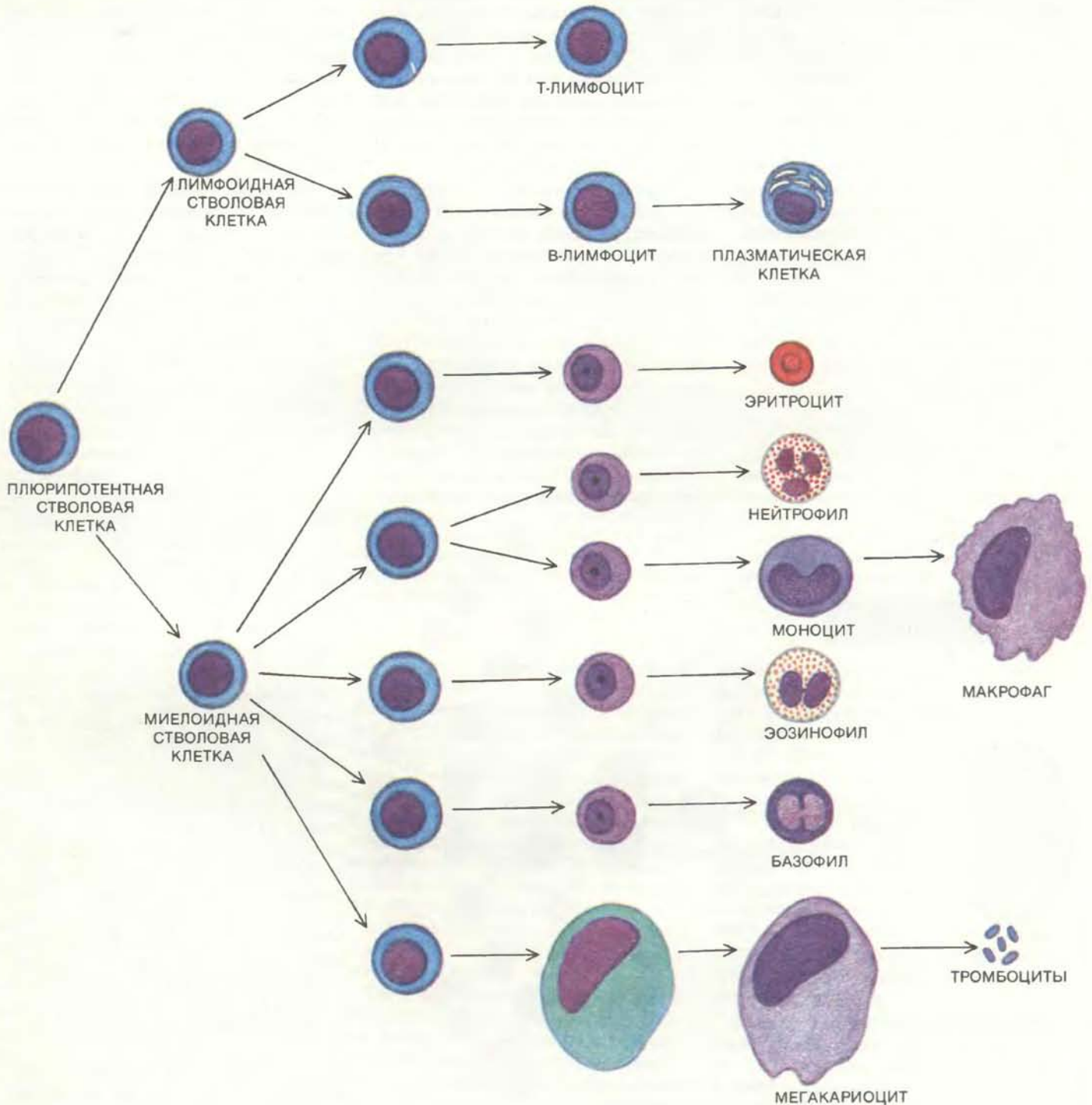


СХЕМА СОЗРЕВАНИЯ КЛЕТОК КРОВИ напоминает генеалогическое древо. Плюрипотентные стволовые клетки — предшественники всех типов зрелых клеток — находятся в костном мозге. Первым этапом созревания является их разделение на два главных ряда: лимфоидный (включаю-

щий лимфоциты) и миелоидный (включающий остальные лейкоциты и эритроциты). Затем под влиянием сигналов, роль которых играют специальные белки, из каждой клетки-предшественника, претерпевающей дифференцировку, развиваются зрелые клетки определенного типа.

ститута медицинских исследований Уолтера и Элизы Холл в Австралии.

Этими исследователями было показано, что в суспензии клеток костного мозга мышей можно вызвать образование колоний зрелых белых клеток крови. Каждая из таких колоний представляла собой клон, т. е. все входящие в ее состав клетки были генетически идентичными потомками одного предшественника. Для образования колоний требовалось присутствие в культуральном сосуде слоя фидерных (питающих) клеток, которые индуцировали и поддерживали колонии. Вначале для создания фидерных слоев использовали суспензии клеток различных типов. Но потом оказалось, что сами клетки и не нужны; достаточно снабжать клетки костного мозга кондиционированной средой, в которой росли фидерные клетки. Это был очень важный факт, поскольку стало ясно, что кондиционированная среда содержит вещества, вызывающие деление и созревание белых клеток крови. Эти вещества в конце концов получили название колониестимулирующих факторов, сокращенно CSF (от англ. colony-stimulating factors).

ЧТО ЖЕ представляют собой CSF и откуда они берутся? Сначала удалось ответить на второй вопрос. Большинство ранних исследований

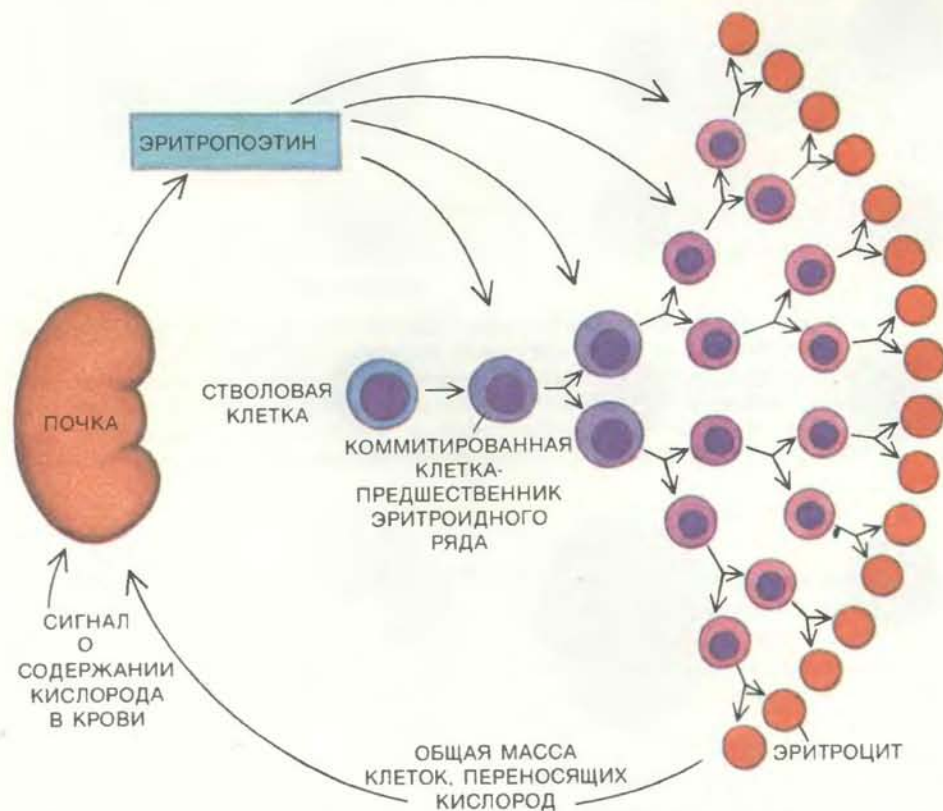
было проведено на клетках костного мозга мышей, но к 1970 г., благодаря усовершенствованию систем культивирования колоний, стало возможным без особого труда выращивать лейкоциты человека. Эти усовершенствования основаны главным образом на работах У. Робинсона из Колорадского университета, Н. Искова из Торонтского университета и П. Червеника из Медицинской школы Питтсбургского университета, которые создали методику выращивания колоний миелоидных клеток человека (ряд клеток крови, включающий эритроциты, моноциты и гранулоциты). Разработанные ими системы культивирования включали фидерные слои, состоящие из лейкоцитов человека, или среду, кондиционированную контактом с этими клетками.

Открытие способности человеческих лейкоцитов выделять CSF возбудило интенсивные поиски «колониестимулирующих клеток» среди клеток периферической крови, которые могли бы быть источником гормонов. Первым результатом таких исследований было установление того факта, что главным источником CSF среди лейкоцитов являются моноциты. Это открытие сделано Червеником и А. Ло Бульо из Университета шт. Огайо, независимо М. Клайном из Медицинской школы Калифорнийского университета в Сан-Франциско,

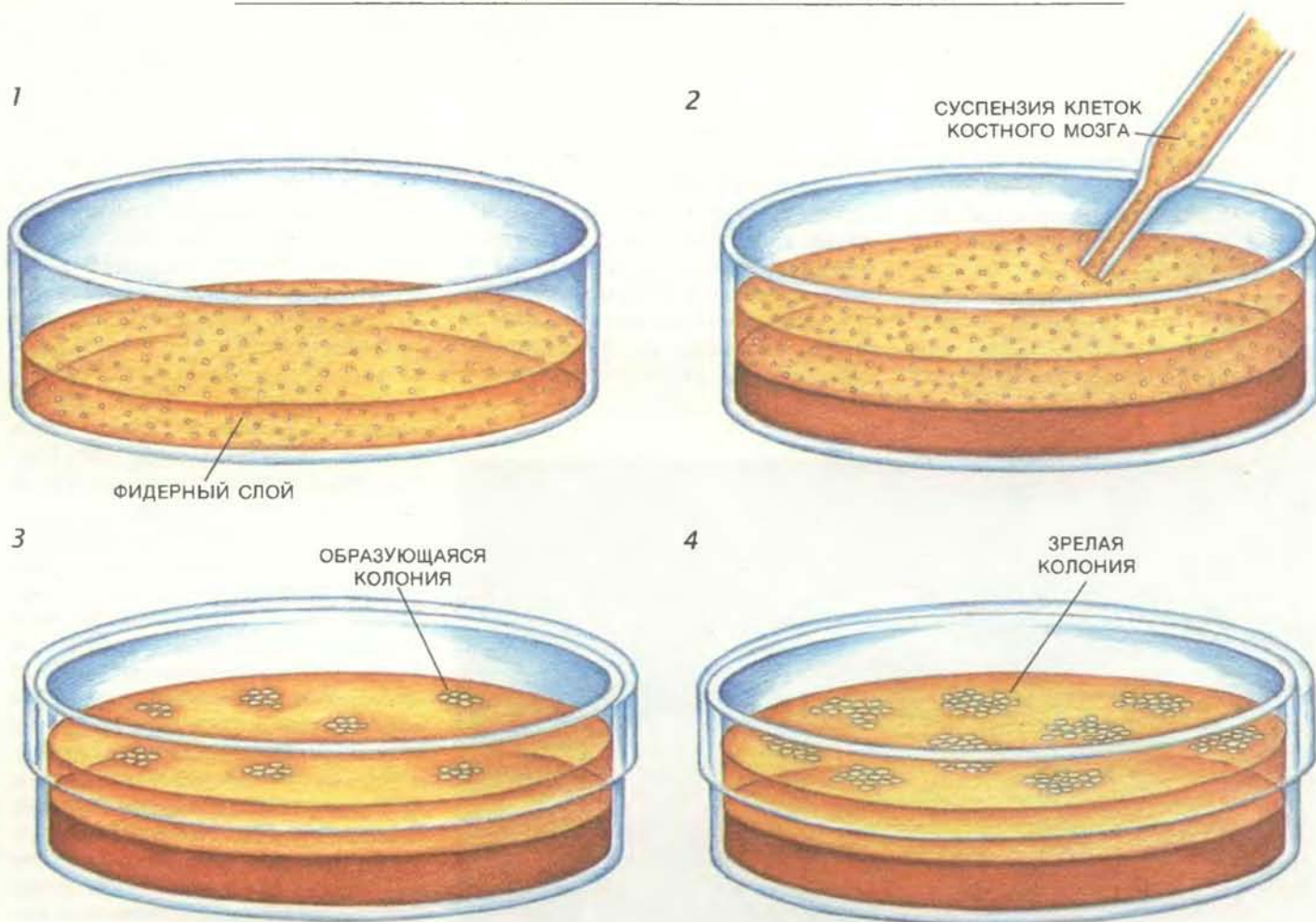
а также одним из авторов этой статьи, а именно Голдом. Позднее мы обнаружили, что макрофаги (потомки моноцитов; эти клетки присутствуют главным образом в тканях, а не в крови) также выделяют CSF. И наконец, совсем недавно показано, что клетки ряда моноцитов и макрофагов производят вещества, стимулирующие выделение CSF из других клеток. Примерами таких веществ могут служить интерлейкин-1 и фактор некроза опухолей (см. статью: Л. Олд, Фактор некроза опухолей. «В мире науки», 1988, № 7). Эти факты дают представление о том, что макрофаги как бы служат стражами, которые в случае вторжения микробов посылают сигналы, вызывающие усиление образования белых клеток крови.

CSF секретируются и другими белыми клетками крови, помимо моноцитов и макрофагов. Как показали дальнейшие исследования, лимфоциты после активации также приобретают способность к выделению CSF. Существуют два класса лимфоцитов — Т- и В-клетки, — каждый из которых имеет множество функций. Некоторые В-лимфоциты претерпевают окончательную дифференцировку, превращаясь в плазматические клетки, продуцирующие в большом количестве антитела. Роль Т-лимфоцитов в организме весьма многообразна: они координируют различные аспекты иммунного ответа. В частности, Т-клетки могут производить и выделять CSF. В присутствии соответствующих антигенов Т-лимфоциты секретируют CSF, вызывающие образование других белых клеток крови.

В 70-е годы некоторые источники CSF выяснились. Но вопрос о том, что из себя представляют сами эти вещества, по-прежнему оставался без ответа. Первые существенные данные были получены при изучении описанной выше колониобразующей системы из костного мозга мышей. В этой системе были обнаружены четыре различных CSF. Один из них, идентифицированный Э. Стэнли из Института медицинских исследований Уолтера и Элизы Холл и Меткалфом, индуцирует образование колоний только ряда моноцитов/макрофагов и в соответствии с этим получил название колониестимулирующий фактор макрофагов (M-CSF). Другой фактор стимулирует колонии моноцитов и гранулоцитов и назван GM-CSF, третий влияет на одни лишь гранулоциты и обозначен G-CSF, а последний вызывает рост колоний, содержащих различные типы клеток, и называется полipotентным колониестимулирующим фактором или интерлейкином-3.



ЭРИТРОПОЭТИН вызывает пролиферацию и созревание эритроцитов. Этот белок секретируется почками в ответ на снижение содержания кислорода в крови. Под влиянием эритропоэтина предшественники эритроцитов специализируются для переноса кислорода: уменьшаются в размерах, синтезируют больше гемоглобина (красный пигмент, связывающий кислород) и теряют ядро.



ЯВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ КОЛОНИЙ под влиянием колониестимулирующих факторов (CSF) позволило идентифицировать эти вещества. В чашку Петри помещают фидерный (питающий) слой, содержащий лейкоциты различных типов в полужидкой среде (1). На них наслаивают суспензию клеток костного мозга, включая стволовые клетки (2).

В ходе инкубации во втором слое образуются колонии белых клеток крови (3). Затем подсчитывают колонии и определяют тип клеток (4). Изменение состава первого слоя приводит к изменению типа образующихся колоний, что указывает на существование различных CSF.

Эти CSF идентифицировались по биологической активности в клеточных культурах. Следующей целью было получение их в чистом виде. Имея очищенный белок, можно клонировать его гены и, введя эти гены в животные или бактериальные клетки, получить данный белок в количестве, достаточном для исследований и клинических испытаний. Первым в высокоочищенной форме был получен M-CSF (этого добился Меткалф с коллегами), но клонирование гена впервые удалось осуществить для GM-CSF. Э. Берджес из Института медицинских исследований Уолтера и Элизы Холл выделил белок из среды, кондиционированной легочной тканью мышей, которым ввели эндотоксин (компонент клеточной стенки некоторых бактерий, вызывающий мощный иммунный ответ). Н. Гоу и Э. Данн (сотрудники того же учреждения) исходя из частичной аминокислотной последовательности этого белка синтезировали кДНК (комплементарную ДНК) и, используя ее в качестве зон-

да, нашли в библиотеке мышиной ДНК ген GM-CSF. Работы с гормоном человека продвигались медленнее, но в конце концов нашей исследовательской группе удалось выделить GM-CSF из среды, кондиционированной клетками определенной линии Т-лимфоцитов человека, трансформированных вирусом HTLV-II (вирус, вызывающий лейкоз у человека). Вслед за этим Г. Уонг и С. Кларк из Института генетики в сотрудничестве с нами разработали новую систему извлечения гена GM-CSF из линии обезьяньих клеток.

Таким образом, GM-CSF — первый гемопоэтический гормон человека, ген которого клонирован, и первый, который удалось получить при помощи технологии рекомбинантной ДНК. Не заставило себя ждать и получение этим способом генов других гемопоэтинов. ЮЧанг Янг из Института генетики и Кларк клонировали последовательности, кодирующие интерлейкин-3. К. Велт и М. Мур из Онкологического института им. Слоа-

на-Кеттеринга совместно с Л. Суза из фирмы Amgen и одновременно С. Нагата из Токийского университета с коллегами проделали то же для G-CSF. Когда шла эта работа, Э. Кавасаки и Д. Марк из компании Cetus Corporation клонировали часть гена M-CSF. Белки, полученные при помощи рекомбинантной ДНК, были проверены на способность стимулировать рост колоний белых клеток крови и каждый из искусственных гормонов проявил специфическую активность, предсказанную на основе изучения соответствующей системы образования колоний.

Клонирование генов CSF человека было, безусловно, важным этапом, но оно не обеспечивало получения прямой информации о функционировании в человеческом организме ни гемопоэтических гормонов, ни соответствующих генов. Однако использование клонированных ДНК в качестве зондов позволило определить хромосомную локализацию генов, кодирующих эти гормоны. Каждый ген

представлен, по-видимому, одной копией. (В клетке может присутствовать множество копий одного и того же гена; целью такой амплификации, возможно, является усиление способности клетки производить продукт данного гена.) Гены GM-CSF и интерлейкина-3 расположены на хромосоме 5 вблизи друг от друга; это позволяет предполагать, что они произошли от общего предкового гена. Интересно, что ген M-CSF (а этот белок не родственен первым двум) также находится на хромосоме 5. Ген

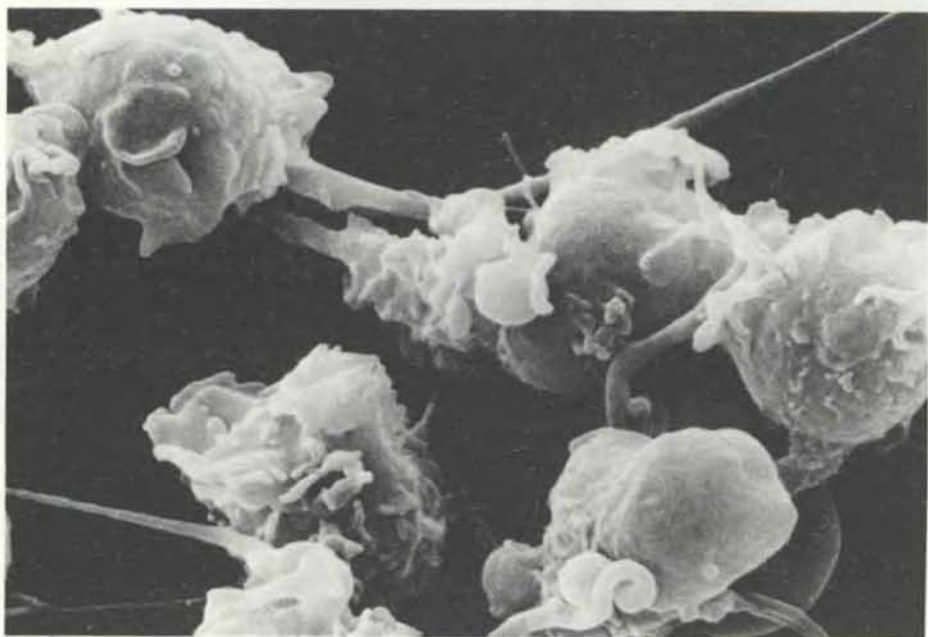
G-CSF, однако, входит в состав хромосомы 17.

КАКИМ образом гены гемопоэтинов «включаются» и «выключаются» в ходе кроветворения? Исследования этого вопроса идут быстро и успешно, и сейчас в общих чертах понятно, как этот процесс в целом регулируется. Некоторые из генов CSF не экспрессируются в обычных условиях и остаются «молчащими» вплоть до воздействия на клетки специфических сигналов. Так, GM-CSF выделяется

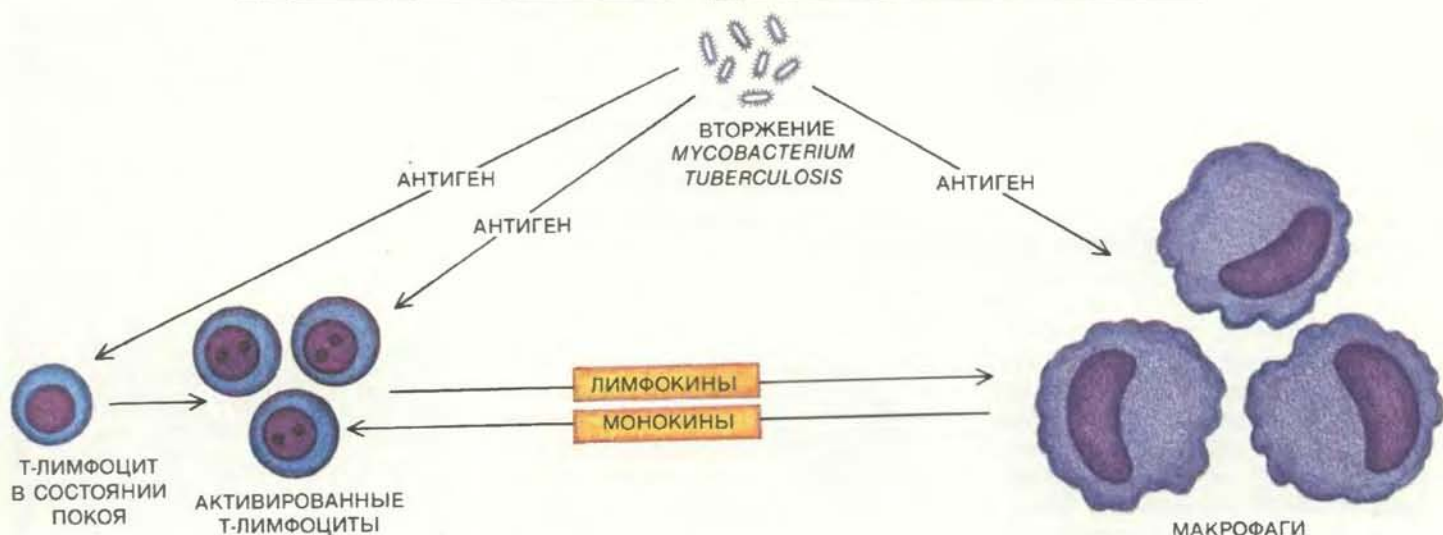
лимфоцитами только после их активации соответствующими антигенами (чужеродными белками). Этот фактор может также производиться фибробластами (клетками соединительной ткани, играющими роль в заживании ран) и клетками эндотелия (внутренней выстилки) кровеносных сосудов в ответ на вещества, выделяемые моноцитами и макрофагами, такими как фактор некроза опухолей и интерлейкин-1. Стимулированные макрофаги также могут синтезировать и секретировать GM-CSF.

Аналогично, ген G-CSF может «включаться» в клетках многих типов в ответ на активирующие сигналы. Этот фактор производится клетками ряда моноцитов/макрофагов в ответ на эндотоксин и фибробластами в ответ на вещества, выделяемые моноцитами и макрофагами. M-CSF также образуется во многих различных клетках, в том числе в макрофагах, в ответ на эндотоксин, GM-CSF и интерлейкин-3. Ген интерлейкина-3 «включается» в лимфоцитах при их активации. Таким образом, под действием межклеточных сигналов гены CSF «пробуждаются» и начинается их экспрессия, т. е. образование соответствующих белков. Эта сеть взаимодействий кажется довольно сложной, но она и на самом деле далеко не проста и пока не расшифрована до конца. Однако то, что уже известно, позволяет очертить основанную на CSF схему формирования ответов иммунной системы на патогены. Центральная роль в этой схеме принадлежит T-лимфоцитам и макрофагам. В ответ на антиген активируется группа T-лимфоцитов, специфичных к данному антигену, и они начинают секретировать GM-CSF и интерлейкин-3. Одновременно макрофаги отвечают на специфические для них стимулы синтезом GM-CSF, G-CSF и M-CSF. Выделяющиеся из макрофагов фактор некроза опухолей и интерлейкин-1 индуцируют образование GM-CSF, G-CSF и M-CSF в окружающей популяции клеток эндотелия и мезенхимы (тип клеток, входящий в состав мышечной, костной и соединительной тканей). В результате появления всего этого набора CSF начинаются пролиферация и созревание тех лейкоцитов, которые требуются для иммунного ответа.

НО ЭТИМ роль колониестимулирующих факторов в функционировании иммунной системы не исчерпывается. Эти вещества первоначально были идентифицированы по способности стимулировать рост и созревание стволовых клеток и клеток предшественников. Судя по всему,



АКТИВАЦИЯ ГРАНУЛОЦИТОВ колониестимулирующим фактором гранулоцитов/макрофагов (GM-CSF). *Вверху:* гранулоциты в состоянии покоя (дискообразная клетка в правом нижнем углу — эритроцит). *Внизу:* гранулоциты активировались под действием GM-CSF. Длинные выросты, называемые филоподиями, позволяют клетке прикрепляться к поверхности и контактировать с патогенными частицами. (Микрофотографии получены Дж. Гарнером и Л. Хэнкоком-младшим из фирмы Baxter Healthcare Corporation; увеличение $\times 3000$.)



они могут оказывать заметное действие и на зрелые белые клетки крови. Нейтрофилы, активированные вторгшимися микроорганизмами, синтезируют и выделяют высокотоксичные соединения кислорода, которые могут убивать проникших в организм микробов. Р. Вейсбарт из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе (совместно с нашей группой) показал, что GM-CSF служит стимулятором для нейтрофилов, делая их ответ более мощным. GM-CSF сам по себе не индуцирует всплеск уровня окислительных соединений, но заметно усиливает выделение оксидантов нейтрофилами в ответ на инициирующие это агенты, такие как белки бактерий.

Функцию нейтрофилов можно описать двумя словами: «найти и уничтожить». Чтобы их оружие было эффективно против вторгшихся микроорганизмов, в первую очередь надо обнаружить эти патогены. И GM-CSF, и G-CSF усиливают направленное перемещение нейтрофилов к агентам, инициирующим их деятельность. Кроме того, эти колониестимулирующие факторы увеличивают способность нейтрофилов поглощать микроорганизмы. Механизм этого явления не вполне ясен. Вейсбарт с сотрудниками показали, что GM-CSF регулирует число и сродство имеющихся на поверхности нейтрофилов рецепторов, узнающих бактериальные продукты. Если это так, то, когда гранулоциты анализируют окружающую среду, колониестимулирующие факторы, вероятно, усиливают их способность отыскивать патогены.

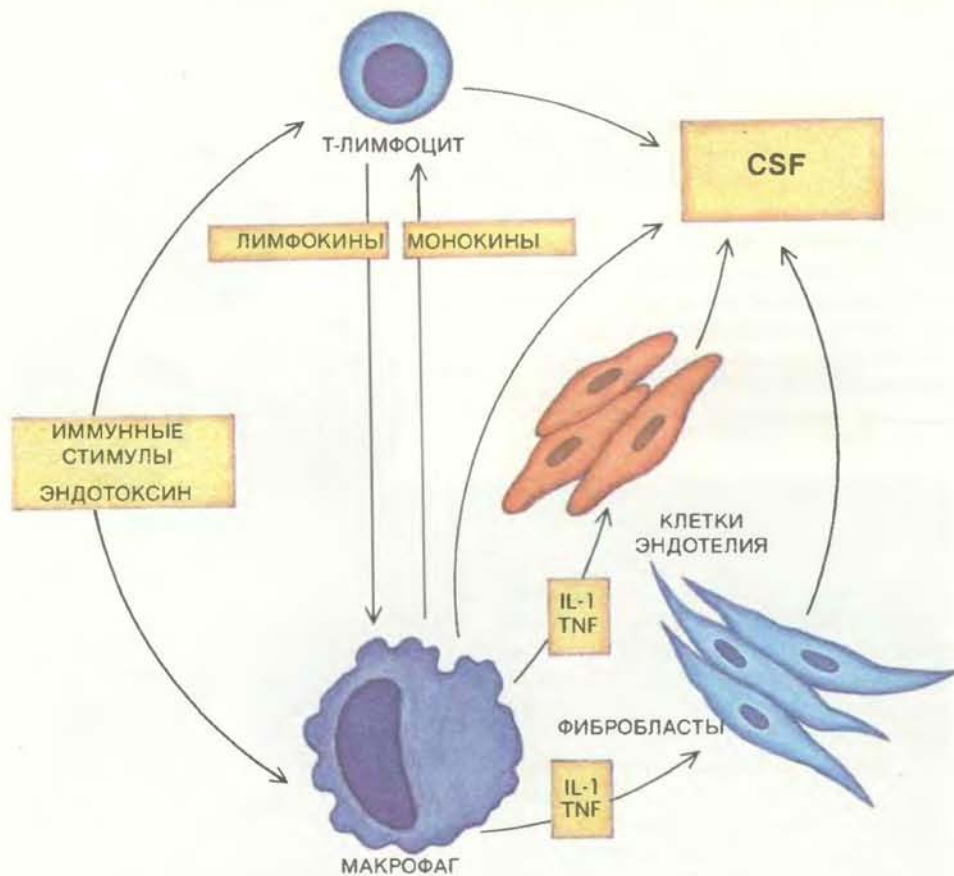
Способность нейтрофилов «найти и уничтожить» играет важнейшую роль в защите организма, обеспечиваемой иммунной системой. Действительно, иммунная защита основана на способности зрелых эффекторных клеток — таких, как нейтрофилы и

макрофаги — убивать вторгшиеся микроорганизмы. Когда костный мозг не может производить достаточное количество этих клеток, защита организма ухудшается. Ответ эффекторных клеток зависит также от участия Т-лимфоцитов. Когда Т-клеток слишком мало или их функции ослаблены (как в случае СПИДа или далеко зашедшего туберкулеза), макрофаги не захватывают патогены. С клинической точки зрения такая дисфункция макрофагов поистине катастрофична, поэтому колониестимулирующие факторы, которые могут ее скорректировать, обладают огромным терапевтическим потенциалом.

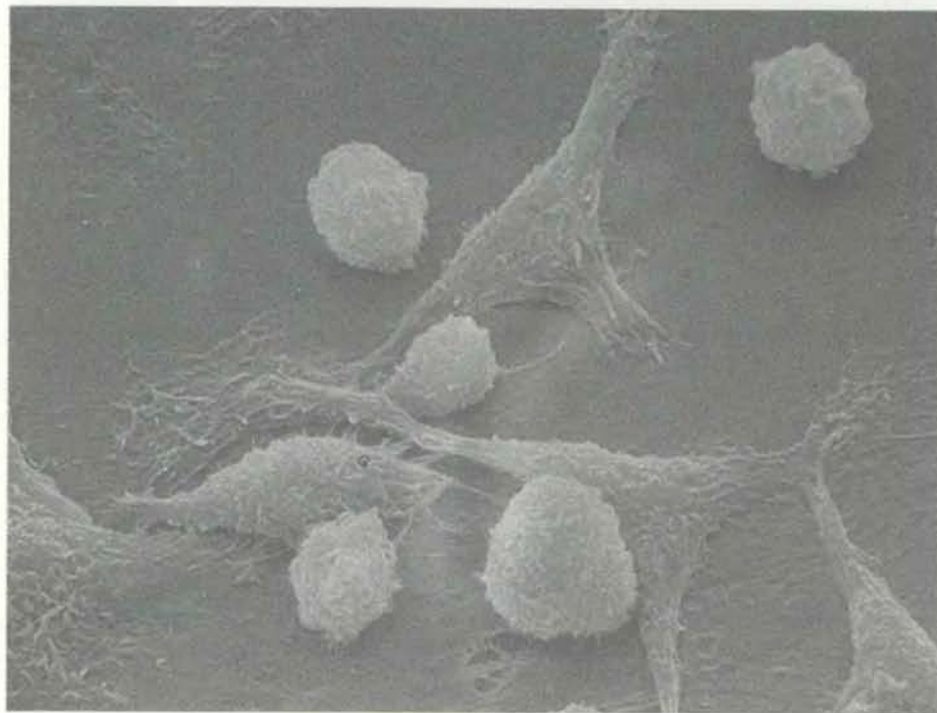
Отчасти этот потенциал уже реализуется. На лабораторных животных исследовалось действие некоторых колониестимулирующих факторов, полученных с помощью рекомбинантной ДНК. Результаты проведенных испытаний показали, что GM-CSF и G-CSF относительно нетоксичны и эффективно стимулируют пролиферацию защитных клеток организма. Человеческий G-CSF увеличивал образование нейтрофилов и у мышей, и у обезьян, причем у последних производство нейтрофилов возросло в 50 раз практически без побочных эффектов. Человеческий GM-CSF не действовал на мышей, но у обезьян он стимулировал образование нейтрофилов, эозинофилов и моноцитов. Введение обезьянам интерлейкина-3 в отдельности вызывает лишь умеренное увеличение количества циркулирующих белых клеток крови, но в комбинации с GM-CSF интерлейкин-3 оказывает мощное стимулирующее действие на костный мозг и резко усиливает образование лейкоцитов.

До сих пор проведено лишь несколько испытаний колониестимулирующих факторов, полученных биотехнологическим путем, на человеке, но полученные результаты в основ-

МАКРОФАГИ АКТИВИРУЮТСЯ, взаимодействуя с Т-лимфоцитами. Когда патогенный микроб, например *Mycobacterium tuberculosis* (возбудитель туберкулеза), проникает в организм, его антигены активируют специфические к данному антигену Т-клетки. Эти Т-клетки начинают выделять вещества, получившие название лимфокинов, которые побуждают макрофаги искать и поглощать микробов. К числу лимфокинов относятся GM-CSF, интерлейкин-3, интерферон. Макрофаги в свою очередь выделяют белки, называемые соответственно монокинами, включая интерлейкин-1, которыми активируются лимфоциты.



КОЛОНИЕСТИМУЛИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ производятся и выделяются клетками различных типов в ответ на присутствие в организме патогенов. Иммуные стимулы (антигены) побуждают Т-клетки выделять CSF. Эндотоксин (компонент клеточной стенки некоторых бактерий) аналогично влияет на макрофаги. Кроме того, макрофаги секретируют вещества (IL-1 — интерлейкин-1, TNF — фактор некроза опухолей), вызывающие выделение CSF из клеток эндотелия, выстилающих изнутри кровеносные сосуды, и фибробластов (клеток соединительной ткани), участвующих в заживании ран.



МАКРОФАГИ мыши (уплощенные клетки неправильной формы) атакуют мышинные опухолевые клетки (округлые). Макрофаги не поглощают опухолевые клетки, как они это делают с бактериями, а убивают их выделяемыми цитотоксическими веществами (в их числе фактор некроза опухолей) в процессе межклеточного контакта, пока мало изученного. (Микрофотография получена Ш. Куан).

ном подтвердили многообещающие перспективы, возникшие в опытах на животных. Р. Мицуюсу в сотрудничестве с нами и Дж. Группманом из Больницы дьякониц в Новой Англии провел первую и вторую фазы клинических испытаний (т. е. проверку безопасности и эффективности) GM-CSF на больных СПИДом с характерным для этого заболевания снижением числа белых клеток крови. Эти начальные испытания показали, что GM-CSF хорошо переносится организмом и вызывает повышение содержания в крови нейтрофилов, моноцитов и эозинофилов. Исследовалось также действие GM-CSF для лечения рака, предлейкозных состояний и апластической анемии (анемии, обусловленной нарушением функций костного мозга).

ДРУГИЕ колониестимулирующие факторы изучены не столь подробно, как GM-CSF, но это уже вопрос времени. Дж. Габрилов и ее коллеги в Онкологическом институте им. Слоана-Кеттеринга вводили G-CSF больным раком мочевого пузыря после комбинированной химиотерапии, которая часто приводит к супрессии (подавлению функций) костного мозга и уменьшению количества лейкоцитов в крови. Гормон, обладая незначительными побочными эффектами, достоверно стимулировал образование нейтрофилов в костном мозге и снижал супрессию костного мозга. M-CSF также оказался нетоксичным для обезьян и человека, но он не прошел еще достаточных клинических испытаний. Клинические испытания интерлейкина-3 пока не проводились.

Результаты осуществленных к настоящему времени клинических испытаний позволяют надеяться, что колониестимулирующие факторы помогут лечить СПИД и лейкопению (понижение числа лейкоцитов в крови), возникающую в результате химиотерапии рака. Поскольку эти вещества способны увеличивать число и активность защитных клеток организма, намечаются перспективы их использования и в других областях медицины. Так, в случае пересадки костного мозга, — сложной процедуры, требующей длительной госпитализации не только реципиента, но и донора, — применение колониестимулирующих факторов позволит сократить срок пребывания больного в клинике до недели, брать у донора меньше ткани и делать это амбулаторно.

Большинство случаев применения колониестимулирующих факторов, которые мы здесь рассматривали, направлено на укрепление ослабленной

иммунной системы: СПИД, химиотерапия рака или апластическая анемия. Однако более радикальным нововведением было бы использование CSF в таких ситуациях, когда необходимо поддержать нормальную иммунную систему. В будущем представляется возможным бороться со множеством инфекций путем повышения количества и активности защитных клеток организма. Лечению паразитарных заболеваний тоже могут отчасти способствовать CSF, регулирующие число эозинофилов. Некоторые экспериментальные подходы в лечении рака включают мечение опухолевых клеток антителами, что делает их мишенями для моноцитов и нейтрофилов. И здесь результат может быть усилен CSF, увеличивающими количество и активность эффекторных клеток.

Уникальность колониестимулиру-

ющих факторов в медицинской практике состоит в их способности увеличивать защитные силы больного. До сих пор медицина располагала лишь непрямыми способами усиления защитных механизмов организма (например, улучшение питания) и специфическими, направленными против определенного патогена (например, иммунизация). Разработано множество средств борьбы с патогенными организмами, в том числе такие действенные, как антибиотики. Дальнейшие исследования, несомненно, откроют новые и более эффективные пути подавления метаболизма патогенных организмов. Тем не менее CSF дают врачам новый подход, основанный на усилении способности самого организма бороться против микробов и даже против рака.

кого «импульса». Поэтому фирма избегает более сложных технических решений, связанных с обеспечением радиотелефонной связи через спутники, что потребовало бы более емкого информационного потока. (В мае текущего года создан консорциум American Mobile Satellite, который планирует в 1990-х годах развернуть систему радиотелефонной спутниковой связи.)

Фирма Geostar планирует запустить в 1990 г. свой геостационарный спутник, который позволит устанавливать местоположение объектов на основе синхронизации его сигналов с точностью до 50 м. По прогнозам фирмы, повышенная точность даст возможность расширить сферу услуг, например можно будет определять местоположение газовых и нефтяных буровых платформ. Этот спутник позволит также наладить двустороннюю связь между передвижными терминалами и станциями Geostar. До тех пор фирма будет посылать сообщения на свои передвижные терминалы и станции по каналам существующих спутниковых радиосистем, которые функционируют только в некоторых крупных городских центрах. По словам ее представителя Т.С.Честона, решение временно использовать эти односторонние системы связи основано на «графике запусков искусственных спутников и деловых соображениях». Двусторонние средства связи потребляют гораздо больше энергии, поэтому и проблема их включения в спутниковую систему гораздо более серьезная.

Планы фирмы Geostar открывают определенные возможности и для ее главного конкурента, фирмы Omnipet в Лос-Анджелесе. Очевидно, желая опередить соперника, фирма готова предложить потребителю как услуги по определению местоположения объектов с использованием системы LORAN-C, так и двустороннюю связь. Представители Omnipet утверждают, что министерство энергетики США уже провело успешные испытания ее системы радиослежения за транспортировкой опасных грузов, например радиоактивных отходов. К маю текущего года фирма получила от Федеральной комиссии связи США пока лишь временное разрешение на эксплуатацию своей системы, однако в ближайшие месяцы она надеется добиться постоянного разрешения. В отличие от Geostar эта фирма ориентирована на спутниковый вариант LORAN-C для определения местоположения объектов, а не на потенциально более точную систему синхронизации спутниковых сигналов. Будущее покажет, насколько велик спрос на обе эти системы.

Наука и общество

Послания свыше

В НАСТОЯЩЕЕ время две американские компании конкурируют на потенциально выгодном рынке спутниковых систем, которые могут осуществлять радиослежение за железнодорожным и грузовым транспортом и поддерживать с ним связь.

В прошлом году фирма Geostar Corporation (г. Вашингтон, округ Колумбия) стала выпускать систему, оснащенную миниатюрным пультом и переносным передатчиком, с помощью которой через спутник можно передавать короткие сообщения на станции Geostar, расположенные в разных частях света. Эти сообщения вместе с сигналом, определяющим местоположение передатчика, затем передаются по телефонным каналам абоненту, например грузоотправителю фруктов, которому нужно знать, вовремя ли ему поступит груз. Стандартные компьютерные программы позволяют воспроизводить на карте абонентского терминала местоположение данного транспортного средства.

До недавнего времени передача таких сообщений занимала один — два часа, поскольку приходилось дожидаться, пока принявший их спутник, находящийся на околоземной орбите, войдет в зону связи с передатчиками указанной фирмы. Теперь же сигналы, посылаемые с передвижных терминалов, расположенных практически по всему континенту, могут в считанные минуты ретранслироваться

через новый геостационарный спутник, находящийся над Северной Америкой и являющийся частью глобальной системы радиосвязи. Аналогичный спутник, запуск которого запланирован на сентябрь текущего года, будет обслуживать также территорию Мексики и стран Карибского бассейна.

В настоящее время Geostar осуществляет радиослежение за своими передвижными установками в Северной Америке через систему LORAN-C береговой охраны США. Низкочастотные сигналы, посылаемые со станций этой системы, дают возможность с помощью специального приемника, встроенного в передвижную установку, определять ее положение с точностью до полутора километров. Затем информация о местоположении объекта в виде кодированного сигнала автоматически передается на спутник. Несколько автомобильных компаний уже проверили эффективность системы радиослежения за принадлежащими им грузовиками. По прогнозам фирмы Geostar, появление карманных передатчиков позволит ей через свои системы определять местоположение любых объектов: от грузового и железнодорожного транспорта до туристов с рюкзаками за спиной и юнцов, гоняющих по дорогам на своих или чужих автомобилях.

Сейчас система Geostar может обходиться относительно компактными и маломощными передатчиками, поскольку они оперируют небольшими количествами данных, закодированных в единый сигнал в виде корот-

Суперконтинентальный цикл

На протяжении геологической истории Земли континенты неоднократно соединялись, образуя единый суперконтинент, который позже снова раскалывался на части. Этот процесс, по-видимому, имеет периодический характер; он влияет на геологическое строение и климат Земли и тем самым на

эволюцию жизни

Р. ДАМИАН НАНС, ТОМАС Р. УОРСЛИ,

ДЖУДИТ Б. МУДИ

СЛУЧАЙНО или закономерно протекают процессы тектоники плит? В теории тектоники плит жесткий наружный слой Земли, так называемая литосфера, моделируется системой плит, перемещающихся относительно друг друга со скоростями в среднем около нескольких сантиметров в год. Плиты плавают на горячем, пластичном слое мантии Земли, названном астеносферой. Движения плит определяются в основном процессом, известным под названием спрединга морского дна, при котором расплавленный материал поднимается из астеносферы через литосферу в районе океанических горных хребтов и, охладившись, превращается в кору, формирующую океаническое дно. Новая океаническая кора равномерно движется от срединно-океанических хребтов в сторону континентов. Если океаническое дно и континент являются частями одной и той же литосферной плиты, то континент, как на конвейерной ленте, перемещается вместе с океанической корой. Возможен и другой случай, когда океаническая кора погружается под континент, присоединяясь к мантии; этот процесс называется субдукцией.

Обычно считают, что континенты — это пассивные геологические образования, перемещающиеся в ходе спрединга морского дна. Однако нельзя сказать, что процессы тектоники плит оставляют континенты совершенно неизменными. Отдельные блоки континентальной коры сталкиваются и срастаются, образуя новые, более крупные континенты. И наоборот, континенты могут раскалываться вдоль глубоких рифтов, которые постепенно превращаются в новые океанические бассейны. По имеющимся данным, на протяжении истории Земли континенты несколько раз подвергались этим преобразованиям: большинство континентов или все они объединялись в единый суперконтинент, который позже расщеплялся на множество континентальных

осколков, а те в дальнейшем снова воссоединялись, образуя целостную континентальную структуру.

Что же лежит в основе образования и разрушения суперконтинентов? Можно ли сказать, что они возникают и исчезают просто из-за случайного перемещения континентальных плит относительно друг друга? Основываясь на различных закономерностях, зафиксированных в геологической летописи, мы пришли к выводу, что здесь действует в основе своей упорядоченный и, более того, периодический процесс. Развивая идеи Д. Андерсона из Калифорнийского технологического института и опираясь на наблюдения голландского геолога Дж. Умгрове, предшествовавшие современной теории (см. его монографию J. Umgrove, *The Pulse of the Earth*, вышедшую в 1947 г.), мы разработали теоретическую модель, которая описывает основные механизмы «суперконтинентального цикла».

Главная движущая сила в нашей модели связана с тепловыми процессами. Принято считать, что литосферные плиты движутся благодаря тепловой конвекции в нижележащей мантии, причем источником энергии является распад радиоактивных элементов. Естественная радиоактивность (сопровождающаяся выделением тепла) — непрерывный процесс, скорость которого монотонно убывает со временем, поэтому само по себе тепловыделение не может служить объяснением чередования соединений и расщеплений континентов.

Главным фактором, как мы полагаем, является не само выделение тепла, а особенность его распространения через земную кору и ухода в окружающее пространство. Континентальная кора проводит тепло вдвое менее эффективно, чем океаническая. Следовательно, как указывал Андерсон, если некоторую часть земной поверхности занимает суперконтинент, под ним должно накапливаться мантийное тепло; это приводит к возды-

манию суперконтинента и предопределяет в конечном счете его разрушение. После раздвижения осколков суперконтинента тепло уходит через образующиеся между ними новые океанические бассейны.

Другими словами, поверхность Земли можно сравнить с кофейным перколятором: тепло непрерывно подводится к земной поверхности, но вследствие малой теплопроводности континентов оно «прорывается» через поверхность лишь в отдельные сравнительно короткие отрезки времени.

Эти гипотезы и вытекающие из них следствия позволяют связать между собой ряд наблюдений из очень далеких разделов геологии. Например, представляется возможным объяснить временную зависимость экстремальных изменений уровня моря, происходивших в течение последних 570 млн. лет. Наша модель также объясняет и связывает многие другие события последних 2500 млн. лет, такие, как интенсивное горообразование, наступление ледников и изменения в эволюции жизни. По нашему мнению, суперконтинентальный цикл является главным динамическим процессом, который дал толчок многим наиболее важным явлениям в истории Земли.

Раскрытие океанов

Наша модель основана на описании движений плит, известном как цикл Уилсона. Внешнее проявление этого цикла, названного по имени Дж. Уилсона из Научного центра Онтарио, состоит в том, что континенты раскалываются, образуя океанические бассейны, после чего через какое-то время бассейны закрываются и континенты объединяются. На первой стадии цикла Уилсона в недрах континента образуются «горячие точки» вулканов; со временем они соединяются в рифтовые долины, вдоль которых в конце концов и происходит

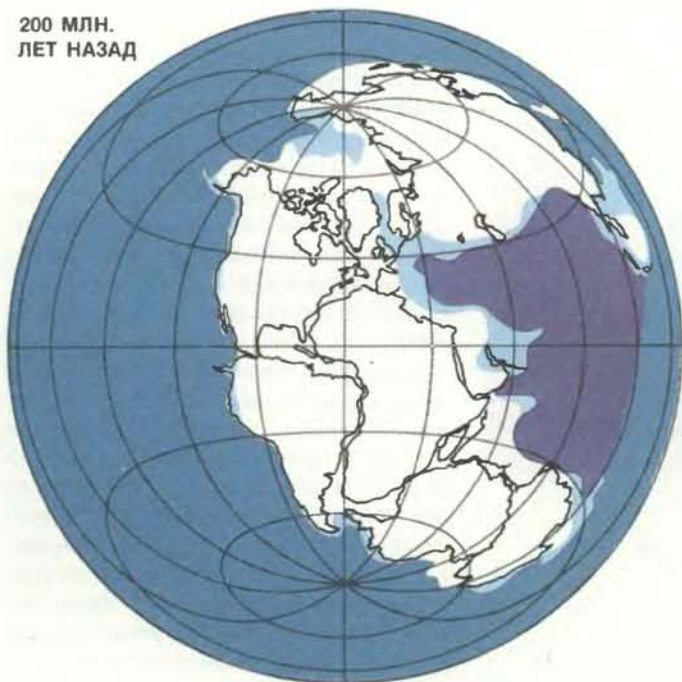
раскалывание континента. Рифтовые долины разрастаются, давая место новому океану, и через рифты горячее мантийное вещество поступает к поверхности, формируя морское дно. По мере дальнейшего поступления из

недр мантийного материала континентальные осколки раздвигаются, сползая с воздымающихся «центров спрединга».

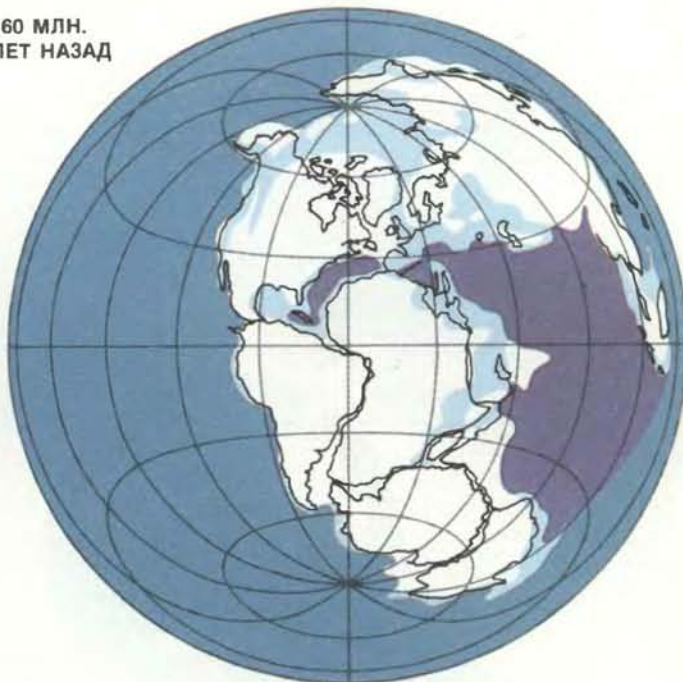
С течением времени морское дно стареет, охлаждается, уплотняется и

опускается вниз, в результате чего увеличивается глубина океана. Наконец, спустя примерно 200 млн. лет после образования первого рифта самая древняя часть нового океанического дна (примыкающая к континен-

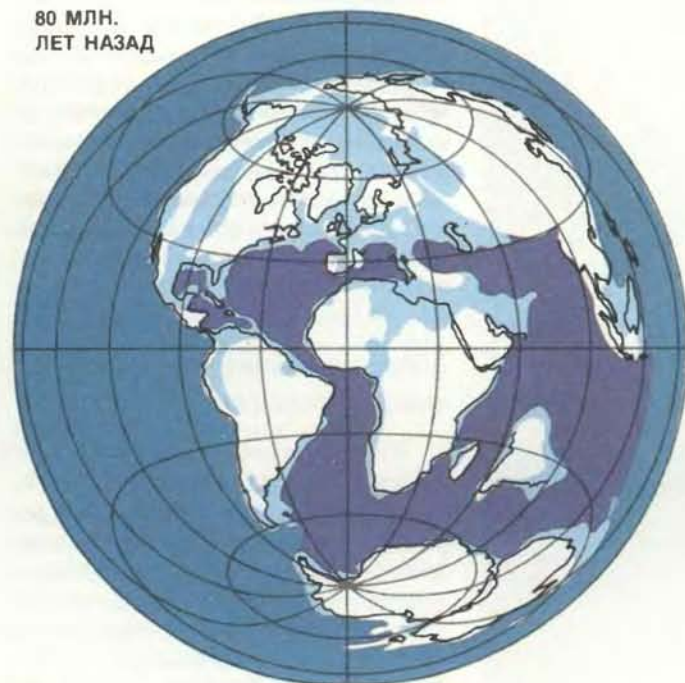
200 МЛН.
ЛЕТ НАЗАД



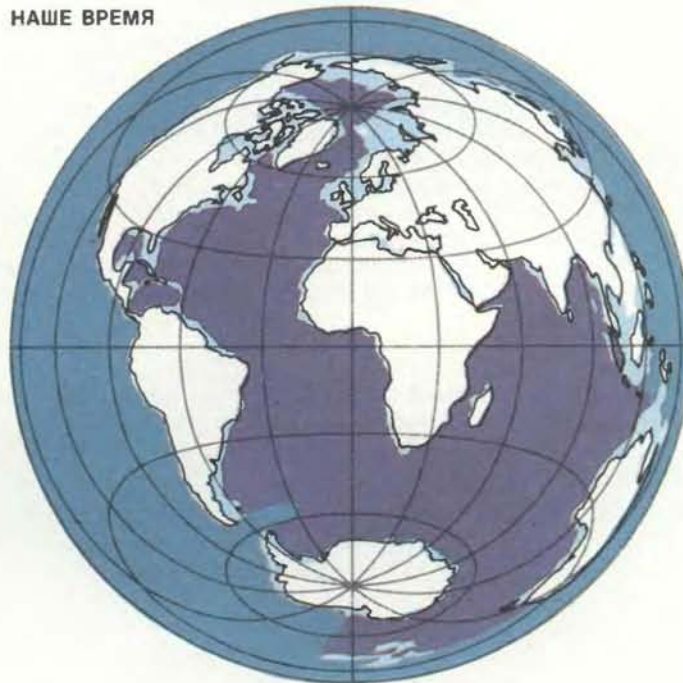
160 МЛН.
ЛЕТ НАЗАД



80 МЛН.
ЛЕТ НАЗАД



НАШЕ ВРЕМЯ



■ БАССЕЙН ТИХО-ОКЕАНСКОГО ТИПА

■ БАССЕЙН АТЛАНТИЧЕСКОГО ТИПА

■ ЗАТОПЛЕННЫЙ КОНТИНЕНТ

РАСКОЛ ПАНГЕИ — суперконтинента, сформировавшегося около 300 млн. лет назад, — определил дальнейший ход геологической истории Земли. Приблизительно 200 млн. лет назад накопившееся под суперконтинентом тепло прорвалось через рифты, которые в конце концов превратились в океаны. Разрастание этих мелководных океанов за счет сокращения более древнего и глубокого суперконтинента привело к повышению уровня моря и частичному затоплению континентов. Уровень моря поднялся до наивысшей отметки около 80 млн. лет назад и затем стал пони-

жаться, по мере того как новые океаны старели и углублялись. Согласно гипотезе авторов, Пангея — это лишь последний из ряда суперконтинентов, которые раскалывались и восстанавливались на протяжении последних 2600 млн. лет; такой суперконтинентальный цикл формировал геологическое строение и климат Земли и воздействовал на биологическую эволюцию. Приведенные карты основаны на работе А. Смита из Кембриджского университета и Дж. Брайдена из Университета Лидса.

тальным осколком) становится настолько плотной, что погружается под континентальную кору — начинается процесс субдукции. В дальнейшем этот процесс приводит к закрытию океана и сближению континентов. В конечном счете континенты сталкиваются и воссоединяются, а возникающие при этом силы сжатия порождают горные сооружения.

«Примеряя» циклы Уилсона к конкретной обстановке, мы обнаруживаем поразительное различие в эволюции континентальных окраин, окружающих Северную Атлантику, и окраин Тихого океана. Окраины Северной Атлантики в течение последнего миллиарда лет «прошли» через несколько циклов Уилсона, в то время как области, окаймляющие Тихий

океан, очевидно, не испытали ни одного цикла. Другими словами, там, где сейчас находится Северная Атлантика, океаны неоднократно раскрывались и закрывались, в то время как тихоокеанский бассейн неизменно оставался единым океаном.

Таким образом, в нашей модели Тихий океан — это остаток океанической полусферы, окружавшей всякое новое суперконтинентальное образование. В области же современной Северной Атлантики каждый цикл Уилсона составлял часть процессов разрушения и восстановления суперконтинента. Из этого следует, что в будущем Атлантический океан, вероятно, снова закроется, и это приведет к восстановлению суперконтинента, окруженного единым океаном.

В наше время кора тихоокеанского дна поддвигается в процессе субдукции под все окружающие этот океан континенты, а дно Атлантического океана упирается в соседние континентальные блоки. Согласно нашей теории, это означает, что спустя 200 млн. лет после последнего разрушения суперконтинента Атлантический океан все еще находится в фазе раздвижения. А. Вегенер, основатель теории дрейфа континентов, назвал этот суперконтинент Пангея, что означает «вся Земля» (см. Robert S. Dietz, John C. Holden. The Breakup of Pangaea, "Scientific American", October 1970). Вскоре (по меркам геологического времени) кора Атлантического океана состарится и уплотнится и в результате начнет погружаться под соседние континенты, что приведет в конце концов к закрытию Атлантического бассейна.



УРОВЕНЬ МОРЯ относительно континентов зависит от нескольких факторов. Один из них — возраст морского дна, которое образуется при подъеме горячего материала из мантии Земли через срединно-океанические «центры спрединга» (а). По мере разрастания морское дно охлаждается, становится более плотным и опускается; поэтому с увеличением среднего возраста Мирового океана его глубина возрастает и уровень моря снижается. Накопление тепла под стабильной континентальной корой (b) сказывается на уровне моря вследствие поднятия континента. Уровень моря также изменяется при сжатии (c) или растяжении (не показано) континентов. Общая площадь Мирового океана при сжатии континентов увеличивается, но объем воды при этом не изменяется — в результате уровень моря падает.

Удивительная периодичность

Второе основное положение нашей гипотезы суперконтинентального цикла связано с временной шкалой различных эпох горообразования и развития рифтов. Возрасты горных сооружений, образовавшихся под действием сил сжатия при столкновении континентов, обнаруживают поразительную периодичность. Горообразование этого типа, отличавшееся высокой интенсивностью, происходило в нескольких районах мира в течение шести отдельных периодов. Середины этих периодов приблизительно падают на времена 2600, 2100, между 1800 и 1600, 1100, 650 и 250 млн. лет назад. Интервалы между приведенными значениями указывают на хорошо выраженную периодичность: длительность каждого периода интенсивного горообразования за счет сжатия

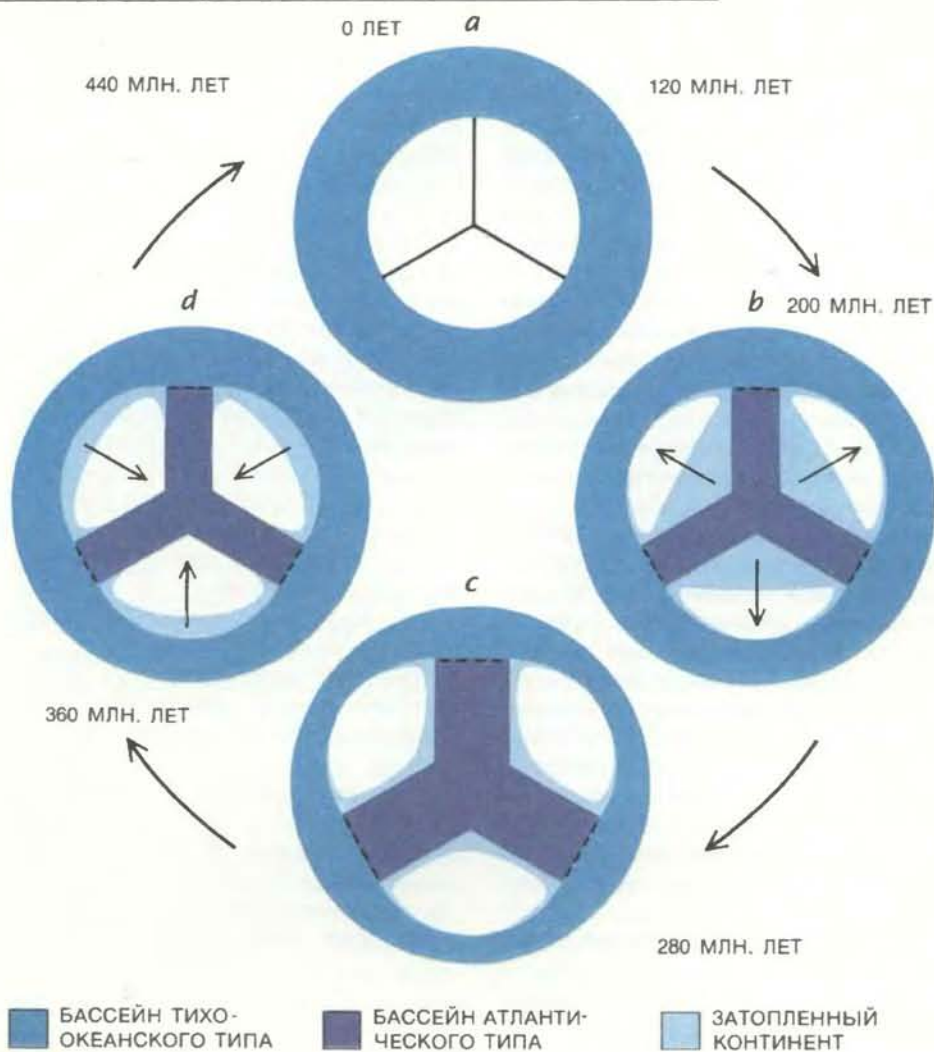
составляла примерно 400—500 млн. лет.

Более того, приблизительно через 100 млн. лет после каждого из этих периодов наступала эпоха развития рифта — рифтогенеза. Возрасты большого числа вынесенных из мантии пород группируются, образуя на шкале времени отрезки со средними значениями 2500, 2000, 1700—1500, 1000 и 600 млн. лет. Период горообразования, протекавший около 250 млн. лет назад, сменился, конечно, рифтогенезом и последовавшим затем разрушением Пангеи.

Описанные периодичности свидетельствуют о том, что эволюция суперконтинента носит циклический характер с периодом около 500 млн. лет. Изучая эти и другие геологические данные и учитывая такие факторы, как наблюдаемая скорость спрединга в современных океанах, мы более точно оценили длительность процессов в суперконтинентальном цикле. Согласно нашим расчетам, после начала раскола суперконтинента, — скорее всего, примерно через 40 млн. лет после начала рифтогенеза — должно пройти около 160 млн. лет, прежде чем континентальные осколки максимально отдалятся друг от друга и в новых океанах начнется процесс субдукции. После того как континенты начинают двигаться навстречу друг другу, проходит еще около 160 млн. лет и континенты вновь объединяются в суперконтинент. Последний существует в течение 80 млн. лет, пока под ним не накопится достаточное количество тепла, чтобы зародился рифт. Спустя 40 млн. лет рифтогенез приводит к новому расколу суперконтинента, отделенному во времени от предыдущего 440 млн. лет.

Изменение уровня моря

Какие данные можно использовать для проверки реальности описанного выше суперконтинентального цикла? Такой цикл, вероятно, должен отражаться на изменениях уровня моря, которые для последних 570 млн. лет хорошо документированы в геологической летописи. Если количество воды в Мировом океане считать неизменным, то уровень моря (относительно континентальной массы) в основном определяется двумя факторами: полным объемом мирового океанического бассейна, частично зависящим от средней глубины океана, и относительной высотой континентов. Суперконтинентальный цикл включает в себя образование океанических бассейнов, а также поднятие континентов за счет разогрева; таким



СУПЕРКОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ ЦИКЛ, изображенный схематически. Суперконтинент (a) сохраняет устойчивость в течение приблизительно 80 млн. лет (по прошествии которых накопившееся тепло вызывает зарождение рифтов) и затем продолжает существовать еще около 40 млн. лет, после чего раскалывается на части. Через 160 млн. лет дрейфующие континенты (b) максимально удаляются друг от друга (c). Позже они начинают двигаться навстречу друг другу (d) и в конце концов суперконтинент восстанавливается (a). Весь цикл длится около 440 млн. лет.

образом, оба вышеуказанных фактора находятся от него в сильной зависимости.

Когда материал, слагающий океаническое дно, в процессе спрединга удаляется от срединно-океанических хребтов, он охлаждается и погружается с такой скоростью, что глубина океана возрастает пропорционально квадратному корню из возраста океанического дна. Сотрудники Скриппсовского океанографического института В. Бергер и Э. Уинтерер рассчитали изменение среднего возраста дна Мирового океана в процессе разрушения суперконтинента. До раскола суперконтинента средний возраст океана не должен изменяться, так как в глобальном океане, окружающем суперконтинент, новое морское дно образуется примерно с той же скоростью, с которой старое морское дно исчезает под континентами в процес-

се субдукции. В период раскола суперконтинента глобальный бассейн «тихоокеанского типа», в котором происходит субдукция, постепенно замещается не претерпевающими субдукции океанами «атлантического типа». Эти «внутренние» океаны позже исчезают в результате субдукции, и на их месте снова возникает бассейн тихоокеанского типа. Описанные процессы определяют средний возраст дна Мирового океана.

Сразу же после разрушения суперконтинента мировое океаническое дно в среднем постепенно становится моложе и мелководнее, по мере того как молодые океаны атлантического типа замещают более древний океан тихоокеанского типа. Когда возраст океанов атлантического типа достигает среднего возраста бассейна тихоокеанского типа, эта закономерность сменяется на обратную: распростра-

нение стареющих океанов атлантического типа приводит к старению и погружению мирового океанического дна. Средняя глубина океана достигает максимума при наибольшем среднем возрасте океанов атлантического типа, как раз перед началом субдукции. Затем, после того как самые старые части дна океанов атлантического типа погрузятся под континенты в результате субдукции и океаны закроются, мировое океаническое дно снова становится более молодым и мелководным.

Расчеты уровня моря на основе лишь этих параметров показывают, что континентальные шельфы суперконтинента должны быть затоплены, так как окружающий его океанический бассейн моложе и мельче, чем, например, современный Мировой океан. Здесь необходимо, однако, учесть второй фактор — степень поднятия суперконтинента благодаря разогреву под влиянием накопленного под ним тепла. Если суперконтинент поднимается достаточно высоко, уровень моря относительно суши может оставаться низким даже в том случае, когда морское дно сравнительно мелководное.

Одну из возможных оценок подня-

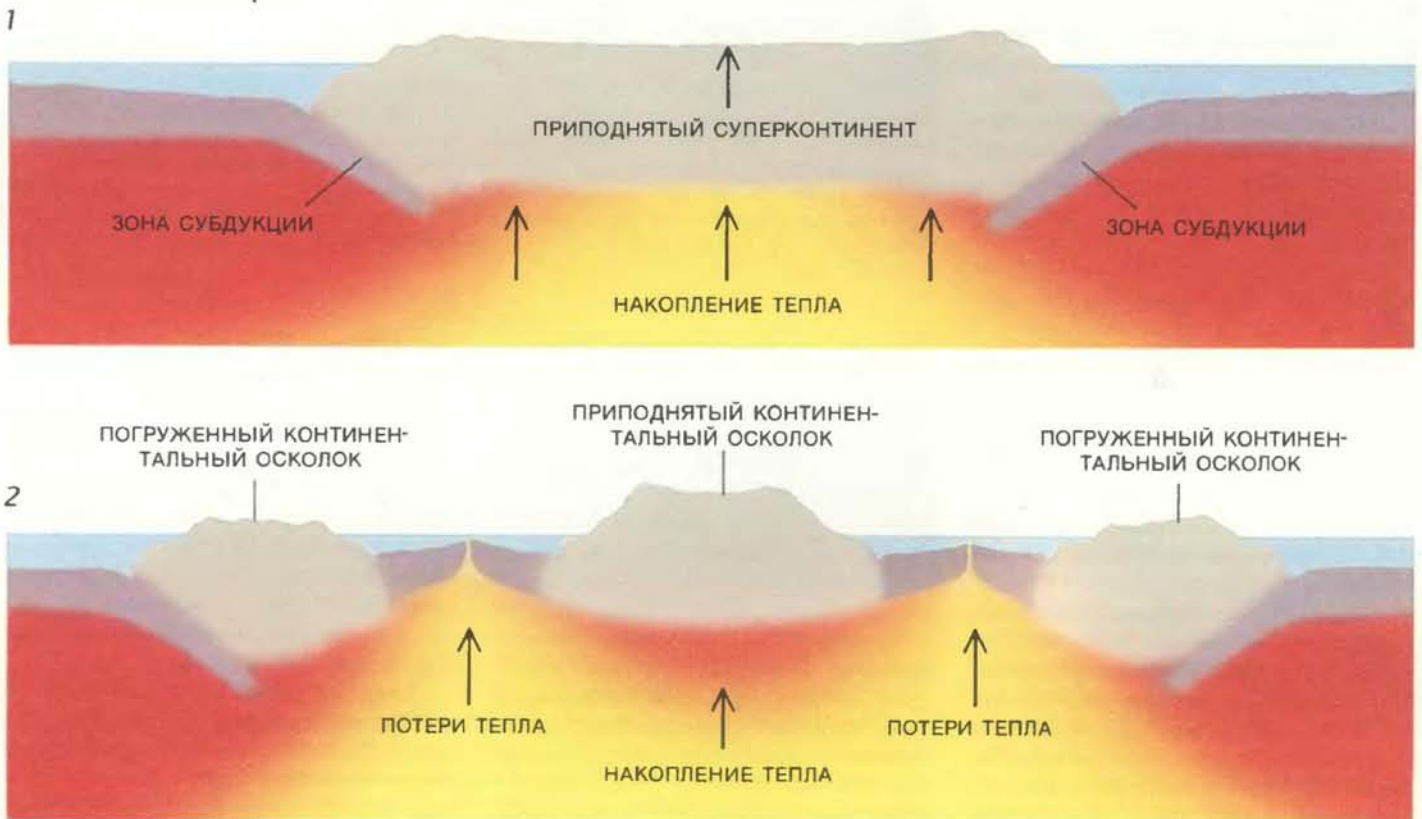
тия суперконтинента благодаря тепловому эффекту можно получить, рассматривая современную Африку. В течение последних по крайней мере 200 млн. лет положение Африки существенно не изменилось, и за это время под ней накопилось большое количество тепла, поступившего из мантии. (Некоторая доля накопленного тепла уходит через рифтовые долины, развивающиеся в наше время в различных районах этого континента.) Сравнивая высоту перегиба африканского шельфа относительно уровня моря (истинного края континента) с высотой перегиба шельфов других континентов, получаем, что благодаря разогреву Африка поднялась на 400 м. Следовательно, величину 400 м можно принять за нижнюю оценку подъема суперконтинента под влиянием накопленного тепла.

Поднятие суперконтинента (относительно уровня моря) может быть вызвано и другими причинами. Например, при столкновении континенты сжимаются и кора утолщается, в результате чего сокращается полная поверхность суши. Поэтому площадь океанических бассейнов возрастает, и уровень моря снижается. И наоборот, растяжение коры, сопровождающее

разрыв суперконтинента, сокращает общую площадь мирового океанического бассейна и приводит к повышению уровня моря.

Суммируя рассмотренные эффекты, можно оценить результирующее изменение уровня моря, соответствующее каждой фазе суперконтинентального цикла. В период стабильного существования суперконтинента, как уже отмечалось, уровень моря должен быть относительно низким. Во время раскола суперконтинента уровень повышается благодаря двум эффектам: растяжению и опусканию континентальных осколков и замещению старого бассейна тихоокеанского типа на молодой океан атлантического типа. Непрерывное повышение уровня моря происходит в течение приблизительно 80 млн. лет — до тех пор, пока в Мировом океане преобладающее место занимают молодые океанические бассейны. Затем, по мере того как океаны атлантического типа разрастаются и стареют, уровень моря падает; это продолжается около 80 млн. лет — до начала субдукции дна в океанах.

Когда начинается сближение континентов, уровень моря повышается, по мере того как кора атлантического



ТЕПЛО — это фактор, от которого зависит высота суперконтинента и его осколков над уровнем моря. Суперконтинент (1), окруженный зонами субдукции (в которых материал морского дна поддвигается под континент), остается неподвижным относительно нижележащей мантии. Накопленное под суперконтинентом тепло приводит к его

поднятию. После расщепления суперконтинента (2) образовавшиеся осколки опускаются в процессе дрейфа континентов. Часть континента, оставшаяся на месте (в центре), продолжает быть приподнятой над уровнем моря. Одним из примеров подобного стабильного континентального фрагмента является современная Африка.

типа, состарившись, подвергается субдукции. Это повышение длится в течение следующих 80 млн. лет до тех пор, пока не начинается восстановление единого суперконтинента. Далее в процессе столкновения континентов и поднятия благодаря разогреву разрастающегося суперконтинента уровень моря понижается на протяжении 80 млн. лет. После образования суперконтинента уровень моря не изменяется в течение 120 млн. лет, пока суперконтинент не начинает вновь раскалываться.

Описанная выше гипотетическая картина изменений уровня моря согласуется с геологическими данными для последних 570 млн. лет (наибольшего интервала времени, для которого с определенной достоверностью уровень моря известен). Геологическая летопись подтверждает вытекающие из нашей модели оценки временных масштабов и относительных величин колебаний уровня моря. Следует учесть, что наша модель дает средние для всей Земли значения; абсолютные величины уровня, конечно, меняются от континента к континенту.

Проверка модели

В пользу теории суперконтинентального цикла свидетельствуют и результаты исследований изотопов серы и углерода, обнаруживаемых в определенных морских осадках. (Изотопы — это атомы одного и того же элемента, имеющие различные атомные массы.)

На ранней стадии разрушения суперконтинента в его пределах существует, по-видимому, множество морских рифтов, которые, подобно современному Красному морю, слабо связаны с Мировым океаном. В этих рифтах идет непрерывный процесс испарения, приводящий к выпадению из морской воды ряда элементов (например, серы), образующих минералы. При испарении серосодержащей морской воды тяжелая сера (с атомной массой 34) выпадает в осадок быстрее, чем легкая (с атомной массой 32).

Если вода в морском рифте непрерывно перемешивается с водами Мирового океана, то рифт служит стоком тяжелой серы, которая, перемещаясь из Мирового океана, концентрируется в эвапоритовых отложениях. Следовательно, Мировой океан обедняется тяжелой серой и обогащается ее легким изотопом. Поэтому в осадках Мирового океана, относящихся к периоду стабильного суперконтинента, концентрация легкой серы должна быть велика, а тяжелой — мала. Именно это и наблюдается в

обнажениях морских накоплений, сформировавшихся около 200 и 600 млн. лет назад, т.е. в два последних периода существования суперконтинента.

О существовании суперконтинентов также свидетельствует распределение изотопов углерода. Легкий изотоп углерода (с атомной массой 12) благодаря диффузии быстрее проникает в раствор, чем тяжелый изотоп (с атомной массой 13), и значит, с большей вероятностью захватывается морскими организмами. Таким образом, морские организмы играют роль стока легкого углерода. В периоды низкого уровня моря биологическая продуктивность Мирового океана должна быть сравнительно высокой, так как с обнажением континентальной коры возрастает количество питательных веществ, таких как соединения фосфора и азота, которые с продуктами эрозии выносятся в море реками.

В результате при низком уровне моря организмы поглощают больше углерода (особенно его легкого изотопа) и воды Мирового океана обогащаются легким и обедняются тяжелым изотопами углерода. В составе таких морских отложений, как известняк (карбонат кальция), соответствующий периоду низкого уровня моря, должна быть относительно высокая концентрация тяжелого углерода и низкая концентрация легкого углерода. В осадках же, относящихся к периоду высокого уровня моря, следует ожидать относительного избытка легкого и недостатка тяжелого углерода. Действительно, наблюдаемое отношение концентраций тяжелого и легкого углерода в таких осадочных породах хорошо согласуется с выводами из нашей модели для последних 600 млн. лет.

Климат и жизнь

Наиболее важным следствием суперконтинентального цикла является, по-видимому, его воздействие на климат и жизнь. В чем заключаются эти эффекты? Изменения климата в основном должны зависеть от изменений уровня моря в фазах раскола, раздвижения и воссоединения континентов.

При низком уровне моря — когда на Земле воздымается единый суперконтинент или когда отдельные континенты разбросаны по всей Земле и дно Мирового океана имеет наибольший возраст — значительные количества силикатных минералов, таких как силикаты кальция, в континентальной коре обнажаются и подвергаются выветриванию и эрозии. Реки

выносят эти минералы в Мировой океан. В морской воде они соединяются с растворенным диоксидом углерода (углекислым газом) и выпадают в осадки (см. статью: Дж. Кастинг, О. Тун, Дж. Поллак. Как развивался климат на планетах земной группы, «В мире науки», 1988, № 4). Например, силикаты кальция, реагируя с диоксидом углерода, образуют кальцит (известняк) и кварц. Благодаря этому процессу из атмосферы удаляется диоксид углерода.

Диоксид углерода в атмосфере препятствует уходу в космос тепла, получаемого Землей от Солнца. Когда часть диоксида переходит в морские отложения, этот так называемый парниковый эффект ослабляется и на Земле становится холоднее. Если поднятый над океаном континент находится вблизи полюса, на нем образуются ледники (подобно современным ледниковым покровам в Антарктиде и Гренландии).

Оледенение влияет на климат через ряд важных факторов. Один из них заключается в том, что количество воды в Мировом океане уменьшается и уровень моря дополнительно понижается. С оледенением также усиливается циркуляция и перемешивание вод Мирового океана. Океаническая циркуляция в наше время является составной частью глобальной «тепловой машины», которая перемещает теплую, соленую воду из тропиков и субтропиков к полюсу, где вода охлаждается и опускается вниз, а затем возвращается назад к экватору (см. статью: А. Гордон, Дж. Комизо. Полюсьи в Южном океане, «В мире науки», 1988, № 8). Перемешивая поверхностные и глубинные воды, «тепловая машина» распределяет кислород и питательные вещества по всему океану. Лед на полюсе способствует поддержанию низкой температуры полярных вод и сохранению разности температур, необходимой для работы «тепловой машины».

Вертикальная циркуляция океанической воды и обилие выносимых с континента питательных веществ служат причиной повышения биологической продуктивности при низком уровне моря. Из-за этого возрастает потребление углерода органическим веществом и снижается содержание диоксида углерода в атмосфере.

Наиболее благоприятные условия для развития жизни в море возникают на континентальном шельфе, где скапливаются поступившие с континента питательные вещества, а небольшая глубина позволяет солнечному свету достигать морского дна. Однако в период высокой биологической продуктивности при низком уровне

моря часть дна на шельфе обнажает-ся. В результате многие устойчивые виды организмов исчезают и вместо них развиваются другие виды. Это не означает, однако, что жизнь становится особенно разнообразной. Наоборот, такая обстановка, для которой характерны высокий уровень питательных веществ и недостаток экологических ниш, порождает экосистемы с большими концентрациями биомассы при относительно малом числе видов.

Климат после раскола суперконтинента

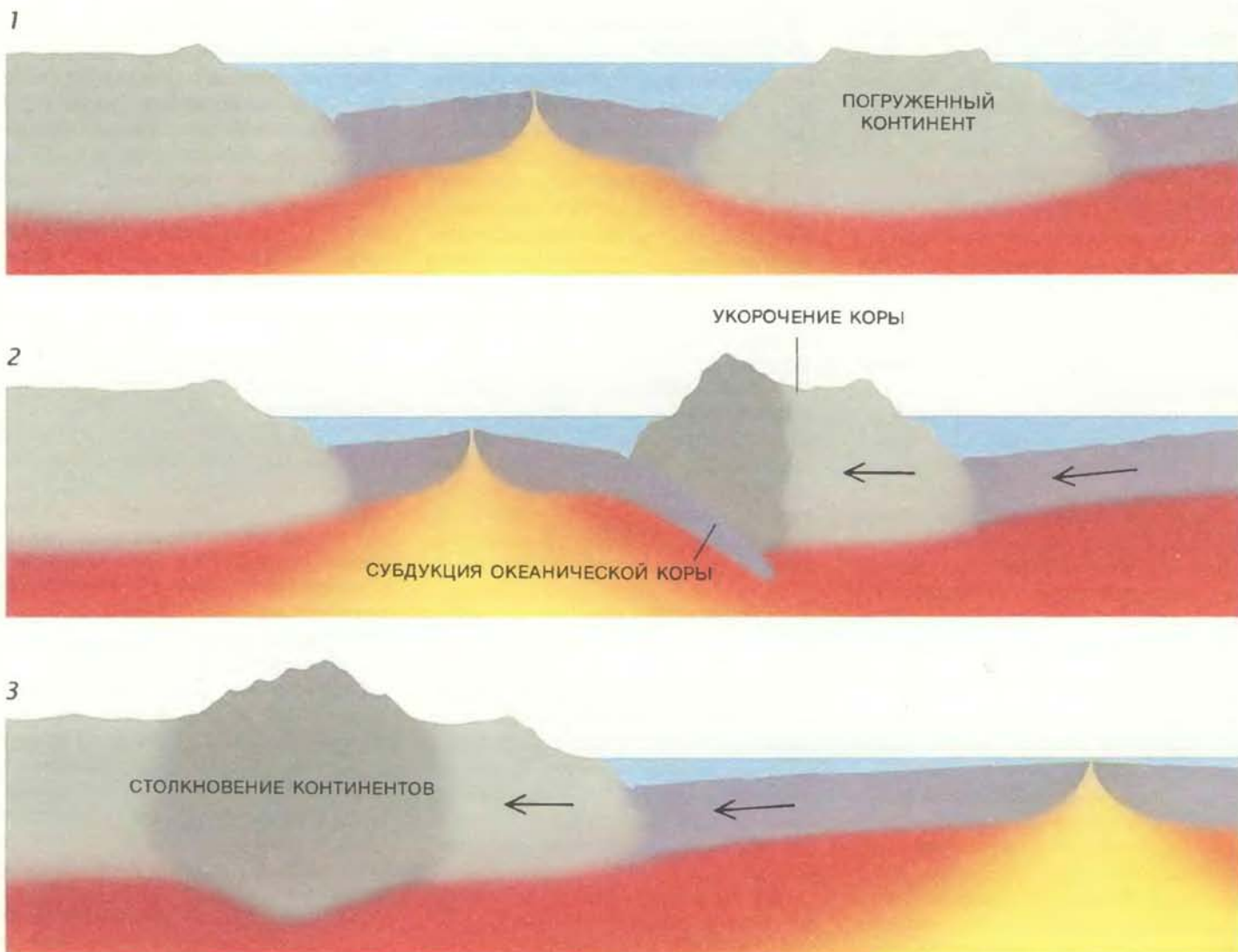
Итак, для низкого уровня моря характерны оледенение, усиленная вертикальная циркуляция в Мировом океане, высокая биологическая продуктивность, смена видов и неболь-

шое видовое разнообразие. Каких эффектов следует ожидать от повышения уровня моря — сразу после того, как суперконтинент раскололся, или до того, как он восстановился?

Когда континенты частично затопляются, с захваченным из атмосферы диоксидом углерода взаимодействует сравнительно небольшое количество силикатов в морских осадках. Между тем диоксид углерода поступает в океан, а из него в атмосферу, выделяясь из горячего мантийного материала, поднимающегося в центрах спрединга морского дна. Более того, субдукция океанической коры и последующее плавление известняковых осадков приводят к выделению еще большего количества диоксида углерода в атмосферу через вулканы, в обилии образующиеся в зонах субдукции.

Отсюда следует, что при таких условиях содержание диоксида углеро-

да в атмосфере будет увеличиваться и климат Земли потеплеет. Плавление полярного льда вызовет дальнейшее повышение уровня моря и погружение континентов. В отсутствие полярного льда ослабнет вертикальная и горизонтальная циркуляция, и значит, перемешивание в Мировом океане; в результате количество кислорода и питательных веществ уменьшится и биологическая продуктивность упадет. С другой стороны, на затопляемой континентальной коре образуется множество пригодных для жизни мелких морей. Такие экосистемы должны напоминать обстановку современных тропиков с характерным для них теплым климатом, низким содержанием питательных веществ и сравнительно большим числом экологических ниш. Подобно современным тропикам, эти экосистемы характеризуются низкой про-



СЖАТИЕ континентальных блоков приводит к расширению площади, занятой Мировым океаном, и тем самым к понижению глобального уровня моря. После раскола суперконтинента (1) новое морское дно (левее центра) упирается в континентальные осколки. Позже в процессе закрытия нового океанического бассейна (2) континент движется на морском дне, претерпевающим субдукцию. Под

действием сил сжатия континент укорачивается и на нем поднимаются горы, в результате чего уровень моря снижается. В дальнейшем, когда при столкновении континентов суперконтинент восстанавливается (3), континентальная кора еще больше укорачивается и уровень моря дополнительно понижается.

дуктивностью и большим биологическим разнообразием.

В какой степени данные по эволюции климата и жизни оправдывают эти прогнозы? Одно из наиболее впечатляющих подтверждений нашей модели дают наблюдения оледенений. Все известные в истории Земли оледенения происходили в то время, когда в соответствии с нашей моделью уровень моря был низким. Обратное утверждение не имеет места. Другими словами, не всякий период низкого уровня моря включает эпизод оледенения; это объясняется тем, что в некоторые периоды плавающий континент вблизи полюса мог отсутствовать.

Биологические данные

По ряду причин биологическая летопись характеризуется несколько большей неопределенностью. Возможно, наиболее важная причина этого состоит в том, что ископаемые остатки неравномерно распределены во времени. Исторические данные основаны преимущественно на отложениях, захороненных в континентальной коре, когда уровень моря был высок. При низком уровне моря морские организмы живут у берега, вблизи обнажений континентального шельфа. Осадки, соответствующие этим периодам, встречаются редко: по видимому, они исчезают в процессе субдукции океанического дна. Тем не менее доступные данные говорят в пользу нашей гипотезы.

Например, геологическая летопись морской жизни в эпоху существования самого последнего суперконтинента, Пангеи, указывает на малое видовое разнообразие организмов, что и следует ожидать при низком уровне моря. А период затопления континентов, последовавший за разрушением Пангеи, отличается большим разнообразием видов.

Если обратиться к еще более далекому прошлому, можно заметить, что разрушение предшествовавшего Пангее суперконтинента около 600 млн. лет назад было отмечено появлением раковинных организмов. После разрушения суперконтинентов наступило время, названное взрывом разнообразия (см. статью: М. МакМенамин. Возникновение разнообразия животных, «В мире науки», 1987, № 6). В частности, особенно большим разнообразием отличалась эволюция раковинных животных.

Сделав следующий шаг в прошлое, мы увидим, что первые многоклеточные организмы принадлежат морским осадкам, возраст которых около миллиарда лет. Как показывает наша

модель, эти осадки закономерно накапливались после раскола суперконтинента. Можно допустить, что отмеченный поворот в биологической эволюции произошел во время существования суперконтинента, но не был отражен в летописи до тех пор, пока не разрушился суперконтинент и не поднялось море, затопившее континентальные шельфы.

С суперконтинентальным циклом, возможно, связан еще более древний скачок в биологической эволюции. Около 2100 млн. лет назад, как раз перед предполагаемым расколом суперконтинента, в сине-зеленых водорослях развились гетероцисты — органоиды, фиксирующие азот (расщепляющие азотсодержащие молекулы и связывающие его атомы с углеродом в органическом веществе) даже в присутствии атмосферного кислорода. В отсутствие гетероцистов или подобных им органоидов химические реакции с фиксацией азота могут замедляться атомами кислорода, связывающими азот. В то время в атмосфере как раз начал появляться кислород, и описываемый биологический переход обеспечил для многих более поздних организмов — предшественников современных фотосинтетических растений — благоприятные условия для выживания в новой, кислородсодержащей атмосфере, которая в противном случае была бы для них смертоносной.

Новая концепция

Гипотеза суперконтинентального цикла представляет собой новую концепцию, новый путь к пониманию геологической истории Земли. Она указывает на то, что крупномасштабные процессы тектоники плит действуют не случайно, а закономерно, в некотором периодическом режиме.

Суперконтинентальный цикл также открывает новую перспективу в изучении эволюции жизни на Земле. Различные фазы суперконтинентального цикла включают воздымание и опускание континентов, оледенения, усиление и ослабление океанической циркуляции и перемешивания вод Мирового океана и другие факторы, порождающие изменения глобального климата. Эти эффекты регулируют многие скачки в биологическом развитии, определяющие дальнейший ход эволюции. Таким образом, суперконтинентальный цикл в известном смысле действительно является пульсом Земли: при каждом его биении преобразуется климат, геологическое строение и популяция живых организмов на Земле.

Книги издательства „Мир“

ОБСТАНОВКИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ И ФАЦИИ

Перевод с английского
в 2-х томах

В книге приводятся результаты фундаментальных исследований и обширный новейший материал по главным типам глобальных осадочных обстановок верхней оболочки Земли. Рассматриваются соотношения различных фациальных типов осадков в разрезе и на площади, контакты и переходы между фациями, комплексы фаций и объединение фаций в группы и серии, а также факторы, контролируемые природу и распространение фаций. Анализируется взаимосвязь между осадкообразованием и тектоникой. В 1-ом томе освещены осадочные обстановки, свойственные им фации и процессы аллювиальных отложений, дельт, озер, пустынь, прибрежных мелководных морских образований. Во 2-ом томе освещены осадочные обстановки и свойственные им фации морских мелководных карбонатных образований, глубоководных пелагических и кластогенных отложений, а также обстановки современного и древнего ледового литогенеза. Для всех разделов книги даны прекрасные иллюстративные схемы, рисунки и фотографии, делающие ее особенно доступной для конкретного применения при полевых исследованиях.

Для литологов и геологов, занимающихся изучением осадочных пород, а также для студентов геологических специальностей.

1989 г., 76 л.

Цена 15 р. 60 к. за комплект.

Предварительные заказы направляйте в магазины, распространяющие научно-техническую литературу. Издательство заказы не принимает.



Случайность в арифметике

Невозможно доказать, конечное или бесконечное число решений имеет каждое уравнение из семейства алгебраических уравнений: ответ варьирует случайным образом, и, следовательно, не может быть найден с помощью математического рассуждения

ГРЕГОРИ ДЖ. ЧЕЙТИН

ЧТО МОЖЕТ БЫТЬ бесспорнее того факта, что 2 плюс 2 равняется 4 ? Со времен древних греков математики считали, что более несомненной вещи, чем доказанная теорема, не сыскать. Действительно, математические утверждения, истинность которых может быть доказана, часто считались более надежным основанием для системы мышления, чем любой моральный или даже физический принцип. Немецкий философ и математик XVII в. Готфрид Вильгельм Лейбниц считал возможным создать «исчисление» рассуждений, которое когда-нибудь позволит улаживать все споры с помощью слов: «Давайте вычислим, господи!». К началу нашего столетия прогресс в разработке символической логики дал основание немецкому математику Давиду Гильберту заявить, что все математические вопросы в принципе разрешимы, и провозгласить окончательную кодификацию методов математического рассуждения.

В 30-е годы нашего столетия этот оптимизм совершенно развеялся под влиянием удивительных и глубоких открытий К. Гёделя и А. Тьюринга. Гёдель доказал, что не существует системы аксиом и методов рассуждения, охватывающей все математические свойства целых положительных чисел. Позднее Тьюринг облек остроумные, но сложные гёделевы доказательства в более понятную форму. Как показал Тьюринг, гёделева теорема о неполноте эквивалентна утверждению, что не существует общего метода для систематического принятия решения о том, остановится ли когда-нибудь компьютерная программа, т. е. приведет ли она когда-нибудь компьютер к остановке. Разумеется, если некоторая конкретная программа приводит к остановке компьютера, этот факт легко может быть доказан непосредственным выполнением этой программы. Трудность заключается в доказательстве того, что произвольно взятая программа не останавливается.

Недавно мне удалось сделать еще один шаг по пути, намеченному Гёделем и Тьюрингом. Преобразовав некоторую конкретную компьютерную программу в алгебраическое уравнение такого типа, который был знаком еще древним грекам, я показал, что область чистой математики, известная под названием теории чисел, содержит в себе случайность. Это исследование демонстрирует, говоря словами Эйнштейна, что Бог порой использует целые числа для игры в кости.

Полученный результат, входящий составной частью в то, что было названо алгоритмической теорией информации, не является причиной для пессимизма; он не вносит в математику анархию. (В самом деле, большинство математиков продолжают работать над своими проблемами, как и раньше.) Он означает лишь, что в некоторых ситуациях должны применяться математические законы особого рода — статистические. Подобно тому как физика не в состоянии предсказать, в какой именно момент распадется данный атом радиоактивного вещества, математика порой бессильна дать ответ на некоторые вопросы. Однако физики могут надежно предсказать средние значения физических величин, отнесенные к большому количеству атомов. Математики в некоторых случаях должны, вероятно, ограничиваться таким же подходом.

МОЯ РАБОТА служит естественным продолжением работы Тьюринга, однако если Тьюринг анализировал, остановится или нет произвольная программа, я рассматриваю вероятность того, что универсальный компьютер прекратит работу, если его программа выбрана совершенно случайно. Что я имею в виду, говоря «выбрана совершенно случайно»? Поскольку любая программа может быть сведена к последовательности двоичных разрядов — битов (каждый из которых может принимать значение 0 или 1), «считы-

ваемых» и «интерпретируемых» компьютером, смысл упомянутой фразы состоит в том, что совершенно случайная программа, состоящая из n битов, эквивалентна результату n бросаний монеты (где «орел» представляется нулем, а «решка» — единицей, или наоборот).

Вероятность того, что такая совершенно случайная программа остановится (обозначим эту вероятность символом Ω), выражается вещественным числом, заключенным между 0 и 1 . (Утверждение $\Omega = 0$ будет означать, что никакая случайная программа не остановится, а $\Omega = 1$ — что всякая случайная программа остановится. Если мы имеем дело с универсальным компьютером, ни одно из этих крайних значений не реализуемо.) Поскольку Ω — вещественное число, полностью представить его можно лишь как бесконечную последовательность разрядов. В двоичной системе это последовательность нулей и единиц.

Наверное, самым интересным свойством этой бесконечной цепочки является то, что она алгоритмически случайна: она не может быть сжата в программу (рассматриваемую как цепочка битов) длиной, меньшей чем она сама. Это определение случайности, играющее основную роль в алгоритмической теории информации, было независимо сформулировано в середине 60-х годов советским академиком А. Н. Колмогоровым и мною. (Впоследствии это определение мне пришлось подправить.)

Основная идея такого определения проста. Некоторые последовательности битов могут быть сжаты в программы, более короткие, чем сами эти последовательности, потому что они построены по какой-либо схеме или подчиняются какому-либо правилу. Например, 200-битовая последовательность вида $01010101\dots$ может быть сильно сжата, если ее задать как «100 повторений пары 01 ». Безусловно, такие последовательности не являются случайными. С другой сторо-

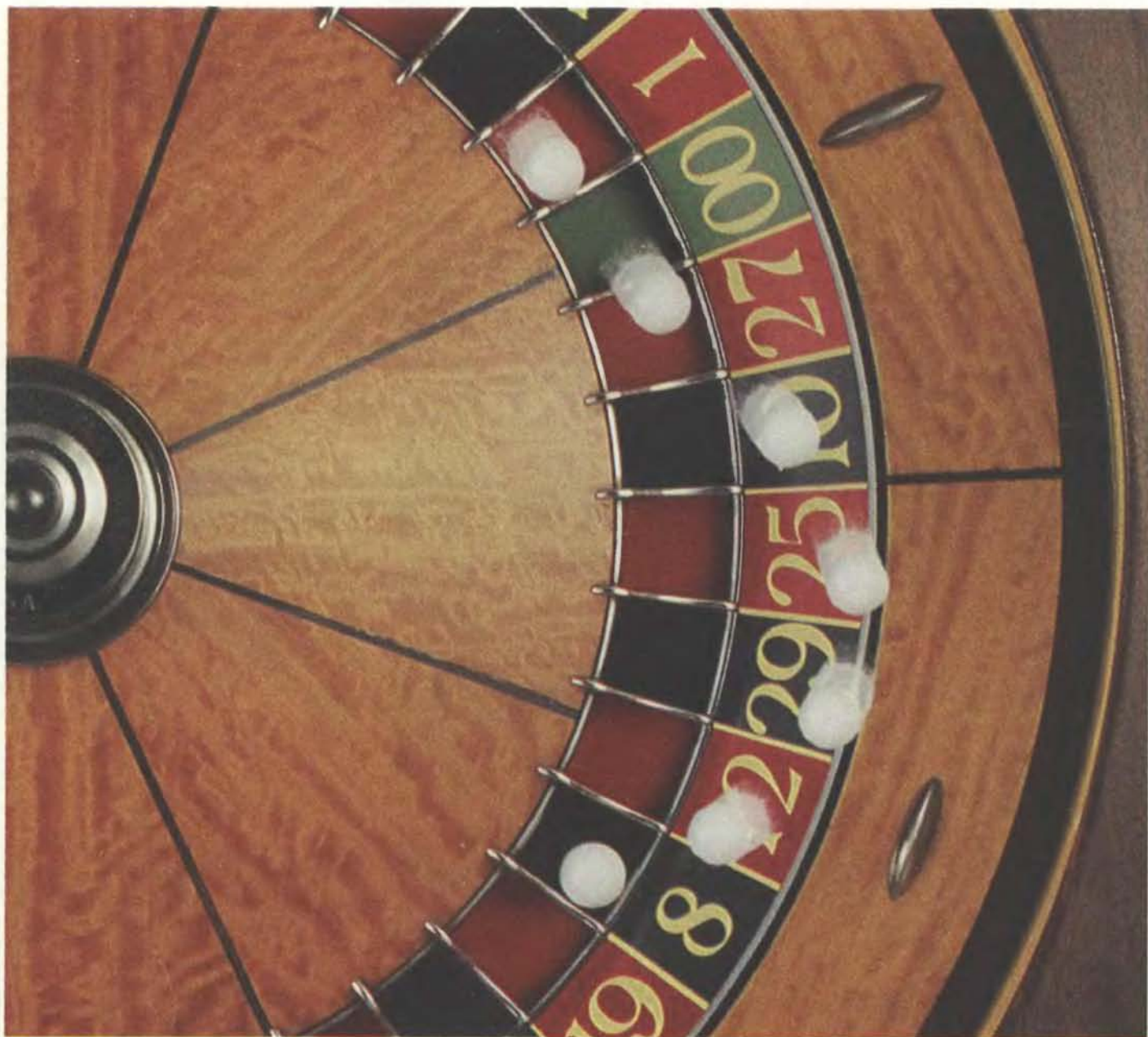
ны, 200-битовая последовательность, порожденная бросанием монеты, не может быть сжата, поскольку для этого процесса, вообще говоря, отсутствует закономерность в чередовании нулей и единиц; это совершенно случайная последовательность.

Из всех возможных последовательностей битов большинство несжимаемы и, следовательно, случайны. Поскольку последовательность битов можно рассматривать как представление по основанию 2 любого вещественного числа (если допускать бесконечные последовательности), отсюда вытекает, что большинство вещественных чисел на самом деле случайны. Нетрудно показать, что алгоритмически случайное число, такое, как

Ω , проявляет обычные статистические свойства, связанные в нашем представлении со случайностью. Одним из таких свойств является нормальность: каждый возможный разряд появляется в числе с равной частотой. Если речь идет о двоичном представлении, то при стремлении числа разрядов к бесконечности, нулей и единиц будет в точности по 50%.

Для того чтобы Ω имела смысл, должно выполняться одно техническое условие: программа на входе должна быть самоограничивающейся. Иными словами, информация о ее общей длине (в битах) должна содержаться в самой программе. (Это на первый взгляд малозначительное условие, тормозившее прогресс в дан-

ной области в течение почти десятка лет, заставило переопределить понятие алгоритмической случайности.) Существующие языки программирования предназначены для построения самоограничивающихся программ, поскольку в этих языках предусмотрены механизмы начала и окончания программы. Такие конструкции позволяют программе содержать правильно определенные подпрограммы, которые в свою очередь могут включать в себя другие вложенные подпрограммы. Поскольку самоограничивающиеся программы строятся при помощи конкатенации (объединения двух последовательностей, скажем, строк или файлов, в одну. — *Ред.*) и вложения самоограничиваю-



НЕПРЕДСКАЗУЕМОСТЬ — понятие, знакомое владельцам игорных домов: именно она позволяет им получать прибыль от таких игр, как рулетка. Автор считает, что математики, подобно игрокам, должны приспособливаться к не-

предсказуемости, присущей предмету их занятий. Она возникает из-за случайности, присутствующей в решениях даже весьма простых задач теории чисел.

щихся подпрограмм, программа синтаксически полна лишь тогда, когда последняя открытая подпрограмма «закрыта». По сути механизмы начала и окончания программ и подпрограмм функционируют соответственно как левая и правая скобка в математических выражениях.

Если бы программы не были само-

ограничивающимися, их нельзя было бы построить из подпрограмм, и суммирование вероятностей остановки для всех программ дало бы бесконечный результат. Если же вы рассматриваете лишь самоограничивающиеся программы, то Ω не только ограничена 0 и 1, но ее можно явно вычислить «в пределе снизу». Другими словами,

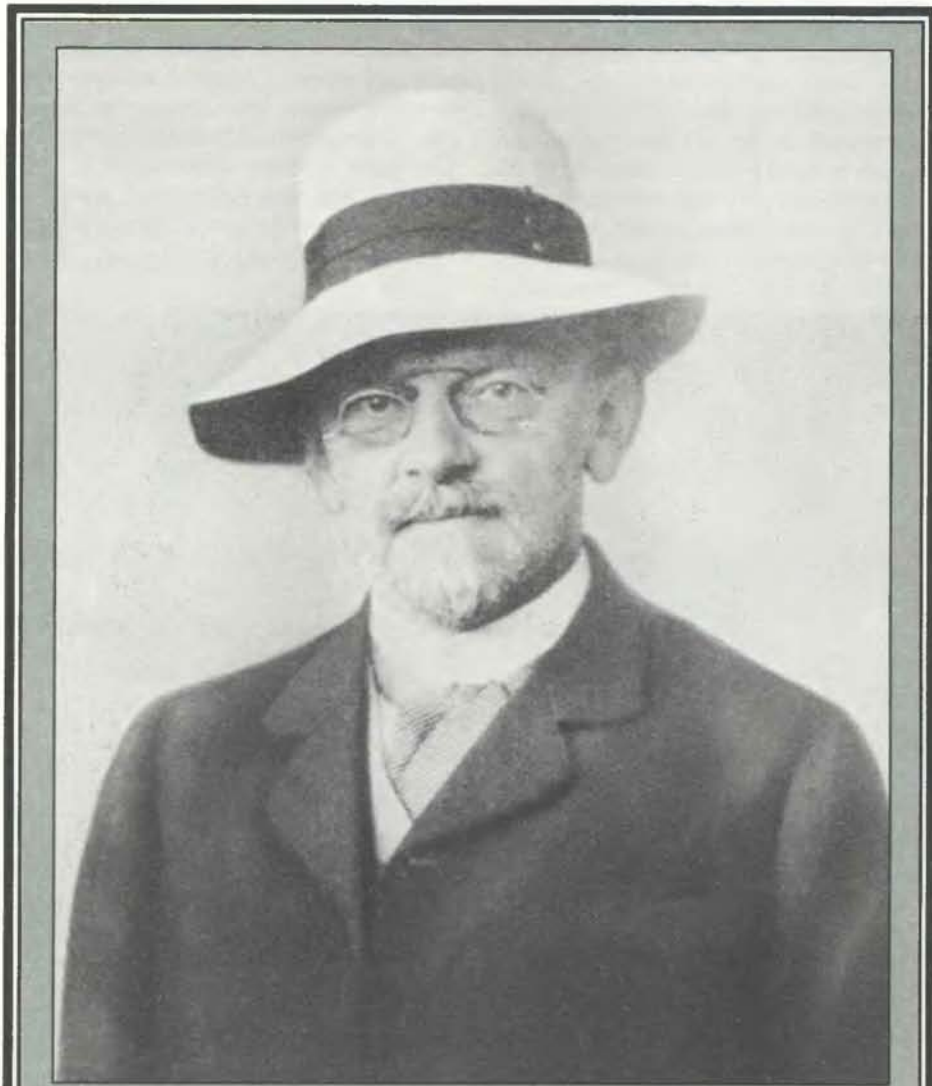
можно вычислять элементы бесконечной последовательности рациональных чисел (выраженных конечной последовательностью битов), каждое из которых ближе к точному значению Ω , чем предыдущее.

Один из способов сделать это — систематически вычислять Ω_n для возрастающих значений n ; здесь Ω_n — вероятность того, что совершенно случайная программа длиной до n битов остановится через n секунд, если она выполняется на данном компьютере. Поскольку имеется 2^k возможных программ длиной k битов, Ω_n можно в принципе вычислить: для каждого значения k от 1 до n надо определить, сколько из этих возможных программ на самом деле останавливается через n секунд, умножить это число на 2^{-k} , а затем просуммировать все полученные произведения. Иначе говоря, каждая такая останавливающаяся k -битовая программа вносит свой вклад, равный 2^{-k} , в значение Ω ; вклад программ, которые не останавливаются, равен 0.

Если бы мы каким-то чудом узнали значение Ω с k точными разрядами, мы могли бы вычислять последовательность Ω_n , пока не получили бы значение, равное данному значению Ω . Тогда мы бы нашли все останавливающиеся программы размером меньше k ; это по существу означало бы, что решена поставленная Тьюрингом проблема остановки для всех программ размером меньше k битов. Конечно, для разумного значения k требуемое для вычисления время было бы огромным.

ДО СИХ ПОР при обсуждении проблемы остановки я обращался исключительно к ее компьютерно-программной интерпретации, но в свете работы Дж. Джоунса из Университета в Калгари и Ю. В. Матиясевича из Ленинградского отделения Математического института им. Стеклова АН СССР в этой проблеме является новое «измерение». Исследования упомянутых авторов дают метод, позволяющий представить эту проблему в виде утверждений о диофантовых уравнениях определенного класса. Эти алгебраические уравнения, составленные при помощи операций над целыми числами — умножения, сложения и возведения в целую степень, названы по имени греческого математика Диофанта Александрийского, жившего в III в. н.э.

Выражаясь точнее, метод Джоунса и Матиясевича позволяет отождествить утверждение о том, что некоторая конкретная программа не остановится, с утверждением о том, что одно из уравнений из определенного



ДАВИД ГИЛБЕРТ (1900):

«Любая определенная математическая задача должна обязательно поддаваться точному решению, либо в виде непосредственного ответа на заданный вопрос, либо в виде доказательства невозможности ее решения и, кроме того, неизбежности неудач всех попыток ее решения... Однако, как бы трудны эти проблемы ни казались нам, и как бы ни были мы беспомощны перед ними, у нас имеется тем не менее твердая уверенность в том, что их решение будет получено в результате конечного числа чисто логических процессов... Мы слышим внутри нас постоянный призыв: вот проблема, ищи решение. Ты можешь найти его с помощью чистого мышления...»

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ РАЗРЕШИМОСТЬ всех вопросов математики была заявлена Д. Гильбертом (на этом снимке ему около 50 лет). Гильберт считал, что конечной системы аксиом и правил рассуждения достаточно для доказательства истинности или ложности всех теорем.

класса диофантовых уравнений не имеет решений в целых числах. Как и в оригинальной версии проблемы остановки для компьютеров, здесь, если решение существует, это легко доказать: все, что требуется, — это подставить правильные числа и проверить, равными ли получились левая и правая части уравнения. Доказать же несуществование решения (если оно действительно отсутствует) намного сложнее.

Класс уравнений строится исходя из базового уравнения, которое содержит конкретную переменную k , называемую параметром и принимающую значения 1, 2, 3 и т. д. (см. рисунок вверху на с. 46). Таким образом, имеется бесконечно большой класс уравнений (по одному уравнению на каждое значение параметра k), которые можно получить из одного базового уравнения для каждой программы из «семейства» программ. Математическое утверждение о том, что диофантово уравнение с параметром k не имеет решения, равносильно утверждению, что k -я компьютерная программа никогда не остановится. С другой стороны, если k -я программа останавливается, то соответствующее уравнение имеет в точности одно решение. В некотором смысле истинность (или ложность) утверждений этого типа является математически неопределенной, поскольку она изменяется непредсказуемым образом, когда параметр k принимает различные значения.

Мой подход к непредсказуемости в математике подобен этому, но он приводит к гораздо более высокой степени случайности. Вместо «арифметизации» компьютерных программ (которые могут или не могут останавливаться) как класса диофантовых уравнений, я применяю метод Джоунса и Матиясевича для арифметизации единственной программы вычисления k -го разряда Ω_n .

ЭТОТ МЕТОД основан на любопытном свойстве четности биномиальных коэффициентов, которое было замечено Э. Люка сто лет назад, но до сих пор оставалось не оцененным по достоинству. Биномиальные коэффициенты представляют собой множители при степенях x^k в разложении выражений вида $(x + 1)^n$. Эти коэффициенты легко вычисляются с помощью так называемого треугольника Паскаля (см. рисунок внизу на с. 46).

В теореме Люка утверждается, что коэффициент при x^k в разложении $(x + 1)^n$ нечетен только тогда, когда каждый разряд в двоичном представлении числа k меньше или равен соот-

ветствующему разряду в двоичном представлении числа n (сопоставление начинается с правых элементов). Это можно выразить проще, сказав, что коэффициент при x^k в разложении $(x + 1)^n$ нечетен, если для каждого разряда k , равного 1, соответствующий разряд n тоже равен 1; в противном случае коэффициент четен.

Например, коэффициент при x^2 в разложении бинома $(x + 1)^4$ равен 6, т. е. четный. Соответственно единица в двоичном представлении двойки (10) не стоит на том же месте, что и единица в двоичном представлении четверки (100).

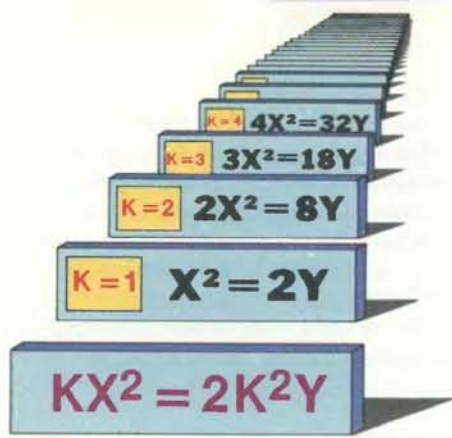
Хотя идея арифметизации проста и изящна, выполнение этого постро-



КУРТ ГЁДЕЛЬ (1944):

«Оказалось, что решение некоторых арифметических задач требует использования предложений, по существу выходящих за рамки арифметики. Разумеется, в подобных обстоятельствах математика может потерять часть своей «абсолютной истинности», но под влиянием современной критики оснований это происходило не раз...»

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ НЕРАЗРЕШИМОСТЬ математических вопросов была доказана К. Гёделем. На этом снимке, сделанном А. Ньюменом, ему около 50 лет. Гёдель опубликовал свое доказательство в 1931 г.; в ту пору ему было 25 лет, а Гильберту — 70.



«КЛАСС» УРАВНЕНИЙ порождается путем придания параметру k базового уравнения различных целочисленных значений.

ния представляет собой громоздкую программистскую задачу. Тем не менее мне казалось, что это может быть интересным. Поэтому я разработал программу «компилятор» для получения уравнений из программ для «регистровой машины». Регистровая машина представляет собой компьютер, состоящий из небольшого множества регистров для хранения чисел произвольной величины. Разумеется, это абстракция, поскольку любой реальный компьютер имеет регистры ограниченного объема.

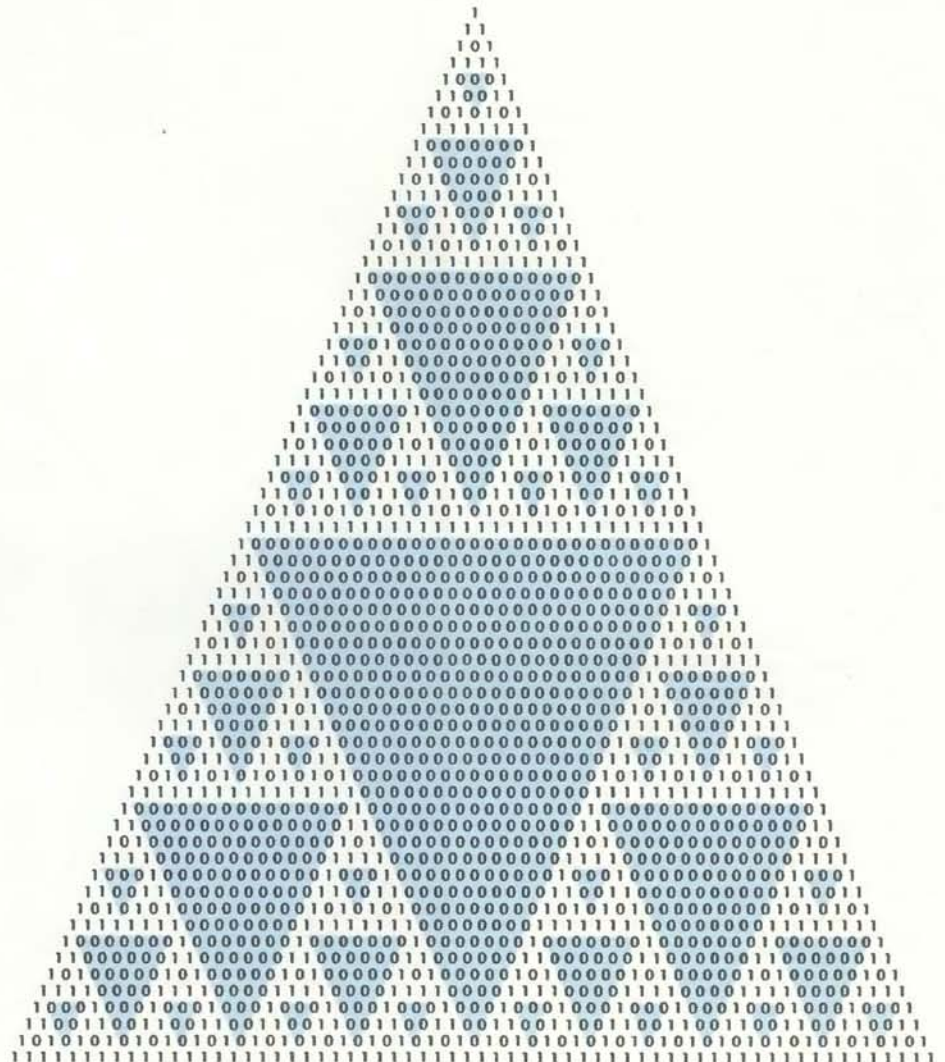
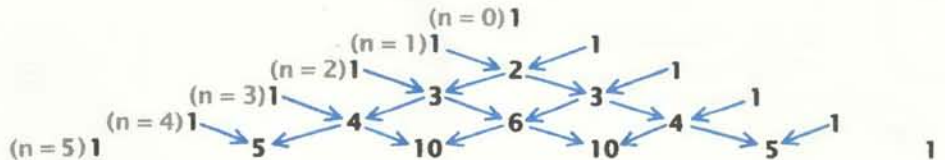
Подав на вход реального компьютера, имеющего программу-компилятор, программу регистровой машины, которая выполняет инструкции на языке Лисп, получим через несколько минут на выходе уравнение длиной около 200 страниц, содержащее примерно 17 000 неотрицательных целых переменных. Итак, я могу вывести диофантово уравнение с параметром k , кодирующее k -й разряд Ω_n , путем простой подстановки программы на Лиспе (в двоичной форме), предназначенной для вычисления k -го разряда Ω_n , в 200-страничное уравнение. Для любой заданной пары значений k и n диофантово уравнение имеет в точности одно решение, если k -й разряд Ω_n равен 1, и не имеет решения, если k -й разряд Ω_n равен 0.

Поскольку это верно для любой пары значений k и n , можно, вообще говоря, зафиксировать k и систематически увеличивать значение n , вычисляя k -й разряд Ω_n для каждого значения n . Для малых значений n k -й разряд Ω_n будет беспорядочно флуктуировать между 0 и 1. В конце концов, однако, он станет равным 1 или 0, поскольку для очень больших значений n он должен быть равен k -му разряду Ω , который неизменен. Следовательно, диофантово уравнение в действительности имеет бесконечное число решений для конкретного значения своего параметра k , если k -й разряд Ω оказывается равным 1, и лишь конечное

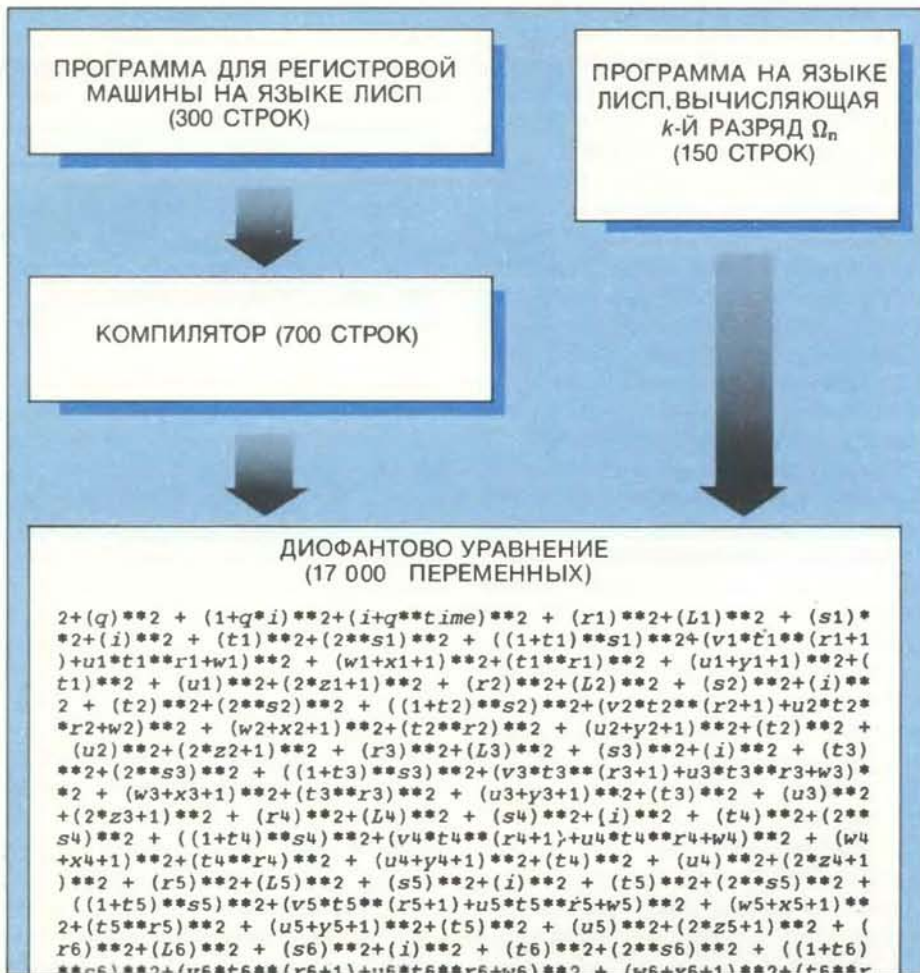
число решений, если k -й разряд Ω оказывается равным 0. Таким образом, вместо того чтобы выяснять, имеет ли диофантово уравнение решения для каждого значения своего параметра k , я узнаю, имеет ли оно бесконечно много решений.

НА ПЕРВЫЙ взгляд может показаться, что мы мало выигрываем, спрашивая «имеет ли уравнение бесконечно много решений», вместо «имеет ли оно вообще решения». Но на самом деле это очень важное различие: ответы на эти вопросы логически независимы. Два математических

утверждения считаются логически независимыми, если одно нельзя вывести из другого, т. е. если ни одно из них не является логическим следствием другого. Это понятие независимости обычно отличают от понятия независимости, используемого в статистике. Последнее заключается в том, что два случайных события называются независимыми, если исход одного из них не оказывает влияния на исход другого. Например, результат бросания монеты никоим образом не влияет на результат следующего бросания: эти результаты статистически независимы.



ТРЕУГОЛЬНИК ПАСКАЛЯ (вверху) служит для вычисления коэффициентов разложения выражений вида $(x + 1)^n$. Начав с треугольника из единиц, вычисляют значения на каждом последовательном уровне путем сложения соседних чисел; последней ставят единицу. Таким образом можно определить, например, что $(x + 1)^4 = 1x^4 + 4x^3 + 6x^2 + 4x^1 + 1x^0$. Этот треугольник можно превратить в привлекательный фрактальный узор, если заменить нечетные коэффициенты единицами, а четные — нулями (внизу). Узор демонстрирует свойство коэффициентов, применяемое при «арифметизации» компьютерных программ, которая преобразует их в алгебраические уравнения.



вано много важных теорем. Более того, эта гипотеза была эмпирически проверена с помощью самых мощных компьютеров, и ни один опровергающий ее пример не был найден. Компьютерные программы (которые, как я уже сказал, эквивалентны математическим утверждениям) проверяются таким же способом — тестированием некоторого числа вариантов, а не строгим математическим доказательством.

СУЩЕСТВУЮТ ЛИ проблемы в других областях науки, для решения которых был бы полезен этот экскурс в основания математики? Я думаю, алгоритмическая теория информации может применяться в биологии. Регуляторные гены развивающегося зародыша являются по существу вычислительной программой построения организма. «Сложность» этой биохимической компьютерной программы можно, как мне думается, определить в терминах, аналогичных тем, что я развил при квантификации

информационного содержания Ω .

Хотя Ω совершенно случайна (или бесконечно сложна) и никогда не может быть вычислена точно, ее можно аппроксимировать с произвольной точностью, если в распоряжении имеется бесконечный отрезок времени. Мне кажется, что «сложность» живого организма может быть приближена таким же образом. Последовательность Ω_n , аппроксимирующую Ω , можно рассматривать как метафору эволюции, и, возможно, она содержит зерно математической модели, описывающей эволюцию «сложности» биологического организма.

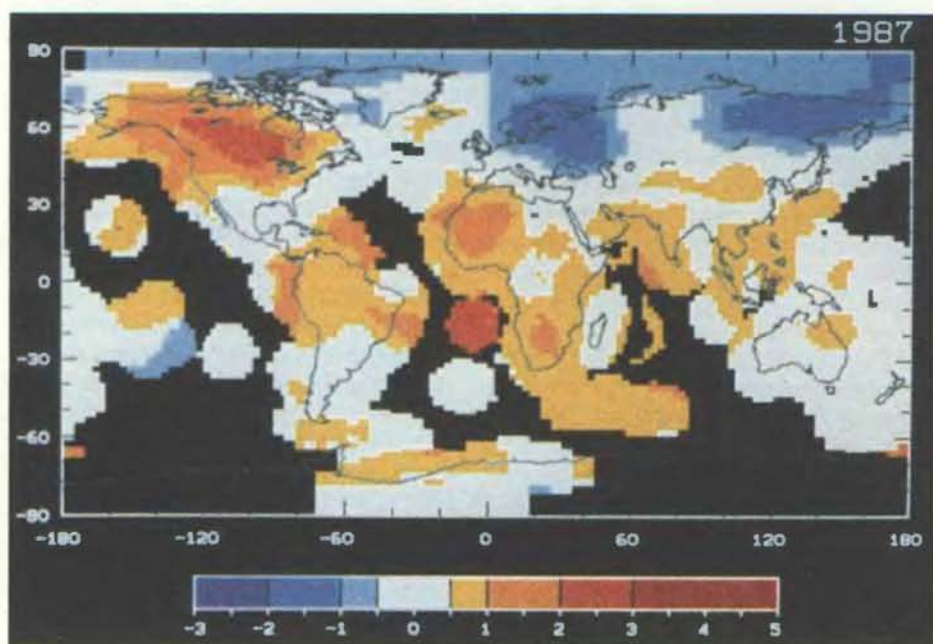
В конце своей жизни Дж. фон Нейман призвал математиков заняться созданием абстрактной математической теории происхождения и эволюции жизни. Эта фундаментальная проблема, подобно большинству проблем такого масштаба, бесконечно трудна. Возможно, алгоритмическая теория информации позволит найти путь, по которому следует идти.

Наука и общество

Становится ли теплее?

СОГЛАСНО выводам английских и американских исследователей, прошлый год был самым теплым из

всех, что нашли свое отражение в метеорологических записях. Средняя глобальная температура, измеренная приборами на суше и на море, была на $0,5^\circ\text{C}$ выше, чем в самые теплые из



КАРТА АНОМАЛИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ на 1987 г., самый теплый год в метеорологических записях, представлена в виде отклонений от распределения температуры, осредненного за период 1950—1980 гг. Значения даны в градусах Цельсия.

предшествующих лет — 1981 и 1983. Необычное потепление наиболее заметно в Южном полушарии, где семь из восьми самых теплых лет, зафиксированных в метеорологических записях, приходится на последнее десятилетие.

Некоторые соображения относительно этого явления приводятся в статье, опубликованной в журнале «Nature». Авторы публикации — Ф. Джоунс и Т. Уигли из Университета Восточной Англии, С. Лебедефф и Дж. Хансен из Годдардовского космического центра Национального управления по авиации и исследованию космического пространства и другие. Результаты последних измерений заставляют вспомнить о более ранних работах, в которых было показано, что средняя глобальная температура возросла примерно на $0,5^\circ\text{C}$ по сравнению с 1861 г., когда метеорологи стали проводить систематические измерения температуры воздуха.

Авторы статьи в «Nature» допускают, что необычное потепление 1987 г. могло быть одним из эффектов сильного Эль-Ниньо 1986—1987 гг. Вместе с тем, как отмечается в статье, стабильное превышение температуры над средней в 80-е годы «может отражать возрастание концентрации атмосферного диоксида углерода (CO_2) и других газов, влияющих на распространение электромагнитной радиации».

Специалисты по атмосфере в целом согласны с тем, что продолжающееся возрастание количества диоксида углерода и других газов, присутствующих в атмосфере в следовых концентрациях, таких как метан и оксид азота, вероятно, приведет в ближайшие несколько десятилетий к глобальному потеплению земного климата. Эти газы поглощают длинноволновую радиацию, излучаемую земной поверхностью, препятствуя тому, чтобы она уходила в космос. В результате нижние слои атмосферы нагреваются (так называемый «парниковый эффект»). Концентрация диоксида углерода в атмосфере сейчас на 23% выше по сравнению с периодом, предшествовавшим промышленной революции, и продолжает возрастать со скоростью $0,4\%$ в год.

Потепление 80-х годов может отражать и естественную изменчивость; в прошлом подобное уже бывало — например, неожиданное потепление в 1940 г. Однако теоретические исследования не дают оснований для самоуспокоения. В. Раманатан из Чикагского университета писал недавно в журнале «Science», что ожидаемое потепление нижнего слоя атмосферы окажется «беспримерным для меж-

ледникового периода». Согласно Уигли, из моделей следует, что за последние 100 лет средняя глобальная температура должна была возрасти на 0,4—1,1 °С. Действительное увеличение температуры с 1861 г. соответствует, таким образом, нижней границе этого диапазона.

Не все в моделях удастся учесть строго: неясно, например, в какой степени смогут замедлять потепление климата океаны, действующие как поглотители тепла. Плохо понятны и некоторые процессы, которые могли бы противодействовать парниковому эффекту, например, экранизация солнечного излучения аэрозольными частицами, выбрасываемыми в атмосферу при вулканических извержениях. В ближайшие два десятилетия станет ясно, действительно ли парниковый эффект играет существенную роль. «Все, что мы можем сделать, — это предоставить факты. Выводы — ваше дело», — говорит Лебедефф.

Забавно о сложном

ПЕРЕД нами научная лаборатория. В ней темно и никого нет. Входит шпион и неожиданно натывается на документы с описанием новых сверхпроводящих материалов. Этот неудачник едва ли осознает, что он приобщается к международной погоне за секретом изготовления материала, обладающего сверхпроводимостью при относительно высоких температурах, и что эта охота ему дорого обойдется, хотя он и станет обладателем информации о новейшем научно-техническом достижении.

Не похоже ли это на выдумку? Со всем нет, как следует из комикса, изданного в Японии. В последние годы некоторые японские издательства начали наживаться на популярности комиксов и выпускать доступные широкому читателю книжки-комиксы, посвященные серьезным проблемам из области науки и техники. Так, вслед за переводными вариантами книжки под названием «Чему вас не учат в Гарвардской школе бизнеса» на полках нью-йоркского книжного магазина «Kipokuniya Book Store» появились комиксы о сверхпроводимости.

Книга в твердом переплете объемом 220 страниц, выпущенная японским издательством «Goma Shobo», содержит очень краткое введение и события в ней разворачиваются быстро (уже на 9-й странице на нашего шпиона нападают головорезы). И все же принцип познавательности строго соблюдается, начиная с первой главы, которая называется «Что такое сверхпроводимость?», до последней,

озаглавленной «Какие изменения принесут сверхпроводники в экономику?».

Шпион, в прошлом физик, лишившийся субсидий на проведение исследований после того, как его работа оказалась безрезультатной, вскоре после этого в беседе с другом по колледжу, ставшим бизнесменом, объясняет ему основы явления сверхпроводимости. Бизнесмен, сообразив, что из этого можно извлечь выгоду, нанимает физика и заставляет его проникать в лаборатории и добывать новейшую информацию.

Сугубо технические аспекты рассматриваемой проблемы, вплетенные в сюжет детективного комикса, излагаются в рамках университетского курса по физике, когда-то прослушанного шпионом. Здесь читатель знакомится с классическим «правилом правой руки» для определения направления магнитного поля, возникающего вокруг проводника с током, а также узнает о важных свойствах химических соединений на основе смешанных оксидов иттрия, бария и меди. На нескольких страницах рассказывается об эффекте Мейснера, который иллюстрируется магнитами, «парящими» над слоистыми структурами сверхпроводников. Для тех, кто стремится глубже проникнуть в суть физических явлений, в книге дается не менее десятка поясняющих сносок. Комикс рассказывает также о том, о чем обычно умышленно избегают говорить большинство ученых: в ней приводятся серьезные рассуждения о предполагаемых экономических вы-

годах при применении новых сверхпроводников.

Занимательная история не лишена и рассуждений о роли науки в политике. В одном месте шпион объясняет своему приятелю, что пока Япония занимается разработкой высокотемпературных сверхпроводников, Соединенные Штаты могли бы «держаться в узде» японских исследователей, наложив запрет на экспорт жидкого гелия, без которого не могут работать обычные сверхпроводники.

Позже шпион провозглашает: «Сейчас не время утаивать технологию получения сверхпроводящих материалов и запирать ее в сейфах с секретными замками».

«Вы чересчур наивны», — отвечает ему друг и добавляет, что американские политики уже однажды выступали за засекречивание новых разработок, чтобы не дать японцам опередить себя, но ничего из этого не вышло.

В конце концов и скитающийся шпион, и одержимый страстью к наживе бизнесмен каждый получает свое: бизнесмен узнает, что он не может запатентовать тривиальную идею о применении сверхпроводников, а шпион попадает в объятия красотки.

Реакция читателей на комикс была неоднозначной. Управляющие упомянутого книжного магазина в Нью-Йорке сказали, что хотелось бы видеть комиксы на тему о сверхпроводимости, но покупают их неохотно. А что же пользуется спросом? Серии комиксов о японской экономике.



В своем номере в отеле физик (из комикса, выпущенного издательством «Goma Shobo») изготавливает высокотемпературный сверхпроводник. То, чем он занимается, кажется женщинам таинственным: не пытается ли он сделать бомбу?

Конденсаторы

Эти элементы выполняют роль электронных «защитников» интегральных микросхем. За 200 лет своего существования они неузнаваемо изменились. Современные конденсаторы отвечают всем требованиям передовой полупроводниковой технологии

ДОНАЛЬД М. ТРОТТЕР-МЛАДШИЙ

КРЕМНИЕВЫЙ кристалл, возможно, и является основой современной электроники, но, для того чтобы выполненная на нем интегральная схема работала нормально, к ней обязательно должен быть подключен традиционный компонент — конденсатор. Эти элементы выполняют роль электрических буферов, отводящих ненужные электрические сигналы и задерживающих потоки зарядов, которые могли бы вывести схему из строя. Каждый конденсатор стоит не более нескольких центов, но в мировом масштабе объем их производства измеряется миллиардами долларов. В телевизорах и радиоприемниках, в карманных калькуляторах и больших вычислительных машинах — повсюду, где используются интегральные схемы, можно найти конденсаторы.

Принципы изготовления конденсаторов стали известны еще 250 лет назад, когда в XVIII в. было изобретено устройство под названием лейденской банки*. Эти принципы не изменились до сих пор, однако использование усовершенствованной технологии и новых материалов позволило значительно улучшить конструкцию конденсаторов и повысить эффективность их работы. Суммарный заряд, который мог накапливаться в лейденской банке емкостью 1 л, теперь можно «уместить» в устройстве размером не больше булавочной головки. Действительно, за последние 30 лет размеры конденсаторов уменьшались столь же быстро, насколько быстры были темпы миниатюризации в электронике.

Миниатюризация — это основное направление в совершенствовании

конструкции конденсаторов, поскольку от этого зависит дальнейшее уменьшение размеров интегральных схем. Существуют две наиболее распространенные конструкции конденсаторов, отвечающие современным требованиям миниатюризации, и обе можно назвать инженерным чудом: одна из них основана на использовании хрупких керамических слоев толщиной менее 0,0025 см, а в основе другой лежит технология, позволяющая «свертывать» плоские структуры площадью с газетный лист в объемные конструкции размером с кусок сахара. Чтобы понять теоретические основы этих конструктивных решений, полезно вернуться к рассмотрению устройства самых первых конденсаторов.

ПРООБРАЗОМ современных конденсаторов, как уже говорилось, была лейденская банка. В 1746 г. ее устройство было усовершенствовано английским ученым, астрономом и физиком Дж. Бевисом. Лейденская банка представляет собой стеклянный сосуд, внутренняя и наружная поверхности которого покрыты двумя листами фольги (см. рисунок на с. 52). Через резиновую пробку в горлышке в сосуд вставлен металлический стержень так, что он касается внутреннего листа фольги. Внутренний и наружный листы фольги, в обычных условиях имеющие нейтральный заряд, могут выполнять роль электродов, если их подсоединить к внешнему источнику электрических зарядов.

Источником зарядов может быть электрическая батарейка, генератор тока или простая эбонитовая палочка, потертая о шерсть или мех. Если такой палочкой, несущей в себе свободные электроны, коснуться металлического стержня в горлышке сосуда, электроны перетекут с палочки на внутренний электрод. Таким образом отрицательный заряд будет перенесен на внутренний электрод. Поскольку способность накапливать заряды у сосуда ограничивается взаимным отталкиванием электронов, их переход

на электрод не может быть бесконечным. То же справедливо и в отношении положительных зарядов, которые остаются на внутреннем электроде, если с него отводить свободные электроны. Способность накапливать или удерживать заряды называется емкостью.

В лейденской банке емкость увеличивается благодаря наличию второго электрода, на внешней стенке сосуда. Если этот электрод заземлить, заряд, накопленный на внутреннем электроде, будет притягивать из земли такой же по величине заряд противоположного знака. Поскольку поступление положительного заряда из земли практически неограниченно, то на наружном электроде он может достичь такой величины, которая необходима для нейтрализации отрицательного заряда. Накопленный на наружном электроде положительный заряд притягивает находящиеся на внутреннем электроде отрицательно заряженные электроны, частично нейтрализуя силы отталкивания, которые сдерживают накопление электронов. Благодаря этому емкость сосуда увеличивается.

Однако увеличиваться до бесконечности емкость не может; равновесие сил притяжения и отталкивания всегда наступает при преобладании сил отталкивания, поскольку из-за того, что изолятор имеет какую-то толщину, эти силы возникают ближе к источнику электронов. Следовательно, как только на внутренний электрод будет перенесено дополнительное количество электронов, эффект нейтрализации земли в конце концов станет преобладать. С этого момента перенос дополнительных зарядов на внутренний электрод прекратится.

Имеются два очевидных пути увеличения емкости лейденской банки. Один из них заключается в увеличении площади электродов, с тем чтобы дать возможность зарядам рассредоточиться в большем пространстве и тем самым уменьшить силу взаимного отталкивания электронов. Другой путь — уменьшить толщину стеклян-

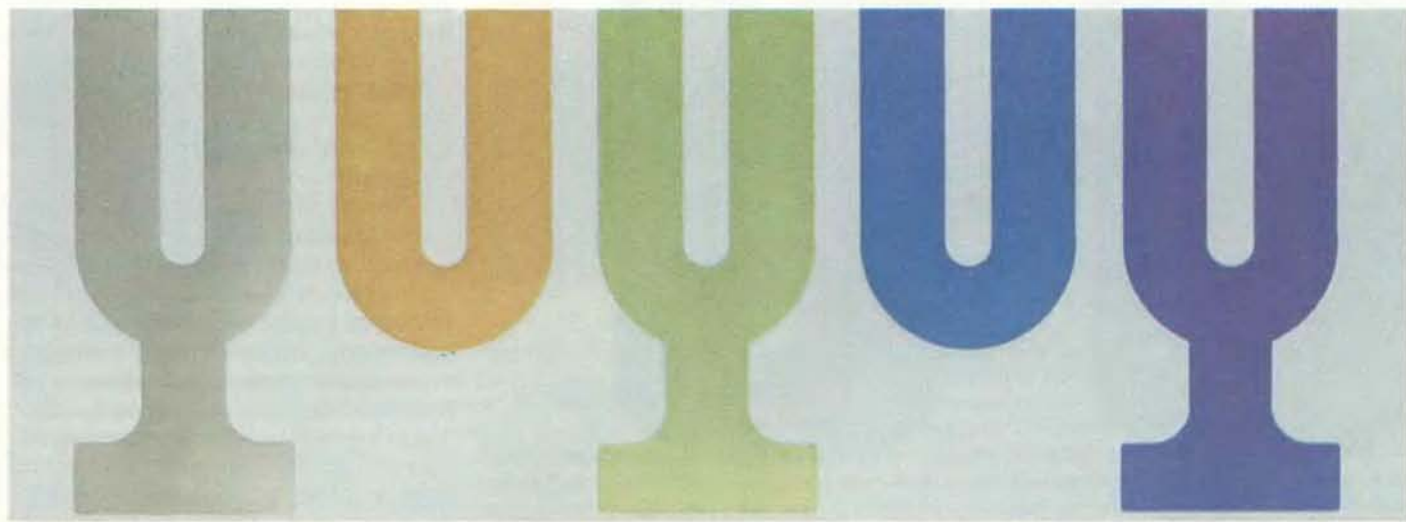
* Имеется в виду изобретение немецкого физика Эвальда Юрген фон Клейста и нидерландского физика Питера ван Мушенбрука. В 1745 г. в Лейдене они создали первый конденсатор, диэлектриком в котором были стенки стеклянной банки. Отсюда и название первого конденсатора — «лейденская банка». — *Прим. перев.*

ной стенки сосуда, разделяющей заряды, скапливающиеся на внутреннем и на внешнем электродах. (Однако, если стекло будет слишком тонким, электроны смогут пройти сквозь него, создавая искровой разряд, который приведет к рассеянию заряда.) Хотя оба эти пути трудно реализовать в лейденской банке, они все же входят в число тех трех классических способов, к которым прибегают современные ученые и инженеры при разработке новых конструкций конденсаторов.

Учет особенностей поведения электронов в непроводящих электрический ток материалах — это третье направление в увеличении емкости. Хотя электроны в изоляционном материале неподвижны, они все же могут слегка смещаться под воздействием сил притяжения или отталкивания, действующих со стороны электродов. На одной стороне разделяющего электрода диэлектрика электроны как бы «всплываются» над его поверхностью, создавая отрицательный заряд, на другой его стороне они

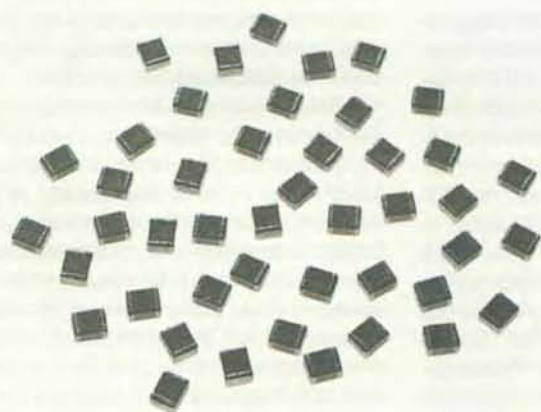
«утопают» в толщу диэлектрика, увеличивая в подповерхностной зоне величину положительного заряда.

Таким образом, созданные в диэлектрике заряды способствуют нейтрализации зарядов на обкладках, а некоторые диэлектрики могут нести заряды, которые по величине не уступают зарядам на самих электродах. Нейтрализация зарядов уменьшает действие сил отталкивания и создает условия для накопления на электродах большего заряда, что ведет к увеличению емкости. Степень проявле-

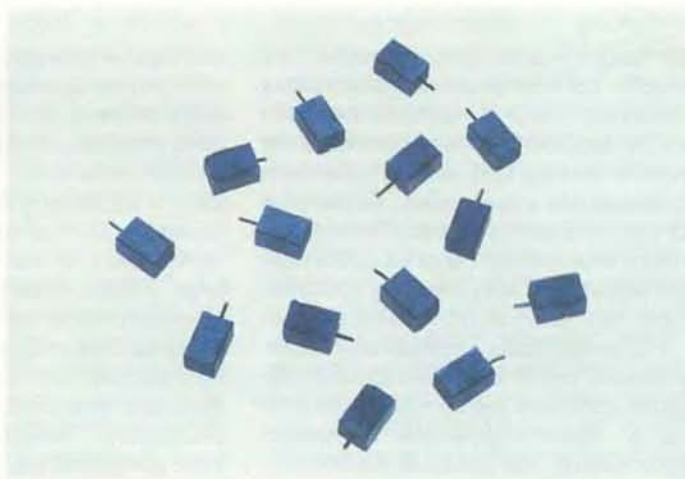


ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОБРАЗЦЫ пластин для конденсаторов, изготовленных из ниобия с оксидированным покрытием. Слева — пластина из чистого металла, справа — пластины, прошедшие процесс оксидирования. Слой оксида выполняет роль диэлектрика. Толщина оксидной пленки настолько мала, что в отраженном свете она интерферирует, благодаря чему пластины приобретают специфиче-

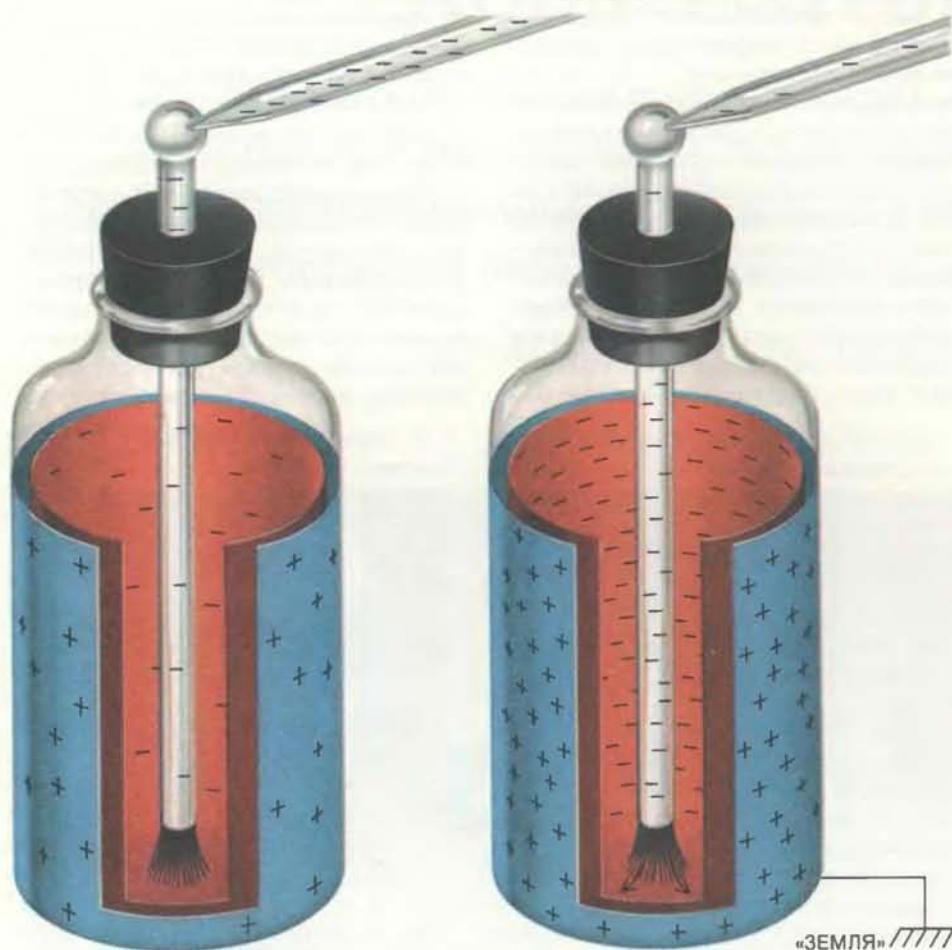
скую окраску фиолетового, голубого и зеленого тонов; более толстые пленки имеют красный и оранжевый оттенки. Хотя оксид ниобия — отличный диэлектрик, его надежность невысокая, поскольку гладкая поверхность слоя оксида становится шероховатой в результате его кристаллизации в электрическом поле.



МНОГОСЛОЙНЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ КОНДЕНСАТОРЫ отличаются необычайно малыми размерами. Серебристого цвета выступы с каждой стороны — это выводы; между выводами — окрашенный в бурый цвет керамический диэлектрик на основе титаната бария. Готовые конденсаторы часто покрываются пластиком. В электрических цепях такие конденсаторы предохраняют схемы от случайных всплесков напряжения.



ТАНТАЛОВЫЕ ЗАГОТОВКИ — это промежуточная продукция в процессе производства танталовых конденсаторов. Заготовки покрываются слоем оксида тантала, который подобно оксидной пленке на пластинах из ниобия, изображенных на верхней фотографии, окрашивается в различные цвета в зависимости от толщины: голубые пленки толще, чем темносиние. Танталовые и многослойные керамические конденсаторы — одни из самых распространенных.



ЛЕЙДЕНСКАЯ БАНКА — прообраз современных конденсаторов. Она представляет собой стеклянный сосуд с двумя электродами (обкладками) из фольги, которой выложены его внутренняя (красный) и наружная (синий) поверхности. Через резиновую пробку в сосуд пропущен металлический стержень, который касается внутреннего электрода; от внешнего источника на него перетекает отрицательный заряд (электроны; помечены знаком «минус»), который может накапливаться на внутреннем электроде, благодаря тому что на внешнем электроде накапливается положительный заряд (слева). Когда внешний электрод заземлен, на внутреннем может накапливаться большой отрицательный заряд.

ния этого феномена зависит от свойств диэлектрика и называется диэлектрической проницаемостью (иногда диэлектрической постоянной) данного материала. Диэлектрическая проницаемость указывает, во сколько раз увеличивается емкость конденсатора, когда вместо вакуума пространство между его электродами (обкладками) заполняется данным материалом. Стекло, используемое в лейденской банке, имеет величину диэлектрической проницаемости примерно равную 5. Диэлектрическая проницаемость новых материалов, используемых в современных конденсаторах массового производства, достигает 20 000.

Применением этих материалов как раз и объясняется высокая эффективность работы многослойных керамических конденсаторов, являющихся одним из двух наиболее распространенных видов этого устройства. Дру-

гой тип — электролитические конденсаторы; их удельная емкость (на единицу объема) еще выше, даже без использования диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью. Объем производства тех и других составляет 95% общего количества поступающих в продажу конденсаторов. Таким образом, оба эти типа конденсаторов конструктивно основаны на разных принципах, но в том и другом случае достигается максимальная эффективность их работы. Насколько различны конструкции этих конденсаторов, настолько не похожи и методы их изготовления.

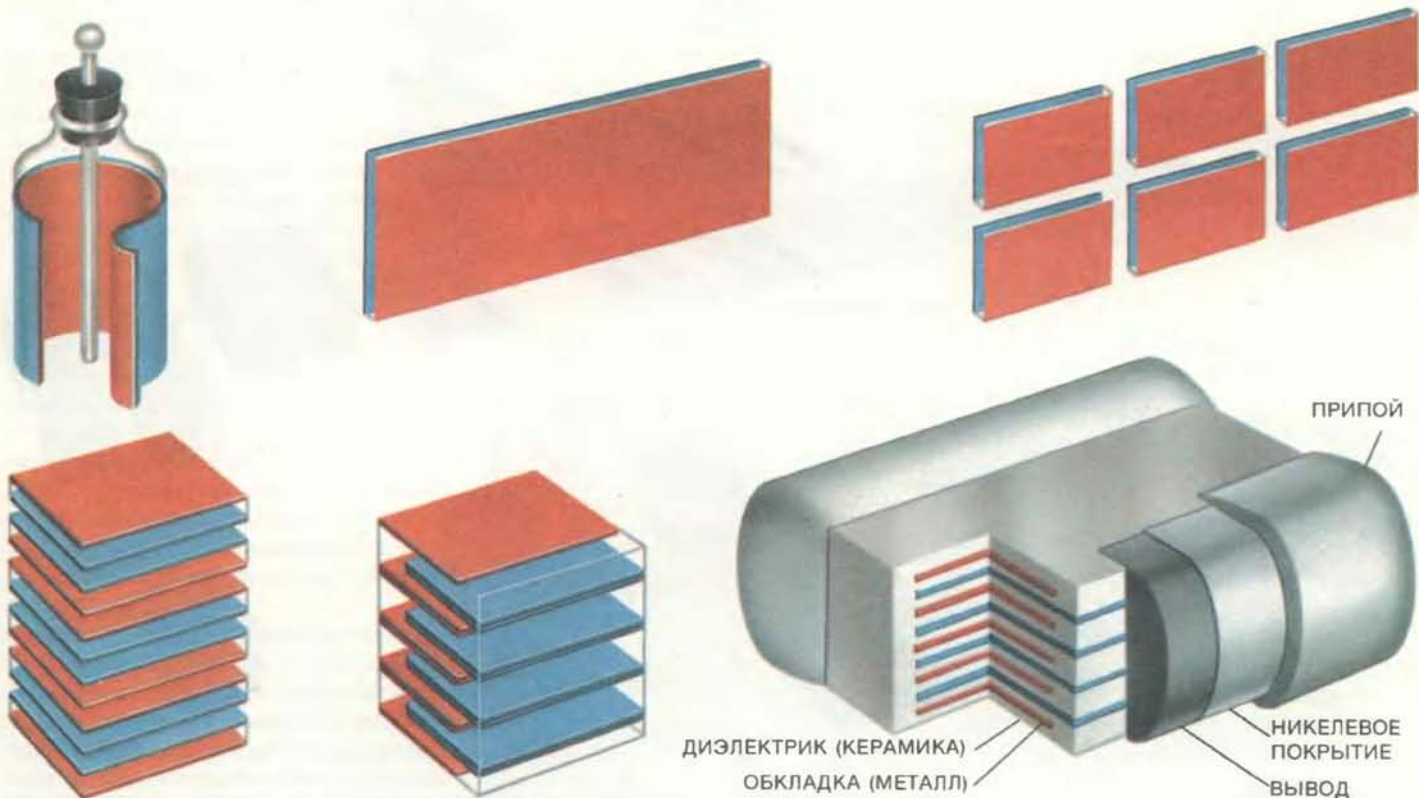
МНОГОСЛОЙНЫЙ керамический конденсатор есть не что иное, как уменьшенный вариант лейденской банки (см. рисунок на с. 53). Представьте, что мы разрезали сосуд по высоте и развернули его, получив большую плоскую пластину из стекла

с обкладками на каждой ее стороне. Эту пластину можно разрезать на небольшие квадраты, а затем сложить их стопкой друг на друга так, чтобы внутренние обкладки прилегли к внутренним, а внешние — к внешним. Если теперь с одной стороны стопки у всех внутренних обкладок отрезать с краев узкую полоску, то все внешние обкладки можно соединить одной общей прилегающей к ним сбоку проводящей пластиной, которая будет служить выводом (внешним контактом). Аналогично с другой стороны стопки можно соединить все внутренние обкладки, предварительно отрезав такие же узкие полоски с краев всех внешних обкладок. В результате получим многослойную структуру с двумя изолированными друг от друга выводами — один соединяет все внутренние обкладки, другой — все внешние.

Конечно, это не означает, что все многослойные керамические конденсаторы имеют именно такую конструкцию; это — лишь принцип. На практике в качестве диэлектрика в керамических конденсаторах используется титанат бария с добавлением небольшого количества других оксидов. Такие керамики, имеющие диэлектрическую проницаемость в пределах от 2000 до 6000, в исходном состоянии представляют собой тонкодисперсный порошок, частицы которого имеют диаметр несколько микрон ($1 \text{ мкм} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}$). Порошок смешивают с растворителем, содержащим связующее вещество, которое потом соединит равномерно рассредоточенные в растворе частицы керамики. Полученная смесь в виде жидкой глины имеет консистенцию, такую же как у краски.

Смесь разливают слоем на бумажную или стальную ленту, толщина слоя выравнивается гребнем, устанавливаемым над поверхностью ленты на высоте несколько сотых долей миллиметра. По мере испарения растворителя смесь высыхает, образуя вязкую «сырую» (необожженную) пленку, гладкую и эластичную, как тонкая материя. Пленка режется на квадратные пластины с размером стороны 15—20 см; на каждую такую пластину методом печатного монтажа наносится несколько тысяч обкладок через специальный тонкий экран (трафарет), задающий их конфигурацию. Для нанесения обкладок используется серебряно-палладиевая суспензия, представляющая собой смесь мельчайших частичек металла и органического связующего вещества.

После того как обкладки нанесены, берут от 30 до 60 пластин и спрессовывают их между несколькими слоя-



КОНСТРУКЦИЯ многослойного керамического конденсатора «родилась» из лейденской банки. Если сосуд рассечь и развернуть, а затем полученный лист разрезать на небольшие пластины и сложить их так, чтобы внутренние обкладки (красные) соприкасались с внутренними, а наружные (синие) — с наружными, то сосуд трансформируется в структуру, в которой слои диэлектрика (стекло) будут чередоваться со слоями обкладок (фольга). Все внутренние обкладки можно объединить в один общий электрод, а

внешние — в другой, если с одной стороны сложенных в стопку пластин срезать по краю только внутренние обкладки, а с другой стороны — только наружные, и соответственно с каждой стороны соединить выступающие края обкладок общим проводником. В разрезе многослойный керамический конденсатор представляет собой именно такую структуру (внизу справа) — многослойный сэндвич с никелированными выводами, покрытыми припоем.

ми таких же пластин, на которые обкладки не наносились, и вся эта многослойная структура (пакет) разрезается на несколько тысяч отдельных конденсаторов. На соседних пластинах в пакете рисунок обкладок сдвинут в противоположных направлениях, так что, когда пластины складываются и разрезаются, обкладки получаются у краев с обеих сторон, чередуясь по слоям. Полученные таким образом заготовки конденсаторов обжигаются в печи с медленным нагревом до температуры 1000 — 1400 °С. Связующее вещество, содержащееся в керамических слоях и суспензии, в процессе нагревания выгорает, и керамика спекается, т. е. отдельные ее частицы связываются, как бы прилипая друг к другу, но не сплавляясь. В конце обжига керамические слои превращаются в мелкозернистую сплошную массу — хрупкую, но прочную. Металлические частицы в обкладках в процессе обжига также спекаются, образуя сплошные металлические пленки.

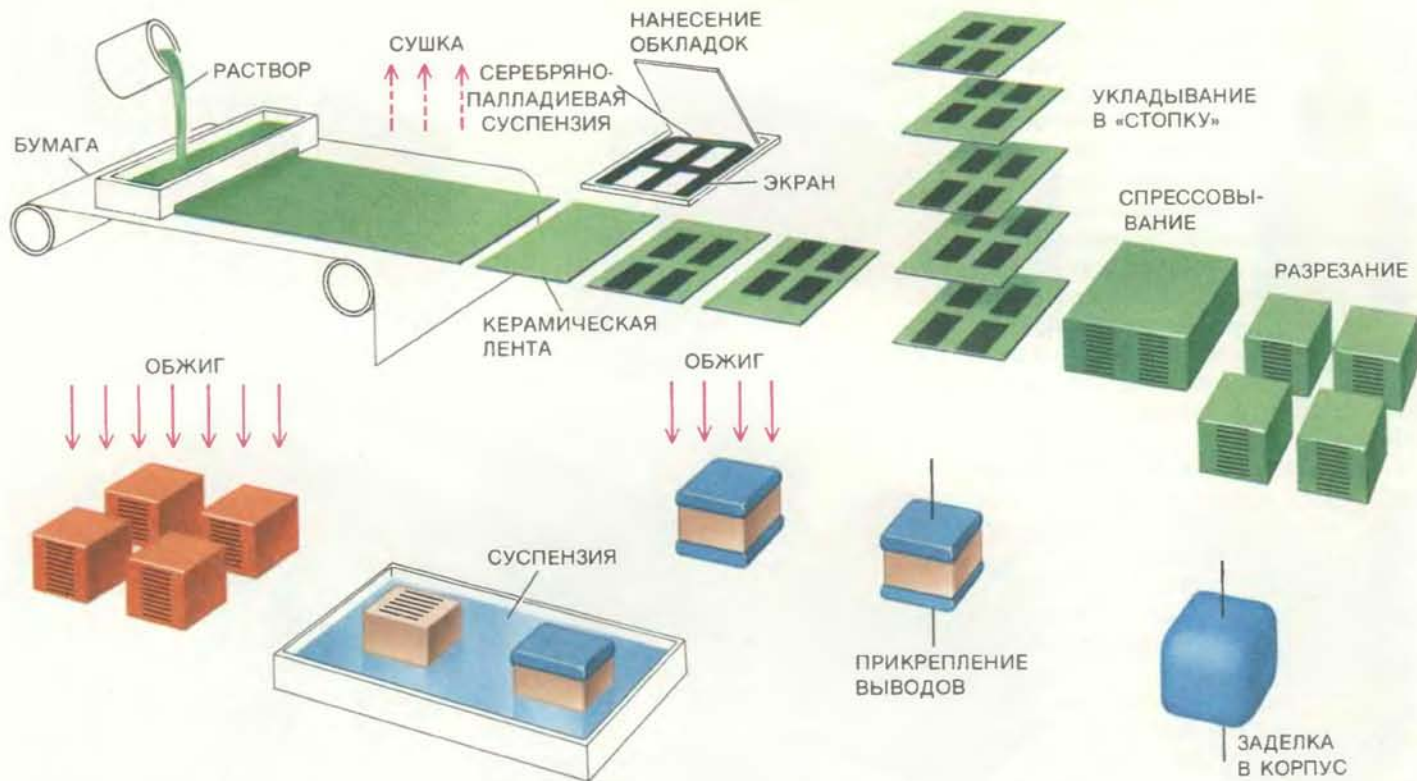
Контакты, соединяющие обкладки, делаются путем погружения двух сторон каждого конденсатора в другую

ванну с серебряно-палладиевой суспензией, состав которой таков, что она хорошо сцепляется с керамикой. Нанесенный слой суспензии вновь обжигается. Затем контакты покрываются никелем, чтобы предотвратить выщелачивание серебра и чтобы к ним можно было приделать выводы, необходимые для последующего припайки конденсатора к электрической схеме. Как правило, готовые конденсаторы заделываются в пластмассовый корпус, чтобы предохранить его от влаги.

В несколько измененном виде ту же технологию можно использовать для изготовления конденсаторов со свинцово-оловянными обкладками. Рисунок будущих обкладок наносится на необожженную керамическую ленту путем напыления суспензии, содержащей не серебро и палладий, как в предыдущем случае, а углерод и измельченную керамику; во время обжига углерод выгорает и образуется пористая структура из мельчайших зерен керамики в виде столбиков. Путем погружения конденсаторы покрываются с боков серебряной пенистой суспензией и затем вновь обжи-

гаются. Так на конденсаторе получаются контакты. После этого конденсаторы помещают в камеру, где из пор высушенной керамической суспензии удаляется воздух, и конденсаторы погружаются в ванну со свинцово-оловянным расплавом, имеющим температуру 320 °С. Когда давление в камере достигает нескольких десятков килограмм на один квадратный сантиметр, расплав проникает в поры и заполняет их, образуя обкладки.

Свинцово-оловянные конденсаторы несколько надежнее и дешевле по сравнению с серебряно-палладиевыми, но поскольку, для того чтобы выдержать высокие давления при инжекции металла в керамику, слои из нее приходится делать более толстыми, удельная емкость (на единицу объема) у этих конденсаторов ниже. Размеры свинцово-оловянных конденсаторов обычно составляют 0,8—1,5 см², а толщина керамических слоев — от 20 до 40 мкм. Металлические обкладки обычно имеют толщину от 1 до 5 мкм. Общая площадь поверхностей всех слоев в таком конденсаторе достигает 100 см² на 1 см³ объ-



ИЗГОТОВЛЕНИЕ многослойных керамических конденсаторов со слоями диэлектрического материала толщиной менее 0,0025 см начинается с того, что измельченную керамику (как правило, титанат бария) смешивают с жидким раствором, содержащим связующее вещество. Эту смесь наносят на бумажную ленту и высушивают, чтобы получить керамическую пленку, которую затем режут на квадратные пластины со стороной 15—20 см. На эти квадратные заготовки наносят обкладки в количестве нескольких тысяч путем напыления серебряно-палладиевой суспензии. Об-

кладки на плоскости квадрата размещают со сдвигом поочередно то к одному краю, то к другому. 30—60 квадратных листов складывают в стопку, спрессовывают и разрезают на кубы, которые обжигают при температуре 1000—1400 °С. После этого противоположные стороны кубических заготовок (там где выступают обкладки) покрывают серебряно-палладиевой суспензией и покрытие обжигают при более низкой температуре. Затем к конденсатору припаивают проволочные выводы и заключают его в пластиковый корпус.

ема. В новых конструкциях конденсаторов этот показатель может быть еще выше за счет того, что толщина керамических слоев в них не превышает 10 мкм.

ОСНОВНАЯ причина, почему многослойные керамические конденсаторы обладают чрезвычайно высокой емкостью на единицу объема, заключается не в том, что у них очень большая площадь обкладок и малая толщина слоев диэлектрика, а в том, что используемые в качестве слоев диэлектрика титанат бария и другие материалы имеют исключительно высокую величину диэлектрической проницаемости. Керамики на основе ниобата магния и свинца — нового материала, получающего все более широкое распространение в производстве конденсаторов, имеют в 2-3 раза более высокую величину диэлектрической проницаемости, а его температурная стабильность не хуже, чем у других используемых сегодня керамических материалов. Таким образом, традиционное стремление оптимизировать характеристики используемых в керамических конденсаторах диэлектрических

материалов все еще удерживается достаточно сильно.

Напротив, изоляционные материалы, используемые в электролитических конденсаторах, имеют величину диэлектрической проницаемости в пределах от 8 до 27. Тем не менее эти конденсаторы обладают большей емкостью по сравнению с керамическими конденсаторами такого же объема. Своим преимуществом электролитические конденсаторы обязаны сочетанию исключительно большой площади и крайне малой толщины слоев диэлектрика. В обычном электролитическом конденсаторе общая площадь поверхности диэлектрика составляет 1 м² на 1 см³ объема, и, таким образом, отношение площади к объему у него в 10 раз больше, чем у многослойного керамического конденсатора, а толщина диэлектрических слоев у электролитического конденсатора в 100 раз меньше.

Электролитический конденсатор можно уподобить лейденской банке из очень тонкого стекла, уменьшенной до размеров небольшого куба. Он изготавливается из куска металла с 60%-ной пористостью. Для боль-

шинства современных электролитических конденсаторов используют измельченный тантал — твердый металл серого цвета. Порошок тантала спрессовывают и затем в течение нескольких часов полученную заготовку нагревают в вакуумированной камере до температуры, близкой к 2000 °С. В результате частицы металла спекаются, плотно сцепляясь друг с другом. Образующиеся при этом небольшие ниши и щели в толще спрессованного порошка повышают поверхностную площадь заготовки, которая потом будет выполнять роль одной из обкладок конденсатора.

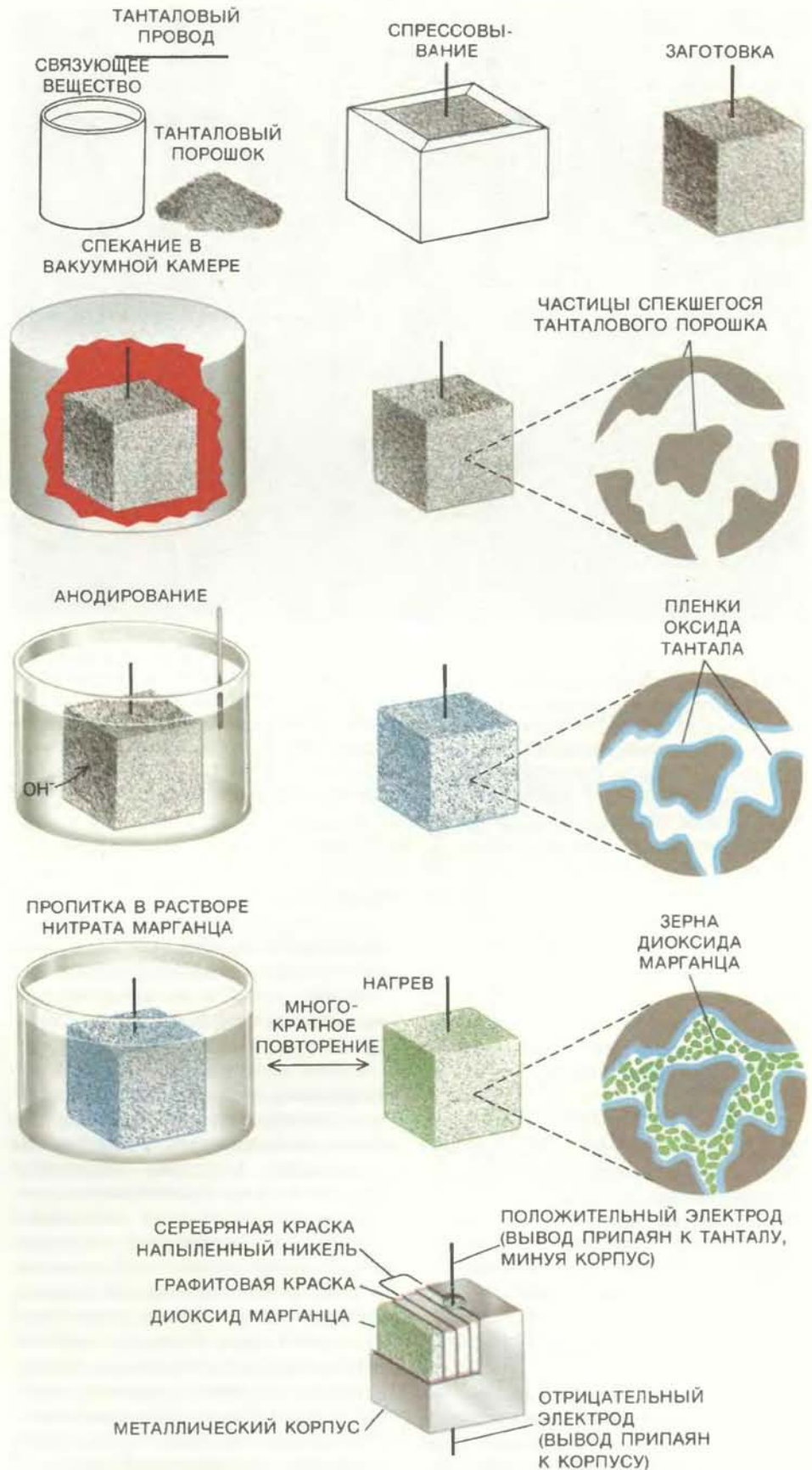
Самый простой способ создать непрерывный изолирующий слой в сложной пористой структуре танталовой обкладки заключается в том, чтобы проводящие поверхности пор металлической заготовки сделать непроводящими. Этого можно достичь путем окисления поверхности спрессованной порошковой заготовки и получить таким образом слой диэлектрика из оксида тантала. Фактически такой слой можно получить в процессе изготовления заготовки, если термообработку тантала производить не

в вакууме, а в воздушной среде, но слой оксида при этом получится крупнозернистым, и, следовательно, не исключена вероятность стекания заряда, что может привести к пробое и выходу конденсатора из строя.

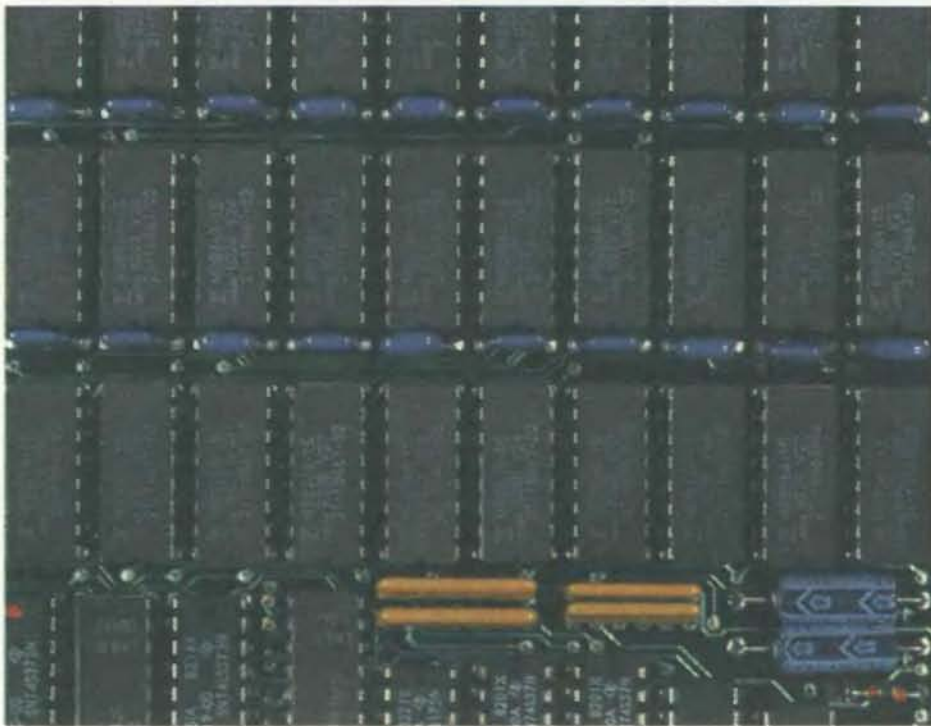
Гладкий, лишенный нежелательных выступов изолирующий слой можно получить другим способом — с помощью так называемого анодирования. Для этого танталовая заготовка погружается в электролитическую ванну с раствором кислоты или щелочи, где она выполняет роль анода: к заготовке и другому электроду (катоде) от внешнего источника подводится напряжение. Электрическая цепь составляется таким образом, чтобы электроны двигались от тантала к катоду. Проводящей средой между электродами является раствор (электролит).

Раствор заполняет поры в танталовой заготовке, целиком покрывая их поверхность. По мере того, как электроны с тантала переходят в раствор, заготовка приобретает положительный заряд, и отрицательно заряженные ионы, содержащие кислород, переходят из раствора и осаждаются на ней. В результате соединения ионов с атомами металла образуется оксид тантала. Постепенно слой оксида становится толще и достигает своей предельной толщины 0,1—0,2 мкм. Этот слой оксида прозрачен, и поскольку его толщина сравнима с длиной волны света, то за счет явления интерференции он приобретает определенный цвет (см. правый нижний рисунок на с. 51), который зависит от толщины слоя оксида. Благодаря этому по цвету заготовки всегда можно определить точно, достиг ли слой оксида нужной толщины.

По завершении процесса электролиза полученный слой диэлектрика необходимо покрыть материалом, который мог бы выполнять функции второй обкладки. Вначале, когда эта технология только отработывалась в лабораторных условиях, поры заполняли электропроводящей жидкостью, которая и служила в качестве второй обкладки, но присутствие жидкого компонента в конденсаторе затрудняло создание герметичного корпуса, и, кроме того, такой конденсатор не мог выдержать низких температур. В 1956 г. сотрудники фирмы Bell Telephone Laboratories разработали технологию, которая теперь повсеместно используется в производстве танталовых конденсаторов. Этот способ заключается в насыщении пористой анодированной заготовки концентрированным раствором нитрата марганца — жидкостью бледно-розового цвета. Когда после этого заготовку нагревают до температуры



ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТАНТАЛОВЫХ КОНДЕНСАТОРОВ начинается с того, что из порошка тантала, смешанного со связующим веществом, прессуют пористую заготовку. Ее помещают в вакуумную камеру, где при высокой температуре металлические частицы спекаются, а затем в электролитической ванне заготовку подвергают анодированию, с тем чтобы на поверхностях пор получить изолирующий слой оксида тантала. Потом заготовку погружают в раствор нитрата марганца. После нагрева в ее порах осаждаются частицы полупроводящего диоксида марганца, слой которых выполняет роль одной обкладки, а танталовые частицы под слоем оксида тантала — роль другой обкладки. Конденсатор покрывают графитовой, потом серебряной краской, напыляют слой никеля и заделывают в корпус.



ЗАПОМИНАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО компьютера включает конденсаторы двух основных типов. Знакомые темно-коричневые прямоугольники — это блоки полупроводниковых интегральных микросхем; каждый такой блок соединен с развязывающей цепью, собранной на многослойных керамических конденсаторах (в ярких голубых корпусах). Эта цепь предохраняет микросхемы от случайных ложных сигналов. Танталовые конденсаторы (в синих корпусах в полоску) предохраняют запоминающее устройство от случайных перепадов напряжения в цепи питания.

300 °С, вода из абсорбированного раствора испаряется, а нитрат марганца разлагается с образованием на поверхности всех внутренних полостей заготовки слоя диоксида марганца. Процесс повторяется несколько раз до тех пор, пока этот слой не достигнет нужной толщины.

ДИОКСИД марганца — это один из видов керамики, обладающей достаточно хорошей электропроводностью, чтобы выполнять роль второй обкладки в электролитическом конденсаторе. Он имеет еще одно положительное свойство: его присутствие создает условия, при которых конденсатор способен восстанавливать работоспособность в случае пробоя изолирующего слоя из оксида тантала. При пробое электроны имеют возможность свободно преодолевать барьер между обкладками. Если пробой достаточно мал по площади, теплота, образуемая потоком электронов, может увеличить температуру в соседней области и вызвать распад диоксида марганца с образованием кислорода и оксида марганца. Свободный кислород реагирует с танталом на оголенном участке и в результате образуется дополнительное количество оксида тантала, который

как бы накладывает «заплату» на место пробоя. Более того, образуемый в окрестности пробоя оксид марганца не является хорошим проводником и поэтому способствует изоляции места пробоя от остальной части обкладки.

После того как получен слой диэлектрика и слой проводящей обкладки электролитический конденсатор необходимо заделать в корпус. На танталовую заготовку напыляется никель, а затем она покрывается защитным слоем графита и серебра и при этом на ее поверхности заделываются все шероховатости. В таком виде конденсатор помещается в металлический корпус. Вывод, припаянный непосредственно к корпусу, соединяется с обкладкой из диоксида марганца через слой никеля, графита и серебра, а другой вывод, изолированный от корпуса и вделанный в заготовку, соединен с танталовой обкладкой. В таком виде конденсатор готов для подсоединения к электрической схеме.

Несмотря на то, что электролитические конденсаторы имеют большую удельную емкость по сравнению с другими типами конденсаторов, область их применения ограничена. Во-первых, это объясняется тем, что подводимое к нему напряжение долж-

но иметь определенную полярность, которую нельзя менять. Если на обкладках многослойного керамического конденсатора могут накапливаться заряды любого знака, то в электролитическом конденсаторе положительный заряд всегда должен накапливаться на металлической обкладке, поскольку именно при такой полярности осуществлялся процесс анодирования. Практически эта особенность допускает применение электролитических конденсаторов только в цепях постоянного тока, в то время как керамические конденсаторы можно использовать в цепях и постоянного и переменного тока. Во-вторых, электролитические конденсаторы более подвержены пробоям, поскольку слои диэлектрика в нем очень тонкие. Следовательно, использование керамических конденсаторов в цепях высокого напряжения гарантирует большую надежность.

Рассмотренные в статье два типа конденсаторов имеют и другие различия с точки зрения их поведения в электрических цепях. Эти различия должны учитываться при разработке электрических схем. Подводя итог, можно сказать, что и тот и другой тип конденсаторов является ярким примером того, как на основе удачного сочетания новых материалов и технологических процессов удалось достичь столь высокой степени миниатюризации конденсаторов, которые по сути своей остались той же лейденской банкой. Под влиянием требований, диктуемых развитием электронной схемотехники, разработчики стремятся создать еще более миниатюрные конденсаторы, для чего они пытаются найти новые материалы с более высокой диэлектрической проницаемостью, чтобы можно было уменьшить толщину диэлектрических слоев и за счет этого увеличить общую площадь обкладок. Будущие открытия, вероятно, позволят создать такие конденсаторы, по сравнению с которыми нынешние конструкции будут казаться столь же громоздкими, какой теперь нам кажется лейденская банка.

НАПОМИНАЕМ АДРЕСА МАГАЗИНОВ — ОПОРНЫХ ПУНКТОВ ИЗДАТЕЛЬСТВА «МИР»

440605 Пенза,
просп. Победы, 4, магазин № 1
142292 Пушкино-на-Оке,
просп. Науки, магазин № 7
620151 Свердловск,
ул. Карла Либкнехта, 16,
магазин № 8 «Техническая книга»

Наука и общество

«Сверхнепригодные»

В ЯНВАРЕ группа теоретиков — специалистов по сверхновым звездам, собралась в Аспене (шт. Колорадо), чтобы обменяться мнениями. Появление в начале 1987 г. сверхновой 1987А убедительно подтвердило существующие представления о том, как взрываются звезды. Однако участники конференции поняли, как далеки они еще от полного объяснения этого процесса, когда Дж. Вильсон из Лоуренсовской национальной лаборатории в Ливерморе сообщил, что его компьютерные модели сверхновых перестали «взрываться».

«Это было неприятно», — вспоминает С. Вузли из Калифорнийского университета в Санта-Крус, использующий модели Вильсона в своих исследованиях по эволюции звезд. По словам Вузли, то, что модели сверхновых не взрываются, — достаточно частое явление, хотя оно и не привлекает большого внимания. «Это очень сложно и немного обескураживает», — объясняет он.

Первые модели появились в конце 60-х годов в Ливерморе, где ученые имели доступ к сложным программам и, что более важно, к мощным компьютерам, используемым в исследованиях в области ядерных вооружений. «Большинство теорий, созданных до появления компьютерных моделей, были слишком неопределенными», — говорит Вильсон, который с 1970 г. занимается моделированием звездных взрывов, т.е. больше чем другие ученые в этой области.

Вильсон постоянно совершенствует свои модели, представляющие собой сложную «смесь» ядерной физики, общей теории относительности и гидродинамики, чтобы отразить более точные данные и новые теории. В результате доработок у него, по его словам, выходит, что «иногда модели взрываются, а иногда нет. Так было на протяжении многих лет». Новая модель, которую он проверил в прошлом году, оказалась несостоятельной, что и явилось поводом для его заявления на конференции в Аспене. С помощью своих коллег в Ливерморе, говорит Вильсон, он недавно добился, чтобы его новая модель «взрывалась». Конечно, взрывающаяся модель совсем не обязательно верна. Например, в 1973 г. он ввел новую гипотезу о взаимодействии нейтрино с ядром и получились «красивые» взрывы; год спустя оказалось, что эта гипотеза неверна.

Вильсон моделировал сверхновые II типа, которые появляются в ре-

зультате сжатия ядра массивной звезды, затем происходит обратный процесс с образованием ударной волны, срывающей внешние слои звезды. (Звезды I типа — это белые карлики, которые притягивают вещество звезды — компаньона, а затем вспыхивают в результате термоядерного взрыва.) В действительности это происходит в течение секунды, а на суперкомпьютере «Сгау» в Ливерморе для расчетов необходимо 5ч машинного времени. Драма разыгрывается не на экране дисплея, а на длинных распечатках, сплошь усеянных цифрами.

У Э. Барона из Нью-Йоркского университета и Дж. Куперстейна из Брукхейвенской национальной лаборатории — основных «соперников» Вильсона в моделировании звезд II типа — были также победы и поражения. Они начали заниматься моделированием в 1981 г. и на протяжении более чем трех лет у них ничего не получалось. В конце 1984 г. они в конце концов получили взрывы при помощи модели, основу которой составляли более «мягкие» уравнения состояния (что является своего рода мерой упругости), чем в модели Вильсона. «Уравнения резинового мяча — мягкие, а кирпича — более твердые», — объясняет Барон. Недавно они учли в своей модели новые физические соображения, в результате чего она стала менее определенной.

В моделях у Барона и Куперстейна взрывы происходят очень «быстро»: ядро сжимается и затем взрывается так интенсивно, что ударная волна проходит через всю звезду и срывает ее верхние слои. Взрывы в моделях Вильсона замедленные: ударная волна задерживается на короткое время во внешних областях звезды и во время паузы, которую Г. Бете из Корнеллского университета назвал «освежающей», ядро нагревается и испускает импульс нейтронов, который в свою очередь подстегивает ударную волну. Бете, получивший Нобелевскую премию 1967 г. за исследования в области физики звезд, считает, что могут происходить оба механизма, но он отдает предпочтение механизму быстрых взрывов, в результате которых высвобождается в два раза больше энергии, чем при медленных. Вильсон признает, что «большинство специалистов, вероятно, склоняются в пользу быстрых взрывов, а не медленных, и он ищет новые уравнения состояния, которые сделают взрывы в его модели быстрыми».

Неудачи с моделями сверхновых, считает Вильсон, показывают, что после 20 лет исследований ученые все еще далеки от решения этой пробле-

мы. Здесь могут принести пользу новые данные наблюдений. Сверхновая 1978А, хотя и подтвердила некоторые общие прогнозы теории сверхновых, например испускание нейтрино, но не дала достаточно информации, чтобы подтвердить детальные компьютерные модели. Более глубокое понимание физики высокоплотного ядра также поможет разработчикам моделей. «Наиболее неясное место — это уравнение состояния, — отмечает он. — Конечно, могут быть и другие неясности, о существовании которых мы не знаем».

Книги издательства „Мир“

Г. Фор

ОСНОВЫ ИЗОТОПНОЙ ГЕОЛОГИИ

Перевод с английского

Книга известного американского ученого представляет собой современное, глубокое, детальное и полное изложение проблем изотопной геологии. В ней представлены классические основы этой науки, описаны традиционные изотопные методы, дан анализ перспектив и состояния ряда совершенно новых изотопно-геологических методов. В то же время книга служит средством освоения методов интерпретации изотопно-геологических данных, извлечения из них информации о природных процессах. В ней освещаются физические и геохимические основы методов изотопной геологии, вопросы использования радиогенных изотопов как индикаторов источников вещества, описываются существующие методы изотопной геохронологии: калий-аргоновый, рубидий-стронциевый, самарий-неодимовый, лютеций-гафниевый, уран-торий-свинцовый, обычного свинца. Приводятся исчерпывающие сведения о геохимии стабильных изотопов легких элементов и об использовании изотопного фракционирования для исследования процессов миграции вещества.

1989 г., 56 л. Цена 11 р. 50 к.



Как фокусирует человеческий глаз

С возрастом у людей ослабевает способность фокусироваться на близкие предметы. Установлено несколько вероятных причин этого, в том числе изменения геометрии и биохимии глаза

ДЖЕЙН Ф. КОРЕЦ, ДЖОРДЖ Х. ХАНДЕЛЬМАН

ЭТО СЛУЧАЕТСЯ почти со всеми: годам к 45 человек больше не может читать без очков. Как здоровый молодой глаз фокусирует близкий предмет? Почему слабеет ближнее зрение? Ответ на первый вопрос долго был неполным, а по поводу второго имелись только догадки. Путем фотографических исследований хрусталика и математического моделирования недавно нам удалось глубже проникнуть в обе эти проблемы. Мы показали, что некоторые процессы сообща создают все больше ограничений способности фокусироваться на близкие предметы; другие процессы какое-то время противодействуют этим ограничениям, но в конце концов их возможности истощаются, как правило, на пятом десятилетии жизни.

Когда человек смотрит на что-нибудь, отраженный от предмета свет проходит через роговицу (прозрачный слой переднего полюса глаза) и жидкость, называемую водянистой влагой, затем через зрачок в радужной оболочке попадает в хрусталик, который в норме прозрачен и имеет форму и ориентацию примерно такие, как линза фотокамеры. Оттуда свет идет через гелеподобное стекловидное тело к сетчатке, где свет преобразуется в электрические сигналы, передающиеся в мозг для их интерпретации.

Для того чтобы изображение попало в фокус, лучи света должны изменить свое направление так, чтобы сойтись в центральной ямке сетчатки. Чем ближе предмет к глазу, тем сильнее свет должен отклониться от исходного направления, чтобы изображение было отчетливым. У роговицы, водянистой влаги и стекловидного тела у каждого своя постоянная преломляющая способность (т. е. способность отклонять лучи света), а хрусталик может еще и аккомодировать — кривизна его передней и задней поверхностей изменяется так, что повышается способность фокусировать.

ЧТО ЖЕ позволяет хрусталику аккомодировать? Обширное объяснение, в общем подтвержденное нашими и другими работами, было выдвинуто в середине XIX в. немецким физиком Г. Гельмгольцем в его «Трактате по физиологической оптике». Гельмгольц обратил внимание, что хрусталик подвешен на нитях, выходящих из так называемой цилиарной мышцы (мышцы ресничного, или цилиарного тела), которая окружает экватор хрусталика, как воротник, но не соприкасается с ним непосредственно. Эти незластичные нити, называемые цинновыми связками, как теперь известно, образуют вокруг хрусталика три кольца из похожих на волоски «спицы»: одно кольцо прикреплено к экватору, а два других несколько спереди и сзади него.

Гельмгольц предположил, что, когда глаз сфокусирован на бесконечность (которая для человека начинается с расстояния примерно 6 м), подобная сфинктеру цилиарная мышца расслабляется и потому расширяется; диаметр этой кольцевой мышцы достигает максимума. Расширяясь, мышца натягивает цинновы связки, заставляя их в свою очередь растягивать хрусталик. Натяжение уплощает переднюю и заднюю поверхности хрусталика и увеличивает диаметр его экватора. В этом состоянии, называемом неаккомодированным, способность хрусталика отклонять лучи света минимальна. Совокупное преломление света, обеспечиваемое роговицей, водянистой влагой, неаккомодированным хрусталиком и стекловидным телом как раз таково, что изображение далекого предмета фокусируется в центральной ямке.

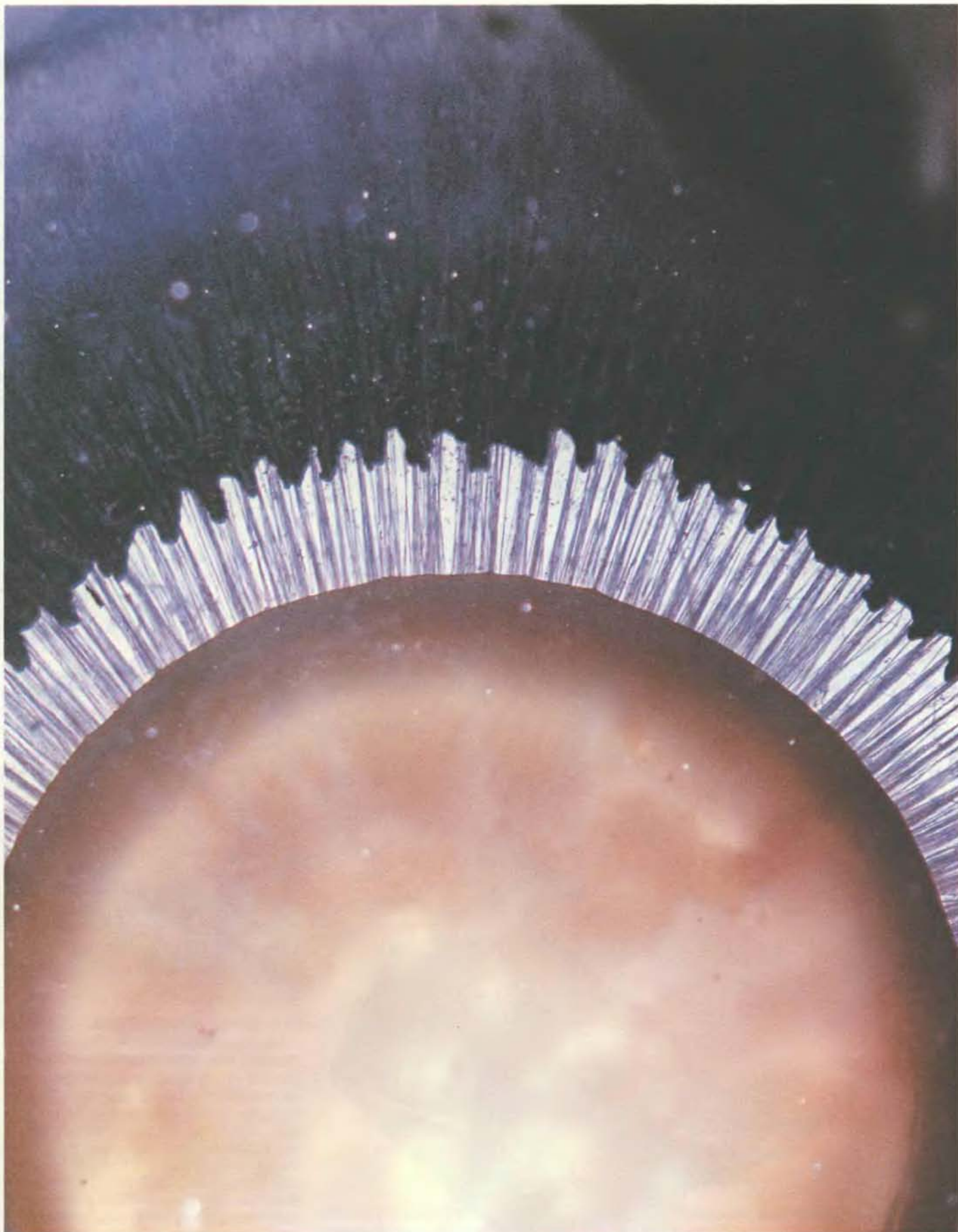
Когда глаз стремится сфокусироваться на точке ближе 6 м, цилиарная мышца сокращается, в результате диаметр ее отверстия уменьшается и сама мышца слегка сдвигается вперед. Оба эти изменения уменьшают натяжение связок и тем самым вызываемое ими натяжение хрусталика. Затем хрусталик эластически восста-

навливается; очень похоже на то, как после сжатия расширяется мячик из губчатой резины, хрусталик переходит в менее напряженное состояние. По мере того как хрусталик фокусируется на все более близких предметах, он становится толще спереди назад, его поверхности резче искривляются, а диаметр экватора уменьшается. Этот процесс ослабления напряжения строго регулируется для обеспечения точного уровня дополнительного преломления, нужного для фокусировки на предметах, расположенных ближе 6 м.

Таким образом, хрусталик не аккомодирован — он наиболее плоский и обладает наименьшей преломляющей способностью, — когда испытывает максимальное натяжение, т. е. когда глаз сфокусирован на бесконечность и цилиарная мышца полностью расслаблена. Хрусталик максимально аккомодирован — резче всего изогнут и обладает наибольшей преломляющей способностью, — когда он испытывает наименьшее натяжение, т. е. когда глаз сфокусирован на ближайшем различимом предмете и цилиарная мышца полностью сокращена.

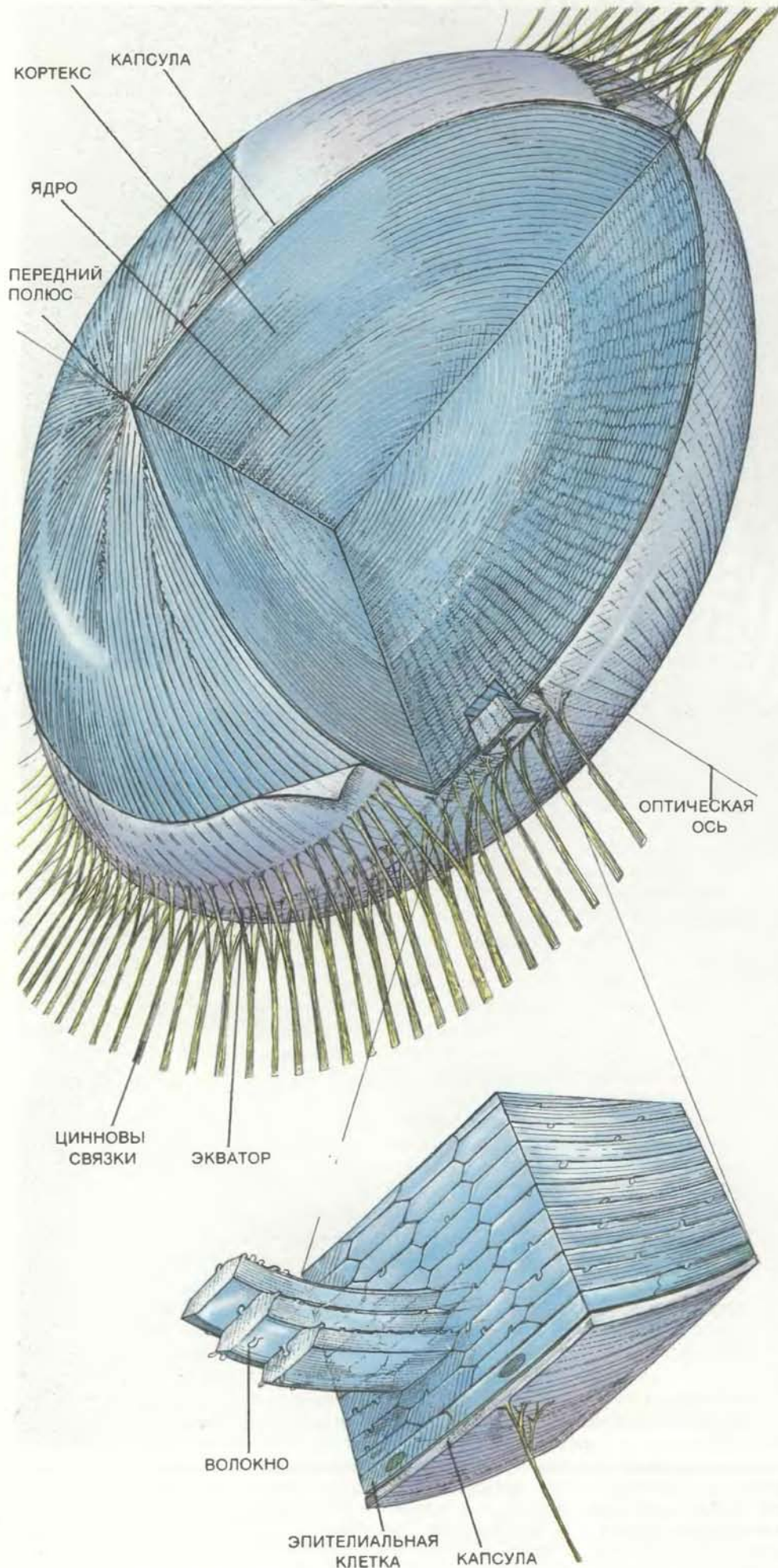
Предложенная Гельмгольцем модель аккомодации в настоящее время общепринята, но она оставляет много вопросов без ответа. Как влияют на форму хрусталика небольшие изменения в характере натяжения, создаваемые цинновыми связками? Какое требуется ослабление силы, создаваемой связками, чтобы обеспечить кривизну хрусталика, достаточную, скажем, для чтения, и под каким углом связки при этом должны подходить к хрусталику? Играет ли роль в аккомодации стекловидное тело, которому Гельмгольц не уделил особого внимания?

Кроме того, Гельмгольц представлял себе хрусталик как легко деформируемый мешочек с жидкостью. На самом же деле вещество в «мешочке» состоит из длинных, подобных лентам, волокон, которые сцеплены друг с другом, а также лежат одно на дру-



ХРУСТАЛИК ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ГЛАЗА как бы подвешен на нитях, называемых цинновыми связками (фиолетовые «нити»), которые отходят от цилиарной мышцы, кольцом охватывающей хрусталик и примерно concentричной ему. На этом фронтальном изображении мышца не видна, она погружена в ресничное тело (темная «морщинистая» об-

ласть). Цилиарная мышца и цинновы связки играют главную роль в регуляции способности хрусталика аккомодировать, т. е. изменять свою форму так, чтобы возрастала фокусирующая способность. Способность к аккомодации обычно утрачивается приблизительно к 45 годам. (Фотография сделана П. Фарнсуорт.)



гом, как чешуя в луковице. Сам мешочек — капсула хрусталика — состоит из волокон другого рода, ориентированных параллельно поверхности хрусталика. Оба вида волокон, богатых белком, устойчивы на растяжение, но не на изгиб. Это вызывает дополнительный вопрос: какова связь между структурной организацией хрусталика и аккомодацией?

Чтобы ответить на эти вопросы, в идеале нужно было бы изучать цинновы связки и стекловидное тело прямо в живом глазу, измеряя величину и направление сил, которые действуют на капсулу и тело хрусталика. Следовало бы также измерить распределение сил по хрусталику, что позволило бы определить значение внутренней структуры для реакции на внешние натяжения. Но в действительности производить такие прямые измерения, разумеется, невозможно.

Однако можно описать изменения формы живого хрусталика при его аккомодации и вычислить величину и направление сил, которые должны действовать на него, чтобы вызвать такие изменения. Эти сведения можно сопоставить с тем, что известно о строении глаза, и установить, какие структуры способны развивать вычисленные силы.

ТАКОЙ подход мы и избрали. Наши исследования начались с создания математической модели тела хрусталика — хрусталика без капсулы. Ради простоты мы взяли хрусталик десятилетнего ребенка. Такой хрусталик можно представить вполне адекватно как несколько искривленный шар, состоящий из двух полушарий с разными радиусами, соответствующих передней и задней частям хрусталика. Затем мы ввели в модель некоторые допущения, связанные с эластичностью тела хрусталика, в частности, что он по-разному отвечает на натяжение, параллельное опти-

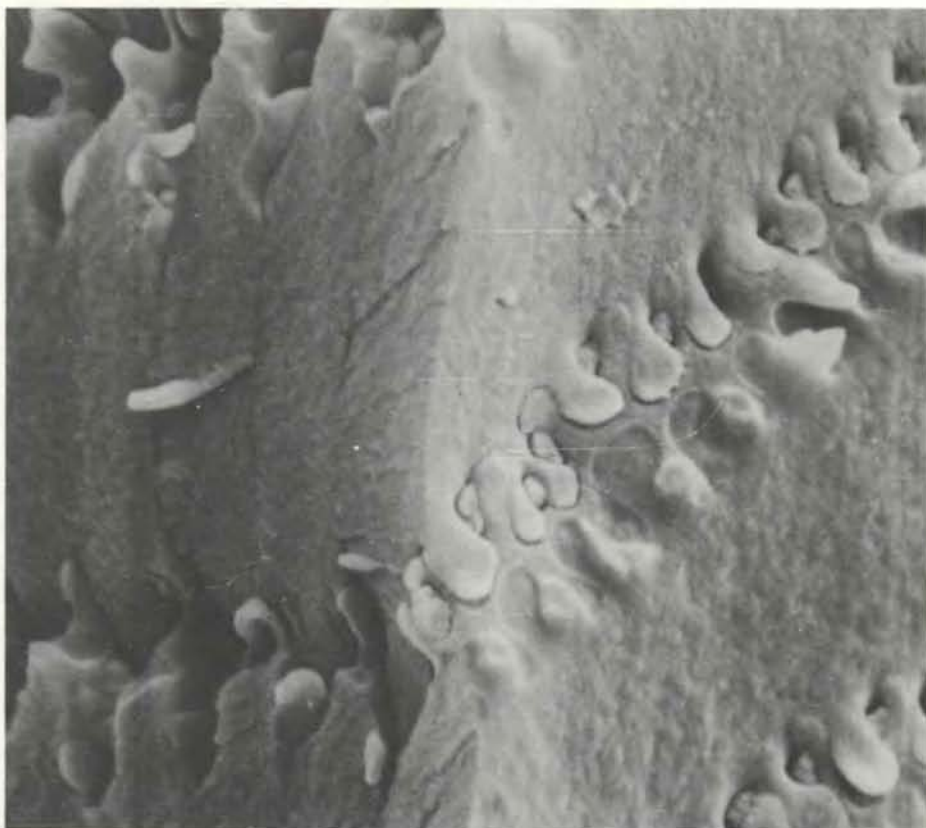
СТРОЕНИЕ ХРУСТАЛИКА. Цинновы связки прикрепляются к капсуле (наружной оболочке хрусталика) в трех местах — на экваторе и в точках несколько спереди и сзади него. Внутри капсулы в теле хрусталика две основные области — ядро, представляющее собой первоначальный хрусталик плода, и кортекс, состоящий из волокон, образовавшихся после рождения. Волокна, идущие от переднего к заднему полюсу хрусталика, возникают из эпителиальных клеток на наружной границе хрусталика (внизу). С течением времени эти клетки удлиняются, превращаясь в «ленты», теряют ядра и покрываются новыми клетками; в результате хрусталик утолщается. Волокна хрусталика лежат друг на друге, как чешуи луковицы.

ческой оси глаза и перпендикулярное ей. Модель также предполагала, что из-за того, что волокна хрусталика сцеплены, они не могут скользить одно вдоль другого, т. е. единственный способ, каким хрусталик может изменить свою форму, состоит в изменении кривизны волокон.

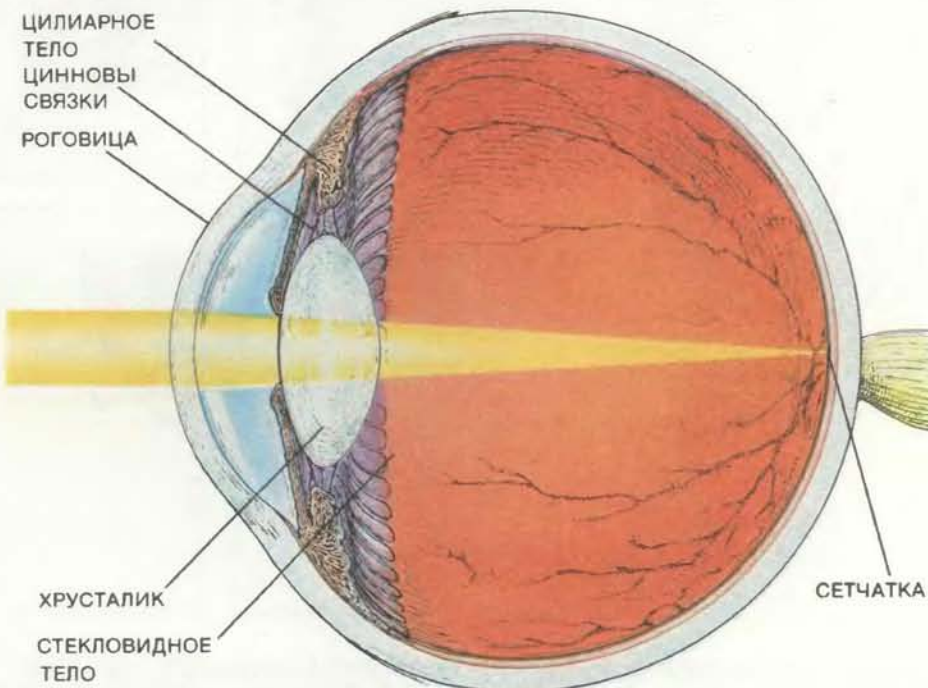
Наши расчеты показали, что все силы, действующие на поверхность тела аккомодирующего хрусталика, приблизительно равны и направлены приблизительно перпендикулярно поверхности хрусталика. Из этого следовало, что капсула, которая подвергается раздельно действующим натяжениям от цинновых связок и является единственной структурой, непосредственно соприкасающейся с телом хрусталика (связки не проникают в него), преобразует эти раздельные натяжения в равномерную силу сжатия, действующую по всей поверхности хрусталика. Когда натяжение, оказываемое связками, снимается, сила сжатия, действующая на тело хрусталика, тоже исчезает; исчезает также сила сжатия внутри хрусталика, и он восстанавливает свою форму за счет упругого последствия. То, что сила со стороны капсулы действует перпендикулярно поверхности тела хрусталика, не так уж удивительно. Сила, развиваемая связками, имеет как параллельную (растяжение), так и перпендикулярную (сжатие) компоненты. Но волокна капсулы устойчивы на растяжение, и поэтому на хрусталик передается только перпендикулярная сила.

Другое важное обстоятельство состоит в том, что форма, принимаемая хрусталиком при данном состоянии аккомодации, не такая, какую бы он принимал, если бы был просто мешочком с жидкостью. Под равномерным давлением на свою поверхность мешочек с жидкостью не может обладать кривизной аккомодированного хрусталика. Значит, на изменения формы хрусталика должно влиять его внутреннее строение.

Теперь мы были готовы определить, какие напряжения оказывают на хрусталик другие структуры глаза. Расслабление связок не может полностью объяснить изменение формы, наблюдаемое в хрусталике при упругом последствии. Это позволяет предполагать, что в процессе фокусирования принимает участие стекловидное тело, служа опорой задней части хрусталика. Интересно, что примерно в том возрасте, когда большинству людей для чтения нужны очки, гелеподобное стекловидное тело начинает разжижаться, утрачивая свою ультраструктуру. Как именно такое разжижение участвует в утрате способности к аккомодации, неясно,



ВОЛОКНА ХРУСТАЛИКА сцеплены своими длинными краями. Кроме того, каждое волокно связано с выше- и нижележащими волокнами (см. рисунок на с. 60). Соединение волокон влияет на распределение сил в хрусталике и обеспечивает поддержание его формы, принимаемой при аккомодации. (Электронная микрофотография получена Р. Кесселом; увеличение $\times 8000$.)



ГЛАЗ ФОКУСИРУЕТ предмет, преломляя, т. е. отклоняя, свет (*желтый конус*), отраженный от предмета, таким образом, что световые лучи сходятся на сетчатке. Нервные клетки сетчатки преобразуют свет в электрические сигналы, которые передаются в мозг. Свет отклоняется на передней и задней поверхностях роговицы и хрусталика, но аккомодировать может только хрусталик. При чрезмерном преломлении лучи света сходятся впереди сетчатки и этим нарушается дальнейшее зрение, а при недостаточном преломлении он конвергирует позади сетчатки и нарушается ближнее зрение. Считается, что из-за постепенного уменьшения преломляющей способности хрусталика и его способности к аккомодации ухудшается ближнее зрение в среднем возрасте.

но оно может играть в этом какую-то роль.

Вычисленное изменение напряжения при аккомодации цинновы связки могли бы вызвать только путем потери напряжения в них самих или же в результате изменения угла, под которым они прикладывают напряжение к хрусталику, таким образом, что компонента сжатия в напряжении уменьшается. Наши данные говорят о том, что происходит и то, и другое. В дополнение к тому, что прикрепленные к капсуле хрусталика цинновы связки делаются менее туго натянутыми, они слегка смещаются, становясь более параллельными к поверхности капсулы; чем более связки параллельны, тем меньшее сжатие они вызыва-

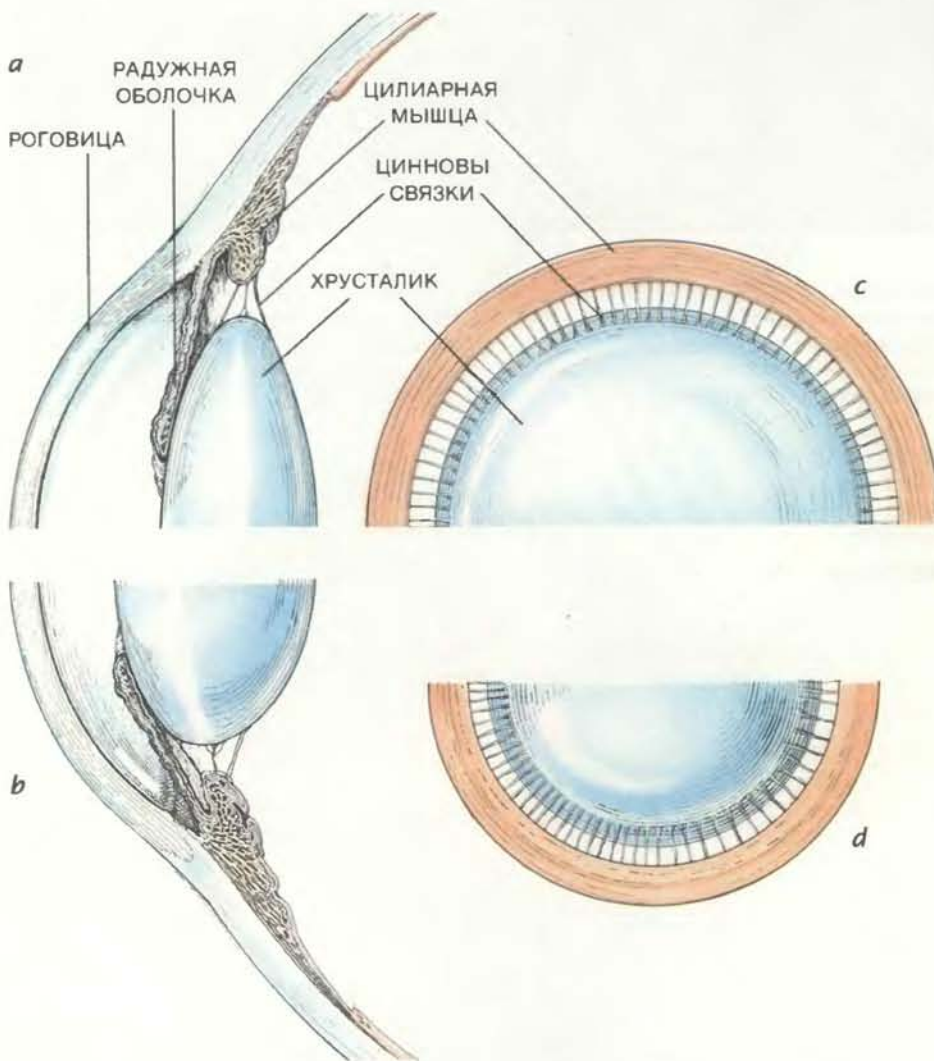
ют в хрусталике. По данным других исследователей, по меньшей мере у одного человека (с редким заболеванием радужной оболочки, которое делает не видимые в норме цинновы связки наблюдаемыми с помощью микроскопа) связки провисают совсем свободно, когда хрусталик максимально аккомодирован. Но, согласно нашим расчетам, силы, действующие на хрусталик, никогда не падают до нуля; если бы это случилось, хрусталик не мог бы удерживаться в определенном положении.

МОДЕЛЬ молодого глаза позволила понять многие детали аккомодации, но она не объяснила, почему преломляющая способность, и, сле-

довательно, способность фокусироваться на близкие предметы с возрастом падает. Преломляющая способность глаза измеряется в диоптриях. Эта величина обратна расстоянию в метрах между глазом и предметом; например, глаз с преломляющей способностью 10 диоптрий может отклонять лучи света достаточно для фокусирования предмета на расстоянии 0,1 м. У людей, от рождения имевших нормальное зрение, преломляющая способность с возрастом снижается: в 10 лет, когда человек может фокусировать кончик своего носа, она составляет около 14 диоптрий, в 20 лет — приблизительно 9, на третьем десятке жизни — 4, на четвертом — 1—2, а к 70 годам падает почти до нуля. Глаз с нулевой преломляющей способностью (0 диоптрий) не может фокусировать ничего ближе бесконечности. Изменение от 4 диоптрий (около 25 см) до 2 (около 50 см) или меньше человек замечает, потому что оно резко сказывается на чтении: большинству людей приходится держать книгу на расстоянии 30—40 см от глаз.

Первым шагом к пониманию причины этого постепенного, связанного с возрастом ухудшения ближнего зрения был сбор сведений об изменениях формы хрусталика в зависимости от возраста и состояния аккомодации. Располагая такими данными, можно было бы попытаться определить как влияние этих изменений на преломляющую способность, так и их вероятные причины. Мы начали с того, что изучили серию фотографий поперечных сечений хрусталика, полученных Н. Брауном из Института офтальмологии в Лондоне в начале 1970-х годов, и изготовили 10 аналогичных наборов снимков. Браун, дававший нам методические советы, предоставил четыре серии таких фотографий для возрастов 11, 19, 29 и 45 лет; в нашем исследовании участвовали лица в возрасте от 18 до 69 лет со здоровыми глазами и нормальным дальним зрением. Все поперечные сечения представляли собой вертикальные «срезы» хрусталика в направлении спереди назад, полученные при помощи щелевой лампы, которая создает узкий («щелевой») пучок света в глаз.

Эти фотографии подтвердили, во-первых, тот хорошо известный факт, что размер хрусталика увеличивается с возрастом. Толщина неаккомодированного хрусталика у ребенка составляет, судя по снимкам, около 3,3 мм от передней до задней поверхности. С течением времени клетки, образующие наружный слой тела хрусталика (эпителиальные клетки, лежащие на



ФОКУСИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ХРУСТАЛИКА увеличивается путем усиления его кривизны. Если смотреть на исходно неаккомодированный хрусталик сбоку (а), то он очень тонкий в направлении спереди назад. При аккомодации хрусталик утолщается (b); при этом его передняя поверхность придвигается ближе к роговице, но задняя поверхность не перемещается. Изменение формы достигается главным образом сокращением цилиарной мышцы. Вид спереди показывает, что хрусталик приходит в неаккомодированное состояние (с), когда диаметр этой мышцы становится максимальным. Утолщение мышцы вызывает растяжение связок, вследствие чего в свою очередь растягивается и уплотняется хрусталик. Когда мышца сокращается (d), связки расслабляются, позволяя хрусталику принять более округлую форму, подобно тому как губчатый мячик восстанавливает свою форму после сжатия.

периферии капсулы), растут и превращаются в лентообразные волокна, которые составляют основную массу хрусталика. Когда новые эпителиальные клетки ложатся над старыми, с ними происходит то же, что и с их предшественниками, и таким образом хрусталик становится толще. К 70 годам толщина неаккомодированного хрусталика может достигать 5 мм.

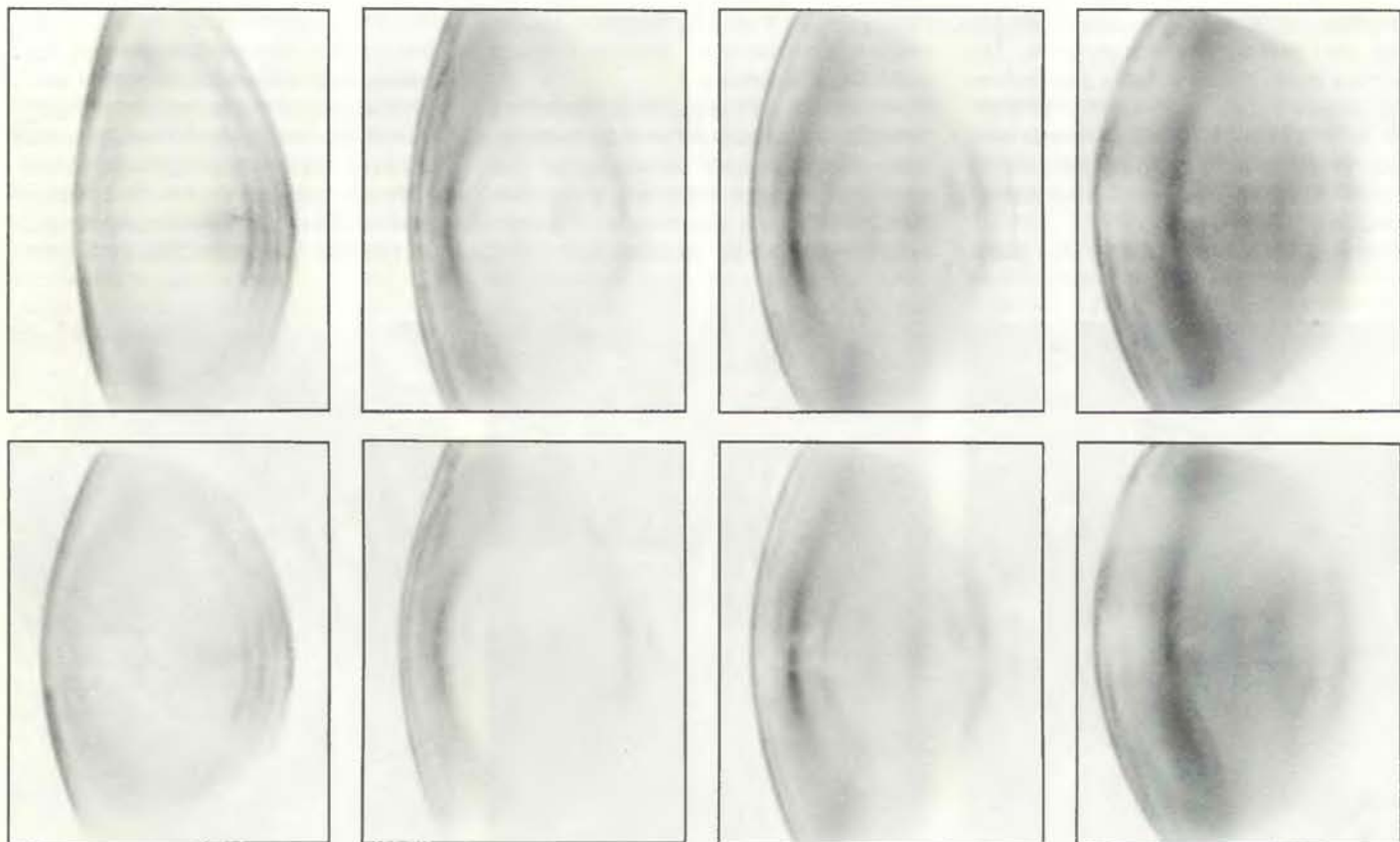
На фотографиях обнаружился также ряд полос внутри хрусталика, известных под названием зон прерывистости. Полосы в передней части хрусталика имеют приблизительно такую же кривизну, как его передняя поверхность, а полосы в задней части — как задняя поверхность, хотя кривизна полосы тем резче, чем ближе она к ядру, или сердцевине хрусталика. В молодом хрусталике полос мало, и они мало заметны. С возрастом число и отчетливость полос растут, пока зоны не сольются, что происходит на пятом десятке жизни.

НА ОСНОВАНИИ фотографий и других данных мы создали новую модель. На этот раз мы математически описывали поверхностные и внутренние кривизны хрусталиков (они были параболическими, и поэтому их можно было смоделировать простыми уравнениями). Затем производилась экстраполяция поперечных сечений, чтобы определить форму хрусталика в целом во всех состояниях аккомодации как функцию возраста. Это позволило провести обширный сравнительный анализ и проследить за движением выбранных точек в хрусталиках в процессе фокусирования.

Выяснилось, что по мере роста хрусталика в течение жизни его форма в неаккомодированном состоянии становится все более изогнутой. Кроме того (как с удивлением обнаружил Браун у своих испытуемых), в возрасте до 45 лет чем старше человек, тем сильнее кривизна хрусталика для каж-

дого данного состояния аккомодации. Так, например, при фокусировании на одном и том же близком расстоянии кривизна хрусталика у 33-летнего человека больше, чем у 19-летнего. Браун назвал это явление усиления кривизны с возрастом парадоксом хрусталика, поскольку следовало бы ожидать, что более выпуклый хрусталик будет обладать большей преломляющей способностью, чем менее выпуклый.

Проследив за движениями определенных точек на поверхности хрусталика и внутри его при аккомодации, мы обнаружили параллельный эффект: при одном и том же количестве движения в процессе аккомодации глаза фокус изменялся меньше у более пожилых людей, чем у более молодых. Иначе говоря, для увеличения фокусирующей способности, скажем, на 1 диоптрию, в более старом хрусталике точки должны передвигаться сильнее, чем в более молодом. Реша-



СВЯЗАННЫЕ С ВОЗРАСТОМ ИЗМЕНЕНИЯ заметны на фотографиях хрусталика, полученных с помощью щелевой лампы, в неаккомодированном (вверху) и максимально аккомодированном (внизу) состоянии у людей 19, 33, 45 и 69 лет (слева направо). Максимальная фокусирующая способность этих хрусталиков соответственно равна 9; 4,5; 1 и 0,25 диоптрий. Эти изображения представляют собой вертикальные сечения спереди назад; передняя поверхность хрусталика слева. Изменения состоят в том, что размеры и кривизна со временем увеличиваются; в возрасте 45 и 69 лет хрусталик почти не способен к аккомодации. Видны также темные полосы, называемые зонами прерывисто-

сти. По мере старения хрусталика эти полосы умножаются и становятся более отчетливыми; после приблизительно 45 лет они сливаются. Авторы полагают, что снижение преломляющей способности хрусталика частично обусловлено утолщением хрусталика и увеличением в нем доли нерастворимого белка. Какое-то время это может компенсироваться растущим искривлением хрусталика; тому же могут служить дополнительные преломляющие поверхности, создаваемые зонами прерывистости. Но в конце концов компенсаторные механизмы уже не справляются и хрусталик теряет способность аккомодировать.

ющим стал тот факт, что общий размах движения постепенно убывает с возрастом. У людей старше примерно 45 лет передняя сторона хрусталика не могла изменять свою форму и, следовательно, аккомодировать — она как бы застывала в неаккомодированном состоянии. Это говорит о том, что передние цинновые связки со временем теряют способность расслабляться при сокращении цилиарной мышцы в процессе аккомодации, или же они хотя и расслабляются, но действуют на хрусталик все меньше; возможно, имеет место и то, и другое. Связки не могут расслабляться, если передняя сторона увеличенного хрусталика находится так далеко от цилиарного тела, что хрусталик слишком сильно натягивает их. Кроме того, точно так же, как угол между связками и хрусталиком различен в аккомодированном и в неаккомодированном состоянии, этот угол изменяется по мере того как хрусталик с возрастом утолщается. В конце концов сила, с которой нити цинновых связок действуют на поверхность хрусталика, может стать тангенциальной или почти тангенциальной. По достижении такой стадии расслабление связок будет мало влиять на форму хрусталика, который в свою очередь утратит — частично или полностью — способность к упругому последствию.

Другими словами, старческая даль-

нозоркость, так называют связанную с возрастом утрату ближнего зрения, является, по-видимому, следствием нарушения геометрии глаза в основном из-за изменения величины хрусталика и угловых соотношений между ним и цинновыми связками.

МЫ ПОЛАГАЕМ, что изменениями геометрии глаза объясняется, почему у людей старше 45 лет или около того хрусталик больше не может аккомодировать. Но как объяснить парадокс Брауна? Почему для фокусирования одного и того же предмета более старый хрусталик должен быть искривлен сильнее, чем молодой?

Одна возможность состоит в том, что свойства цитоплазмы в волокнах хрусталика меняются таким образом, что понижается его показатель преломления — мера способности вещества преломлять свет. Если показатель преломления с возрастом снижается, это снижение должно разрешить парадокс: возрастание кривизны не увеличит фокусирующую способность хрусталика, просто компенсирует ухудшение преломляющей способности среды.

Мы исследовали эту возможность с помощью компьютера: моделировалось прохождение луча света для глаз, фотографии которых у нас имелись. При этом описывались факторы, влияющие на траекторию луча:

кривизна каждого хрусталика в аккомодированных (хорошо сфокусированных) состояниях, кривизна роговицы, расстояние между роговицей и хрусталиком, расстояние между передней и задней поверхностями хрусталика. (Путь луча света зависит не только от кривизны преломляющих поверхностей, но и от расстояния между ними: чем ближе друг к другу поверхности, тем сильнее отклоняется свет.) Затем мы приписали каждой части глаза свой показатель преломления, выбрав значения, наиболее принятые в литературе, и заложили в программу, что свет отклоняется на границах между веществами с разными показателями преломления. Если бы общий показатель преломления у хрусталика оставался в течение жизни постоянным, моделирование показало бы, что в каждом из анализируемых глаз свет отклоняется так, что изображение фокусируется на сетчатке.

В самой простой модели свет отклонялся спереди и сзади и роговицы, и хрусталика. В другой модели мы рассматривали границы между ядром и кортексом (наружной частью) хрусталика как добавочные преломляющие поверхности и приписывали этим двум областям разные, но опять-таки принятые показатели преломления.

Обе модели оказались совершенно ошибочными. Для каждого возраста и состояния аккомодации, для кото-



МЕСТА ПРИКРЕПЛЕНИЯ ЦИННОВЫХ СВЯЗОК на передней поверхности хрусталика меняются с возрастом и увеличением его размеров. В молодости связки расположены близко к экватору хрусталика (слева — 17 лет), но постепенно они перемещаются на переднюю поверхность хрусталика (в середине — 46 лет, справа — 85 лет). По мере смещения связок должен меняться и угол между ними и поверхностью хрусталика. Авторы считают, что хрусталик в

конце концов теряет способность к аккомодации отчасти из-за того, что связки становятся почти параллельными его передней поверхности. Степень напряжения таких связок будет, скорее всего, мало влиять на хрусталик. Фотографии сделаны П. Фарнсуорт, которая первой предположила, что неспособность глаз к аккомодации в пожилом возрасте обусловлена изменениями геометрии соотношения между хрусталиком и цинновыми связками.

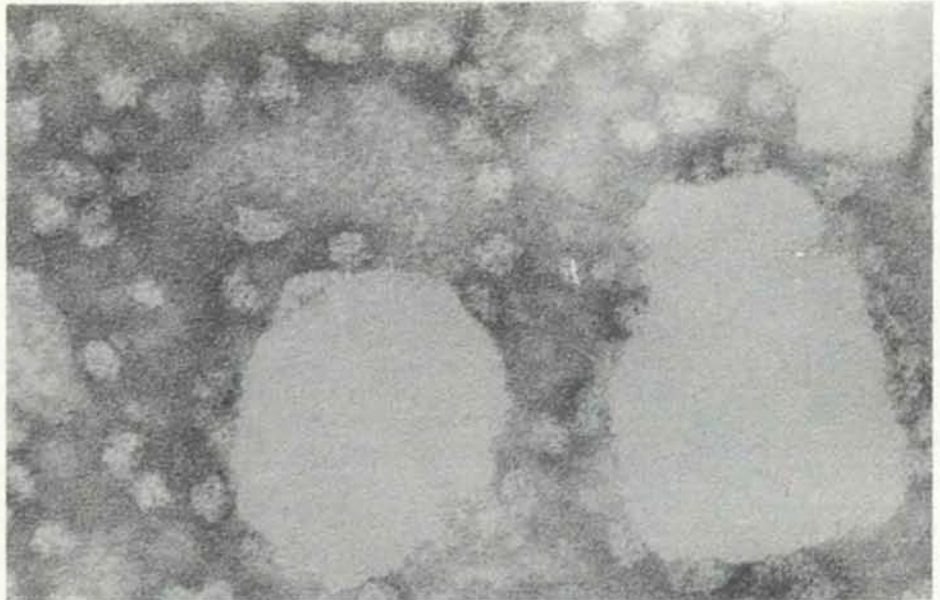
рых имелись данные, фокусная точка модели была позади сетчатки, как если бы у всех испытуемых хрусталики обладали слишком малой преломляющей способностью. Что-то в модели было неверным. Возможно, следовало включить каждую зону прерывистости как еще одну преломляющую поверхность.

Мы создали другую серию моделей, в которых суммарный показатель преломления хрусталика был постоянным, а показатели его зон варьировали. В рамках этого подхода глаз 45-летнего человека мог фокусировать, но в более молодых глазах фокус по-прежнему не достигался. Кроме того, получилось, что чем меньше возраст, тем больше не хватает до фокуса. Это говорило о том, что суммарный показатель преломления для молодых глаз в действительности несколько выше значений, приводимых в литературе, и что чем моложе человек, тем сильнее эта величина отличается от принятого значения.

Если рассматривать полученные результаты иначе, то можно сказать, что показатель преломления хрусталика понижается с возрастом. Это согласуется со связанными с возрастом изменениями в хрусталике, которые рассмотрены выше. Коль скоро показатель преломления вещества, из которого состоит хрусталик, падает с возрастом, ослабить это падение можно лишь усиливая кривизну поверхностей хрусталика или зон прерывистости внутри его либо увеличивая число преломляющих поверхностей. Несомненно, действуют все эти механизмы. Кроме того что увеличивается кривизна поверхностей хрусталика, в глазу с возрастом образуется также больше — и с большей кривизной — зон прерывистости. Действительно, вклад этих зон в суммарную преломляющую способность глаза с возрастом становится все более значительным.

Остается тайной природа зон прерывистости, столь заметных на изображениях, полученных с помощью щелевой лампы. Ультроструктурное исследование хрусталика не дает свидетельств их существования. Далее, если измерять концентрацию белка как функцию расстояния от поверхности хрусталика, обнаруживается плавное увеличение, а не перемежающиеся увеличения и уменьшения, которые можно было бы ожидать, если бы темные полосы объяснялись различиями в концентрации белка. Почему же, в таком случае, эти раздельные области так явно видны на фотографиях?

Мы пришли к заключению, что ответ надо искать в свойствах фотогра-



α -КРИСТАЛЛИН — главный белок хрусталика, обычно присутствует в виде пластин (*крупные пятна*), но они могут распадаться с образованием мелких нерастворимых шариков (*мелкие пятнышки*). Шарик способен объединиться в палочковидные тельца, иногда примыкающие друг к другу. Если агрегаты кристаллина становятся очень крупными, они должны сильно рассеивать свет. Этим рассеянием может объясняться наличие зон прерывистости на таких фотографиях, какие приведены на с. 63. Нерастворимость частиц может также служить причиной связанного с возрастом снижения преломляющей способности хрусталика. Диаметр шариков на этой фотографии около $11 \cdot 10^{-9}$ м.

фической техники. Луч от щелевой лампы передается в глаз, и изображение создается светом, который отражается в фотокамеру, расположенную со стороны исходного источника света. (Пленка в камере наклонена, чтобы компенсировать угловое искажение.) Для того чтобы на фотографиях возникли зоны прерывистости, вещество в этих областях должно взаимодействовать со светом иначе, чем вещество в соседних областях. В частности, следовало бы ожидать на фотографиях темные полосы, если бы белок в соответствующих областях сильно рассеивал свет. Возможно ли такое рассеяние?

На первый взгляд этого быть не может. Считается, что главный белковый компонент хрусталика α -кристаллин, образует агрегаты, размеры которых меньше необходимых для возникновения рассеяния. Но известно, что величина этих частиц возрастает в ответ на повышение температуры; кроме того, на нее, по видимому, влияют такие внешние факторы, как небольшие изменения pH и концентрации кальция. Как показали многие исследователи, хотя общая концентрация белка в глазу с течением времени не изменяется, доля нерастворимой белковой фракции, состоящей из отдельных частиц, увеличивается.

Эти данные говорят о том, что со временем α -кристаллин может образовывать более крупные агрегаты,

чем считалось раньше. Если это так, то тогда присутствием значительного числа крупных нерастворимых частиц α -кристаллина может объясняться не только наличие зон прерывистости на наших фотографиях, но также явление блескости. Это явление, которое состоит в том, что яркий свет делает все поле зрения белым, особенно часто бывает после сорока лет; людям в таком возрасте оно особенно досаждал в солнечные дни или при езде ночью, когда глаза слепит свет фар от встречных машин. Наши данные говорят о том, что степень рассеяния минимальна в первые десятилетия жизни, но постепенно она усиливается.

Увеличение числа нерастворимых белковых частиц могло бы также объяснить, почему показатель преломления хрусталика с возрастом снижается. Показатель преломления в растворе (каковым является цитоплазма волокон хрусталика) зависит от природы и концентрации растворенного вещества. Добавление растворимого белка к водной среде повышает ее показатель преломления. Если же большая доля белка превратится в крупные нерастворимые частицы, то показатель преломления заметно снизится.

ИТАК, ЧТОБЫ объяснить, почему самая близкая ясно видимая точка по мере старения постепенно отодвигается, следует рассматривать как

микро-, так и макроскопические факторы. По нашему представлению, ухудшение ближнего зрения с возрастом обусловлено увеличением количества нерастворимого белка в хрусталике, ростом размеров хрусталика (и, следовательно, увеличением расстояния между его передней и задней поверхностями) и сопутствующим этому снижению показателя преломления, а также ослаблением способности хрусталика к аккомодации из-за постепенных изменений геометрии комплекса хрусталик — цинновые связки — цилиарная мышца. Этим процессам несколько противодействуют — по крайней мере, некоторое время — развитие новых преломляю-

щих поверхностей (зон прерывистости), общее увеличение кривизны хрусталика и дальнейшее ее увеличение при аккомодации. В конце концов, примерно к тому времени, когда стекловидное тело разжижается, эти компенсаторные механизмы перестают действовать, и хрусталик теряет свою способность аккомодировать.

Может быть, когда-нибудь исследователи будут знать достаточно, чтобы обращать вспять или предупреждать естественное связанное с возрастом ухудшение ближнего зрения. Но пока что необходимость пользоваться при чтении очками — подобно смерти и налогам — неизбежна.

Наука и общество

Хлорфторуглероды и окружающая среда

БЕСПОКОЙСТВО общественности в связи с загрязнением окружающей среды хлорфторуглеродом (ХФУ) поставило перед производителями холодильных установок и кондиционеров больше вопросов, чем дало ответов на существующие проблемы по сокращению использования ХФУ.

В соответствии с данными Агентства по охране окружающей среды (АООС) примерно 28% снижения содержания озона в атмосфере, вызванного применением ХФУ, обусловлено использованием в качестве хладагентов в промышленных и бытовых холодильниках, а также в автомобильных кондиционерах веществ типа ХФУ-12; существенная доля уменьшения озона связана также с применением ХФУ-11, входящего в состав пенопластовой теплоизоляции холодильников. Чтобы выполнить Монреальскую конвенцию, ратифицированную США в марте (см. заметку «Приговор ультрафиолету», «В мире науки», 1988, № 7, с. 21), производство указанных и других типов ХФУ к 1999 г. должно сократиться вдвое.

Производители ХФУ заявляют, что выпуск большинства заменителей этих вредных веществ в достаточных количествах не удастся наладить до середины 90-х годов. Тем не менее потребители ХФУ ожидают, что они будут испытывать недостаток этих веществ уже в следующем году, когда АООС приступит к реализации своего плана по выполнению Монреальской конвенции. Формирование этого плана должно было завершиться не раньше августа. А пока АООС предложило ввести ограничения на производ-

ство специфических ХФУ, оказывающих особенно сильное разрушающее воздействие на озон. «Мы полагаем, что повышение цен на ХФУ будет стимулировать потребителей изыскивать их заменители и что вначале их перестанут применять при производстве наименее ценной продукции», — заявил С. Андерсон, экономист из АООС.

По мнению Р. Бомана, главного инженера по производству холодильной техники фирмы Amana Refrigeration в Амоне (шт. Айова), данная ситуация по всем признакам выглядит катастрофической. В прошлом году конгресс США объявил, что к 1990 г. энергоэкономичность всех бытовых электроприборов должна возрасти. Как показывают данные Ассоциации производителей бытовых электроприборов, примерно 75% холодильников и морозильных камер моделей 1986 г. не отвечают этим повышенным нормам. Как заявил Ф. Холлет, вице-президент компании White Consolidated Industries, производители холодильной техники, вынужденные повысить энергоэкономичность своей продукции, намереваются использовать в больших количествах пенопластовые теплоизолирующие материалы в каждом холодильнике и морозильной камере, и в результате применение ХФУ увеличится не меньше чем на 20%. «Применяя предлагаемые заменители, мы не сможем удовлетворить требования новых стандартов до тех пор, пока не появятся принципиально новые технологические решения», — добавил Холлет.

Г. Геллер, помощник директора Американского совета по вопросам экономии энергетических ресурсов, заявил, что даже при наличии указанных АООС «те, кому потребуются

ХФУ, получат их». Кроме того, поскольку в 1985 г. на все бытовые холодильники ушло лишь около 7000 т ХФУ-12 в качестве хладагента (что составляет примерно 2% контролируемого объема), то «не возникнет никакой проблемы, если будет применяться несколько больше этих веществ».

Со своей стороны промышленность, выпускающая пенные материалы, изыскивает пути снижения в них процентного содержания ХФУ. «Достичь этого не так просто, — замечает Андерсон, — поскольку ХФУ придает пенным материалам необходимые свойства, в частности химическую стойкость, достаточную плотность и жесткость, а также хорошие теплоизолирующие свойства».

В свою очередь фирмы, производящие кондиционеры для автомобилей, ищут способы консервации или повторной переработки ХФУ, даже на тот случай, если им придется использовать заменители. Р. Макфадден, сотрудник Американской ассоциации производителей средств передвижения, смотрит на проблему переработки ХФУ прагматически: «До сих пор для этого не было никаких экономических предпосылок, — замечает он, — однако теперь, когда цены растут, появились экономические стимулы».

Макфадден проявляет осторожность в отношении оценки заменителей ХФУ. Фирма Du Pont и 13 других химических компаний создали консорциум с целью проведения испытаний на сохранение токсичности в течение пяти и более лет для двух перспективных заменителей: FC-134a и HCFC-123. Но поскольку автомобильная промышленность «не желает переходить на какой-либо заменитель, который взрывоопасен», Макфадден отмечает, что пройдет еще не менее трех лет, прежде чем автомобильные компании в достаточной степени проникнутся доверием к новым материалам, способным заменить ХФУ, и приступят к пересмотру конструкций выпускаемых ими кондиционеров, чтобы перейти на новые хладагенты. «Мы не хотим принимать промежуточных решений», — заключил Макфадден.

Код трансляции

НАКОНЕЦ начал проясняться ответ на вопрос, остававшийся загадкой молекулярной биологии с тех пор, как более 20 лет назад был расшифрован генетический код. Каким образом при синтезе белка генетическая информация «переводится на язык» аминокислот? Известно, что ключевую роль в этом играют сравнительно небольшие молекулы рибонуклеиновой кислоты, называемые

транспортными РНК (тРНК). Каждая из тРНК специфически связывает одну из 20 аминокислот, входящих в состав белков. Однако до сих пор не было установлено, какая конкретно часть молекулы тРНК определяет ее аминокислотную специфичность.

Недавно две исследовательские группы объявили, что они независимо друг от друга обнаружили аминокислотную детерминанту одной из тРНК — участок нуклеотидной последовательности, определяющий связывание этой тРНК с аланином. Это открытие вызвало большой шум, так как оно обещает ликвидировать белое пятно, каким был в представлениях о процессе синтеза белков этап, называемый трансляцией. Трансляция заключается в следующем. Переносчиком информации, хранящейся в хромосомах, служит молекула матричной РНК (мРНК), являющаяся копией последовательности ДНК, в которой закодирован данный белок. Молекулы тРНК, «вылавливающие» в окружающей среде «свои» аминокислоты, комплементарно связываются с мРНК (каждая тРНК содержит тройку нуклеотидов, кодирующую определенную аминокислоту, которую и связывает эта тРНК). Тем самым тРНК обеспечивает доставку аминокислот в аппарат синтеза белка и расположение их там в нужном порядке.

Ранее предполагалось, что аминокислотная специфичность тРНК определяется какими-то особенностями макроструктуры молекулы. Однако 14 лет назад А.Рич и его коллеги из Массачусетского технологического института установили молекулярную структуру тРНК, и оказалось, что у всех тРНК она по существу одинакова. Стало ясно, что аминокислотная детерминанта должна быть более тонкой структурой, включающей, возможно, лишь несколько пар нуклеотидов.

Исследования в этой области шли довольно вяло до 1986 г., когда Дж.Эбелсон и его коллеги из Калифорнийского технологического института разработали методику для изучения влияния мутантных нуклеотидов на специфичность тРНК. Год спустя эти методики были применены для анализа 30 различных мутационных вариантов аланиновой тРНК. Я Минг Ху и П.Шимелл (который вот уже 20 лет занимается проблемой аминокислотной специфичности тРНК) обнаружили, что большинство мутаций, как ни странно, никак не влияет на связывание тРНК со своей аминокислотой. Существенны замены лишь в одной паре нуклеотидов вблизи конца одной из «ветвей» молекулы (эта пара обозначается 3—70).

Притом эффект мутаций в точке 3—70 очень ярко выражен: способность данной РНК узнавать аланин резко падает. Более того, если эту пару нуклеотидов включить в другую тРНК, исходно специфичную к другой аминокислоте, то такая модифицированная тРНК приобретает способность связывать аланин. В статье, опубликованной в журнале «Nature», Ху и Шимелл делают вывод, что нуклеотидная пара 3—70 является главной аминокислотной детерминантой аланиновой тРНК.

Шимелл ознакомил со своими предварительными данными У.Макклеяна из Висконсинского университета в Мадисоне, тоже изучавшего пару 3—70. Макклеяна вскоре получил сходные результаты. Однако он и его коллега К.Фосс более сдержанно высказались в журнале «Nature» о значении пары 3—70 в специфичности тРНК. Эти исследователи полагают, что вряд ли одна только эта пара полностью определяет аминокислотную специфичность. Но, по мнению Ху и Шиммела, их данные более определенно указывают на исключительную роль нуклеотидов 3—70, чем результаты Макклеяна.

Обе эти группы исследователей уверены, что детерминанты остальных 19 тРНК удастся установить в ближайшие 5 лет. Но другие детерминанты скорее всего будут более сложными, возможно, состоящими из нескольких пар нуклеотидов в разных частях молекулы. И хотя некоторые исследователи уже провозгласили аминокислотные детерминанты тРНК вторым генетическим кодом, эти структуры, вероятно, не составляют регулярную систему и потому искать их придется методом проб и ошибок.

Вымораживание

ЛЮБОЙ фермер, живущий на северо-востоке США, знаком с явлением вымораживания камней. Только он подумает, что выкопал на своем поле последний камень, как появляется новый. Геологи уже давно объяснили это восходящее движение захороненных камней (и других предметов) расширением воды при ее замерзании, но они до сих пор не пришли к окончательному мнению о том, как именно это происходит.

Существуют две основные гипотезы: выталкивания и вытягивания. Согласно гипотезе выталкивания, с наступлением морозов холод проникает вниз быстрее через камень, чем через почву. Благодаря этому вода непосредственно под камнем быстро замерзает и образовавшийся лед толка-

ет камень вверх в вышележащие слои почвы. Во время оттепели ледяная опора, вероятно, поддерживает камень достаточно долго, чтобы позволить оттаивающей почве осесть вокруг него, тогда как камень остается в приподнятом положении.

Согласно гипотезе вытягивания, при резком похолодании почва сначала замерзает вокруг верхушки камня, крепко его схватывая. По мере того как эта часть почвы расширяется и вздымается, она тянет за собой камень, под которым образуется полость. Впоследствии почва оседает в полость, прежде чем камень успеет занять свое прежнее место.

С. Андерсон из Вашингтонского университета полагает, что проведенные ею исследования позволяют сделать однозначный выбор в пользу одной из гипотез. Андерсон проводила опыт, прикрепив 13 термопар (измерителей температуры) и длинный тонкий стержень к обломку гнейса, который поместила в контейнер размером с мусорную корзину, и засыпала почвой. Стержень шел через дно контейнера к устройству, измеряющему вертикальные перемещения. Еще 40 термопар и датчик перемещений контролировали внутреннюю температуру и движение поверхности почвы, в качестве которой был взят «очень чувствительный к морозу» алеврит из Валла-Валла (шт. Вашингтон).

Андерсон поставила контейнер в «холодную комнату» и в течение 3000 часов (примерно 4 месяцев) провела семь циклов замерзания-оттаивания. За это время гнейс поднялся в алеврите почти на 13 см и вышел на поверхность. Андерсон установила, что холод действительно распространяется несколько быстрее через камень, чем через алеврит, но все-таки недостаточно быстро, чтобы обусловить выталкивание. Камень поднимался после того, как температура падала ниже точки замерзания внутри верхней части камня и вокруг нее, но еще не достигала точки замерзания внутри и вокруг его нижней части. Полученные данные «ясно говорят в пользу вытягивания как механизма вымораживания», — заключает Андерсон в статье, опубликованной в журнале «Geological Society of America Bulletin».

Дает ли исследование Андерсон указание на то, как предотвратить вымораживание на полях? «Я не вижу, какую практическую пользу можно из него извлечь, — размышляет исследователь. — Конечно, фермеры могли бы использовать менее восприимчивую к морозу почву, такую как гравий, но ведь на нем ничего нельзя выращивать».

Община в каньоне Чако

В каньоне Чако находятся развалины многоэтажных зданий, некогда связанных с внешним миром системой дорог. С какой целью были построены эти здания и кто жил в них?

СТИВЕН Х. ЛЕКСОН, ТОМАС К. УАЙНДЗ,
ДЖОН Р. СТЕЙН, У. ДЖЕЙМС ДЖАДЖ

СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ часть шт. Нью-Мексико привлекательна своим экзотическим пустынным ландшафтом, но район этот далеко не гостеприимен. Растительность здесь скудная, а средний уровень осадков, выпадающих в конце лета в виде обильных ливней, часто приносящих большие разрушения, составляет около 23 см. Зимой температура нередко опускается ниже -7°C , а летом достигает 40°C . Трудно представить, чтобы в этой пустынной местности могли селиться люди. Тем не менее в центральной части бассейна реки Сан-Хуан, в каньоне Чако на участке протяженностью 15 км находятся развалины зданий, построенных примерно 1000 лет назад преуспевавшей общиной культуры анасази — предками современных пуэбло. Когда-то эта община вела оживленную деятельность: были построены ирригационные системы, выровнены поля, проложена система дорог как в самом каньоне, так и вне его. До настоящего времени сохранились лишь остатки нескольких сот каменных зданий. Среди них развалины девяти многоэтажных строений, известных как «большие дома-поселения Чако».

В течение более 100 лет эти здания представляли загадку для археологов. По своим размерам и планировке им не было равных ни прежде, ни во время существования общины анасази. Сложная конструкция и большие размеры зданий, образующих комплекс почти городского типа, позволяют предположить, что построившая их община насчитывала несколько тысяч человек. Как в пустынной местности могла существовать процветающая община?

В 1972 г. Службой национального парка совместно с Университетом шт. Нью-Мексико была создана междисциплинарная группа исследователей, в которую вошли авторы статьи, с целью изучения истории культуры поселения в каньоне Чако, или «феномена Чако». Предполагалось, что этой группе удастся нарисовать точ-

ную и последовательную картину, отображающую историю общины, населявшую каньон (чакоанской общины). Нас, в частности, интересовало, какова была система жизнеобеспечения у этой общины, жившей в столь суровых природных условиях. Мы намеревались выяснить, как менялось ее население со временем и в каких отношениях оно находилось с другими доисторическими группами. Более всего нас интересовало, какую роль играли «большие дома» и система дорог в жизни этих людей.

Построенные в период расцвета общины (900—1115 гг. н.э.) «большие дома», несомненно, занимали центральное место в чакоанской культуре. Каждый из этих девяти домов имеет свое название: Пенаско-Бланко, Пуэбло-Альто, Кин-Клетсо, Хунго-Пави, Пуэбло-дель Арройо, Пуэбло-Бонито, Четро-Кетл, Уна-Вида и Уиджиджи.

Самым известным и наиболее хорошо изученным является Пуэбло-Бонито. Расположенное у подножия столовой горы высотой 30 м в северной части каньона, это D-образное здание занимает площадь около 1,2 га. От верхних его этажей почти ничего не осталось; сохранились лишь несколько секций в 4—5 этажей. В XII в., когда Пуэбло-Бонито был полностью достроен, в нем имелось более 650 комнат и это был самый крупный из «больших домов».

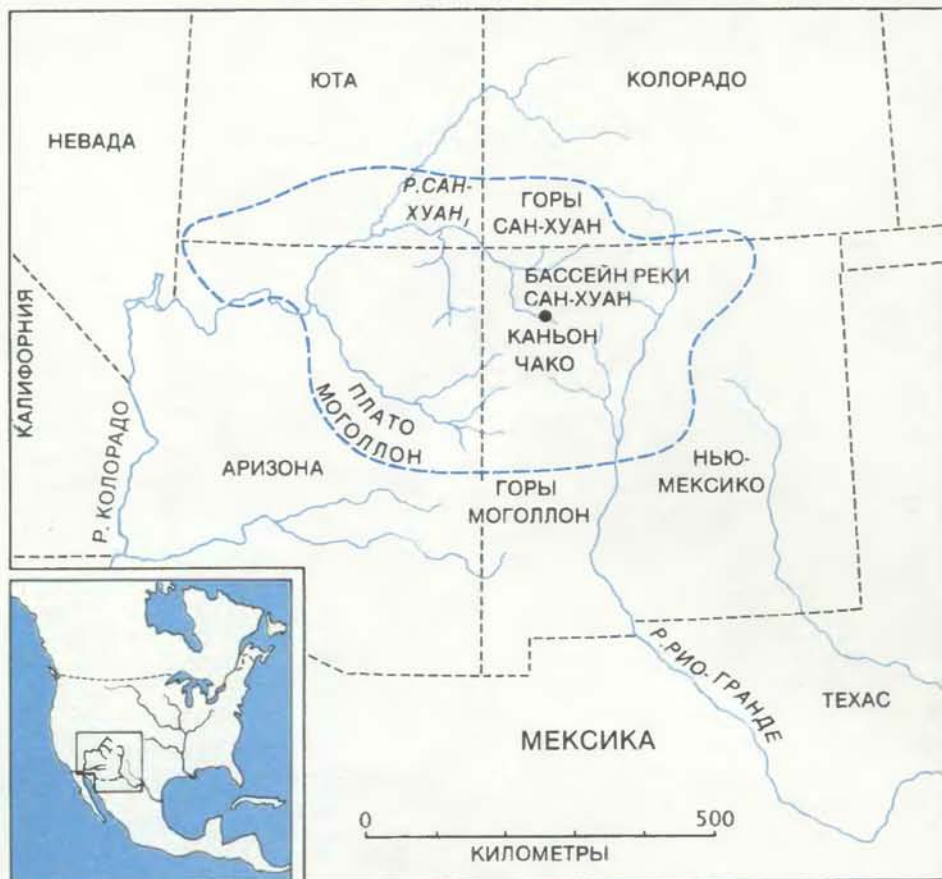
ПУЭБЛО-БОНИТО и другие «большие дома» сооружены из песчаника, выложенного красивыми горизонтальными рядами. Замысловатость каменной кладки является характерной особенностью чакоанской архитектуры. Толщина стен, образованных из плотно пригнанных блоков песчаника, составляет 1 м на уровне земли и уменьшается от этажа к эта-

жу. Стены этих зданий намного прочнее, по сравнению со строениями в других поселениях общины анасази. Для сооружения стен маленькой комнаты в одном из «больших домов» было добыто вручную около 45 тыс. кг песчаника; на строительство одного только Четро-Кетла потребовалось примерно 50 млн. камней. Капитальность конструкции является характерной особенностью «больших домов», отражающих их значительную роль в чакоанской культуре. Возможно также, что эта особенность обусловлена стремлением сократить затраты по уходу за этими зданиями с тем, чтобы их без труда могла содержать сравнительно небольшая группа людей. Строгая геометрическая планировка «больших домов» является другой существенной особенностью чакоанской архитектуры. Комнаты и кивы (круглые камеры, имевшие, как полагают, ритуальное назначение) размещены как бы по координатной сетке; даже дверные проемы и вентиляционные отверстия расположены вдоль каждой стены на всех этажах на одинаковом расстоянии друг от друга. Такое точное и сложное расположение различных конструктивных элементов могло быть достигнуто лишь на основе архитектурной планировки. Каменные здания в каньоне Чако поражают воображение не только своими предполагаемыми размерами, но и тем количеством труда, которое было затрачено на их строительство. По нашим оценкам, для настилки полов и сооружения крыш этих многоэтажных зданий потребовалось срубить 215 тыс. деревьев (некоторые из них диаметром 25 см) в лесах, удаленных на 80 км. Как эти деревья переправляли через пустыню на такое большое расстояние, до сих пор остается загадкой.

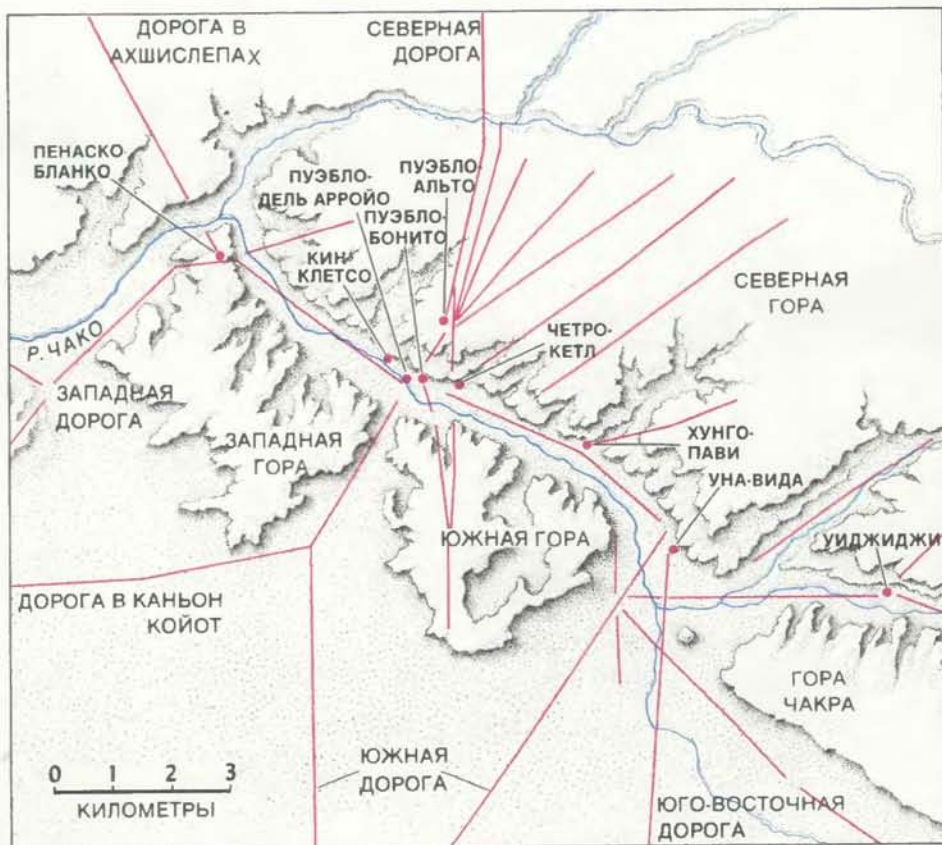
По сравнению с домами меньших

ПУЭБЛО-БОНИТО, один из девяти «больших домов», расположен у основания северного склона каньона Чако. Многие из его более чем 650 комнат были нежилыми и использовались для различных целей. «Большие дома» имели множество круглых ритуальных камер, называемых кивами. На снимке, сделанном с самолета, видны две большие кивы.





КАНЬОН ЧАКО находится в центре бассейна реки Сан-Хуан, в северо-западной части шт. Нью-Мексико. Район, который некогда был заселен анасази, обозначен пунктирной линией.



«БОЛЬШИЕ ДОМА» каньона Чако были соединены друг с другом и поселениями вне каньона системой дорог, пересекавших бассейн реки Сан-Хуан. Там, где дороги проходили через скалы, были сооружены деревянные платформы, а в камне выдолблены ступени.

размеров, расположенных в каньоне, строительство «больших домов» было гораздо более трудоемким. Многие из строительных приемов, которые применялись при их сооружении, были использованы в меньших поселениях общины анасази на юго-западе, однако по своим размерам и конструкции эти здания уникальны. Они отличаются не только своей высотой, толщиной стен и особой каменной кладкой, но и тем, что по сравнению с другими зданиями того времени их комнаты имели больший размер.

Сколько человек участвовали в строительстве «больших домов»? Судя по расположению опорных стен и особенностям каменной кладки, главные секции зданий были сооружены по единому проекту. Подсчитав количество камней, глины, воды и деревянных балок, пошедших на строительство одной комнаты, мы пришли к выводу (в эквивалентном выражении), что примерно 30 человек, работая 2—4 месяца в году, могли бы построить одно из зданий в каньоне Чако более чем за 10 лет. Несмотря на большие затраты труда (приходилось транспортировать блоки из близлежащих горных выработок и бревна на расстояние 40—80 км), мы считаем, что строительство не требовало участия тысяч человек местного населения или привлечения большого количества рабочих со стороны.

«Большие дома», несомненно, были элементом чакоанской культуры, и чтобы понять их роль, мы решили произвести раскопки одного из зданий, которое ранее не было исследовано. Выбор пал на Пуэбло-Альто, поскольку именно им завершалась система дорог, ведущих с севера, включая Великую северную дорогу. Мы надеялись, что исследования этого здания позволят многое узнать о местной системе дорог и о том, как она была связана с «большими домами». Чтобы исследовать различные типы комнат и выявить их назначение, за период с 1976 по 1979 г. было раскопано 10 % здания. Мы не стремились производить более обширные раскопки, поскольку работа эта весьма трудоемкая (Пуэбло-Альто занимает площадь более 0,8 га) и, кроме того, нам хотелось, чтобы место раскопок сохранило, насколько это возможно, свой первоначальный вид.

Пуэбло-Альто имеет особое расположение: он находится над каньоном Чако, близ его северного края (примерно в километре от Пуэбло-Бонито), откуда во все стороны открывается панорамный вид бассейна реки Сан-Хуан. От других «больших домов» это здание отличается еще и тем, что имеет всего один этаж. Бла-

годаря тому, что в Пуэбло-Альто не было завалов, вызванных обрушением этажей, мы смогли изучить планировку комнат здания и его архитектурные особенности.

ИСПОЛЬЗУЯ различные методы датировки, мы установили, что Пуэбло-Альто был построен между 1020 и 1060 гг., хотя незначительные

работы по его достройке и частичной перестройке продолжались до начала XII в. В ходе исследования были идентифицированы три различные группы соединяющихся комнат: группа хозяйственных комнат, группа больших комнат и группа комнат, двери которых выходят на дорогу. В общей сложности все эти комнаты занимали не менее трех четвертей площади по-

ла Пуэбло-Альто. К нашему удивлению, группы хозяйственных комнат, состоящие из жилой комнаты, соединенной с кладовой, составляли относительно малую часть от общего количества комнат в этом здании. Нам удалось установить, что только 5 из примерно 85 комнат были жилыми и все они находились в западном крыле здания.

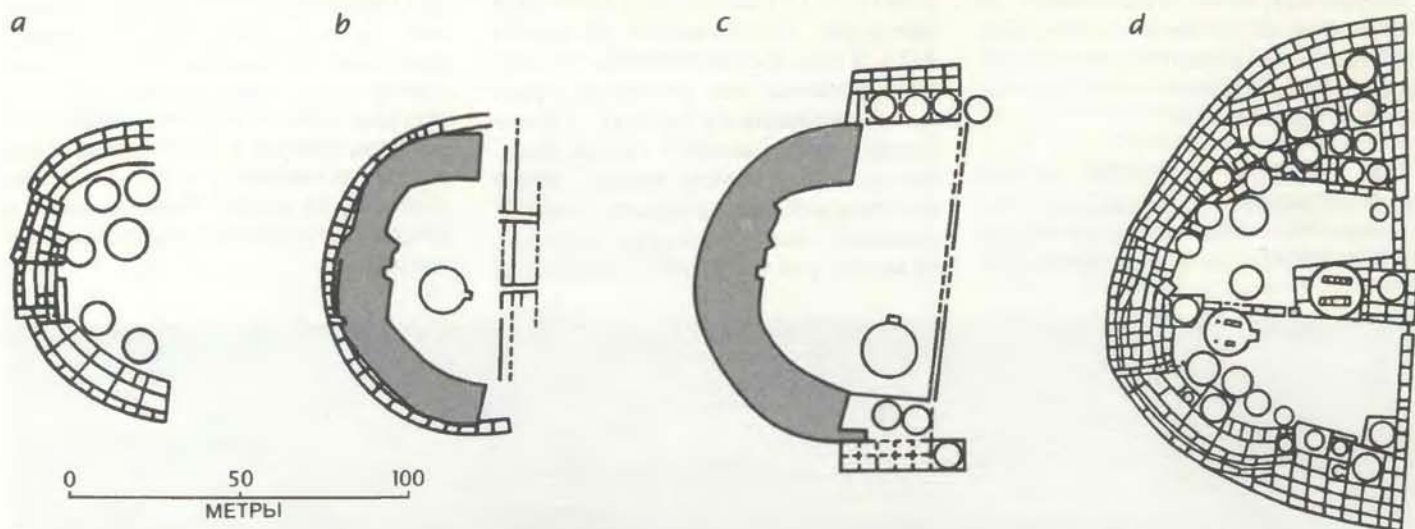


РАЗВАЛИНЫ ЧЕТРО-КЕТЛА в каньоне Чако. На переднем плане видна кива, диаметр которой превышает 18 м.



ЗДАНИЯ, находившиеся в каньоне Чако, имели множество небольших кив. В Пуэбло-Бонито их было раскопано 37.

Это здание было построено напротив седловины в южном склоне каньона, через которую проходила Южная дорога.



«БОЛЬШИЕ ДОМА» сооружали в несколько этапов. Здесь показаны этапы строительства Пуэбло-Бонито. Полуукруглое сооружение, возведенное в X в. н.э., представляло собой комплекс комнат и кив (a). В 1040-х годах вдоль северной стены были построены группы комнат, двери которых

выходили на дорогу, и сооружена первая большая кива (b). В 1050—1060-х годах были построены внешние крылья здания (c). Строительство здания было завершено к 1140 г., когда были сооружены еще одна большая кива, несколько меньших кив и множество комнат (d).

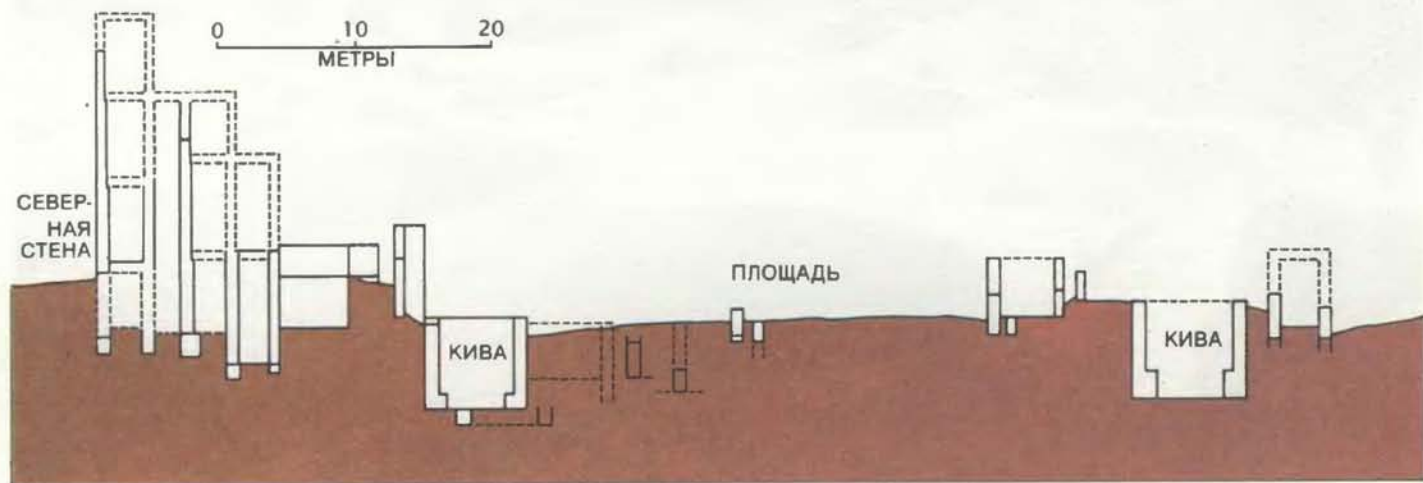
В двух группах хозяйственных комнат были обнаружены очаги, футерованные камнем и сырцом, ямы-хранилища, бункера для размола кукурузного зерна и специальные ниши для хранения пищевых продуктов. Наличие пыльцы и обожженных семян полевых растений свидетельствовало о том, что пищу обрабатывали и потребляли в тех же комнатах. Полы в этих комнатах, неоднократно покрытые штукатуркой, были сильно изношены — возможно, в результате активной хозяйственной деятельности. Следов этой деятельности здесь гораздо больше, чем в других комнатах, ракопаных в Пуэбло-Альто.

Установив главные особенности групп хозяйственных комнат в Пуэбло-Альто, мы идентифицирова-

ли подобные группы комнат в других «больших домах». В них картина была примерно одинаковой: в Пуэбло-Бонито было обнаружено лишь пять групп хозяйственных комнат, в Пуэбло-дель Арройо тоже пять, а в Уна-Вида — не более одиннадцати. Все эти здания построены между 920 и 1095 гг. — в период, совпадающий со временем строительства Пуэбло-Альто. По нашим подсчетам в группах хозяйственных комнат в каждом из этих «больших домов» жили не более 100 человек, что намного меньше прежних оценок археологов, предполагавших, что в этих комнатах жили 5000 и даже более человек.

Число жителей в группах больших комнат в Пуэбло-Альто и в других «больших домах», видимо, также бы-

ло невелико. Группа больших комнат состоит из соединенных друг с другом кладовой, жилой комнаты и небольшой кивы. В соответствии с названием этой группы комнаты в ней были больше, чем в хозяйственной группе. В целом группа больших комнат занимала площадь примерно 100 м², что почти в два раза превышало площадь группы хозяйственных комнат. Однако в первой группе жилая площадь составляла лишь 15 %, тогда как во второй — 50 % и более. Кроме того, группы больших комнат не были соединены друг с другом дверями (что свидетельствует об их особой социальной роли) и, судя по всему, в них не готовили и не принимали пищу. В начале XI в. Пуэбло-Альто имел пять групп больших комнат, впоследствии



ПОПЕРЕЧНЫЙ РАЗРЕЗ здания Пуэбло-Бонито. Вблизи северного склона каньона оно, вероятно, имело пять этажей. Количество этажей уменьшается к центру. Некоторые из изображенных здесь кив были раскопаны на центральной

площади. Другие кивы представляли собой наземные сооружения, пространство вокруг которых впоследствии заполнилось грязью.

было построено еще три группы комнат. В Пуэбло-Альто наибольшего внимания заслуживают группы комнат, двери которых выходят на дорогу. Эти комнаты представляют собой небольшие, соединенные друг с другом кладовые, которые расположены вдоль внешних стен здания. Одна из особенностей этих групп комнат состоит в том, что в них нельзя попасть изнутри здания. Если бы «большие дома» были только жилыми, то их обитатели должны были бы иметь внутренний доступ в кладовые. Существование же в указанных группах комнат дверей, выходящих лишь наружу, означает, что эти комнаты были придорожными кладовыми и что жители «больших домов» вряд ли пользовались ими. Такие группы комнат были построены в Пуэбло-Альто, Пуэбло-Бонито, Четро-Кетле и, вероятно, в Пенаско-Бланко примерно в одно и то же время (в 1040-х годах), поэтому, скорее всего, они образовывали общую систему кладовых.

Интерес представляют и другие архитектурные особенности Пуэбло-Альто. Как и все наиболее крупные «большие дома», он имел просторную центральную площадь, окруженную стенами здания. В отличие от площадей меньших зданий (грунтовая поверхность которых была утрамбована ногами), находившихся в каньоне, площадь в Пуэбло-Альто периодически покрывали толстым слоем глины. Это место выполняло особую роль. Пока мы можем лишь предположить, что площадь была главным местом сбора людей в определенное время года. В Пуэбло-Альто была обнаружена еще одна площадь, но за пределами здания. К ней вело несколько дорог, поэтому она, скорее всего, служила местом привоза и отправки товаров, а не совершения ритуалов.

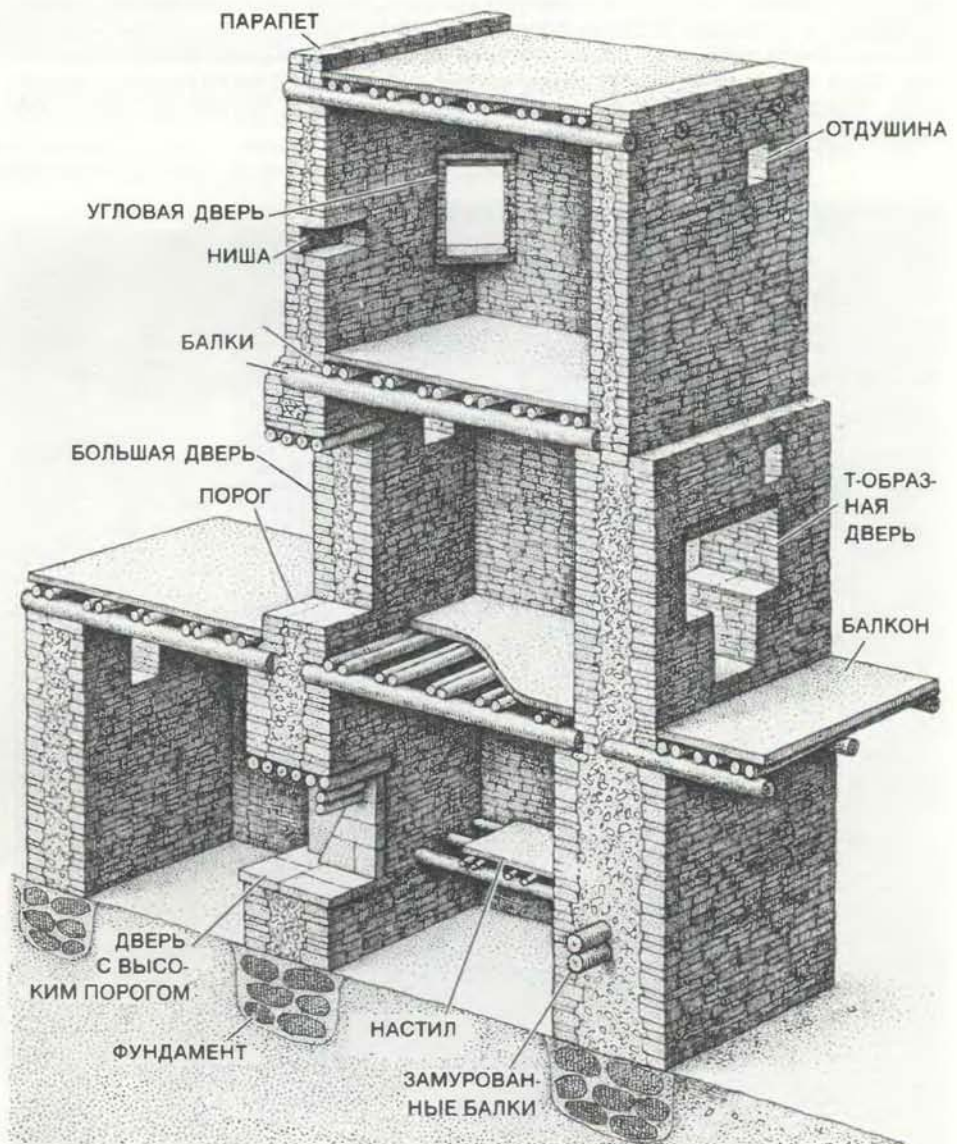
ВХОДЕ проведенных нами раскопок в Пуэбло-Альто было обнаружено более 204 тыс. различных предметов (включая глиняные черепки, осколки камня и остатки пищи), 70 тыс. из них — в расположенном поблизости холме отбросов, имевшем объем 2400 м³ и высоту 4 м. Как могли немногочисленные обитатели этого дома, жившие в группах хозяйственных комнат, оставить такое огромное количество предметов? По нашим подсчетам, более чем за 60-летний период в отбросы пошло свыше 150 тыс. глиняных сосудов. Если наша оценка числа обитателей Пуэбло-Альто верна, то это означает, что за один год они выбрасывали 2500 сосудов (или 25 сосудов на человека в год). Чем можно объяснить такое количество отходов?

Результаты исследования холма отходов позволяют выявить важные аспекты хозяйственной деятельности людей, живших в каньоне Чако. Отходы в холме расположены послонно — видимо, их помешали туда не каждый день, а через определенный промежуток времени. Не все «большие дома» имели поблизости подобный холм. В тех домах, где обнаружены такие холмы, также существовало значительное несоответствие между численностью их обитателей и количеством отходов. Все это, на наш взгляд, свидетельствует о том, что холмы отходов не были связаны с повседневной хозяйственной деятельностью людей, живших в «больших домах». Возможно, что эти холмы были образованы во время сезонного сбора людей, которые стекались в большом количестве к этим домам

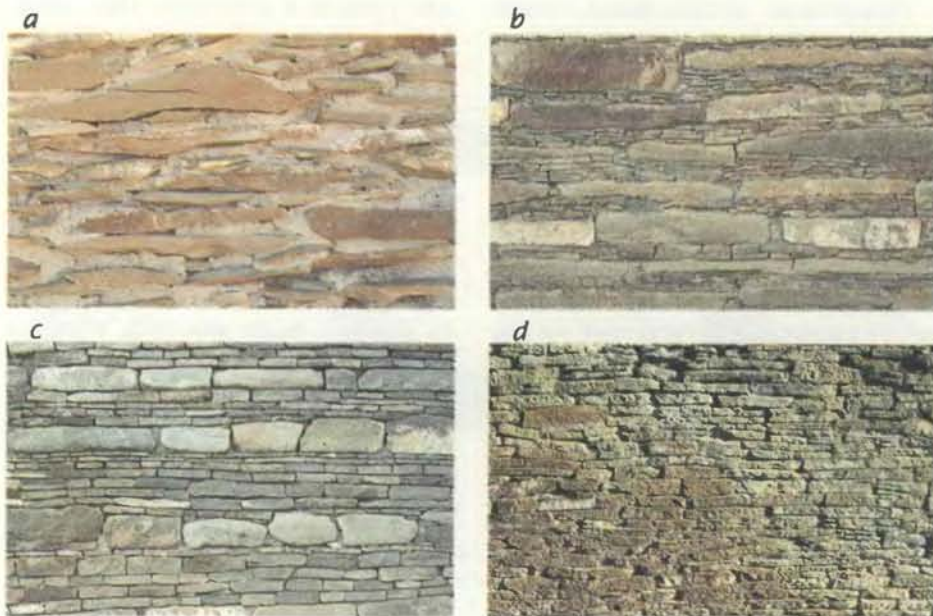
для участия в ритуалах. Они могли быть важной особенностью пейзажа, напоминавшей о былых ритуальных событиях.

Дороги, расходящиеся от «больших домов» в радиальных направлениях, являются наиболее убедительным свидетельством того, что чаканская община не была изолированной и поддерживала связь с отдаленными общинами анасази. Хотя дороги впервые были замечены в начале 1900-х годов индейцами навахо, живущими в отдаленных местах бассейна реки Сан-Хуан, их начали широко исследовать лишь после того, как в 1970-х годах стали доступными методы дистанционного наблюдения.

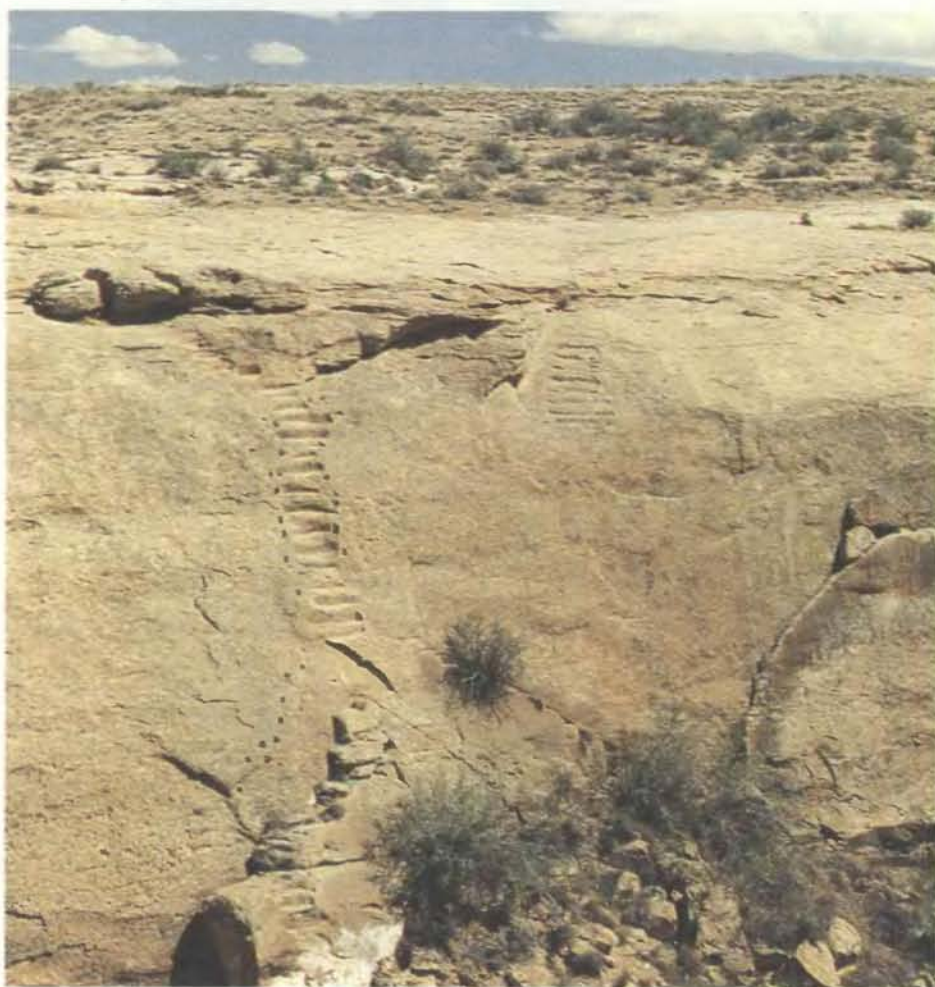
В 1981 г. Бюро земельного управления начало систематические исследования Великой северной дороги, дороги Ахшислепах, Южной и Койотской



ПОПЕРЕЧНЫЙ РАЗРЕЗ нескольких комнат в типичном «большом доме». Судя по толщине стен, конструкция была весьма прочной. Полы были выложены из основных и промежуточных сосновых балок, расположенных под прямым углом друг к другу, и покрытых штукатуркой из глины. Комнаты хорошо проветривались благодаря вентиляционным отверстиям. В каждом «большом доме» было множество дверей — угловых, Т-образных и прямоугольных.



КАМЕННАЯ КЛАДКА в «больших домах» весьма своеобразная. Ее можно подразделить на четыре типа. Древнейший тип (а) — грубая кладка из неровно уложенного песчаника с использованием большого количества глиняного раствора. Второй тип (b) состоит из блоков песчаника, скрепленных вместе с помощью небольших плоских камней. Третий и четвертый типы кладки стали использоваться в конце XI в. Третий тип (с) представляет собой ряды блоков крупного песчаника, чередующиеся рядами камней меньшего размера. Четвертый тип (d) образован из плоских, ровно уложенных камней.



В СКАЛАХ в каньоне Чако иногда вырубали ступеньки. Изображенные здесь ступеньки находятся примерно в километре на север от Четро-Кетла. Они образуют лестницу высотой около 23 м. Слева от ступенек видны углубления, выдолбленные для рук. Справа вверху видны еще несколько ступенек — начало лестницы, которая не была завершена.

дорог, т.е. основных дорог, пересекавших обширные равнины, которые окружают каньон Чако. Дороги эти в основном прямые. Например, Великая северная дорога на протяжении примерно 50 км ведет почти строго на север. Поначалу считалось, что они представляют собой чуть ли не обычные, хорошо утопанные тропы. Однако впоследствии стало очевидно, что дороги были тщательно спроектированы. Для их прокладки в некоторых неровных местах производилась выемка грунта, а также сооружались насыпи. Ширина дорог не везде одинакова. В окрестности «больших домов» она наибольшая, на протяженных же участках постоянна и равна примерно 9 м. В каньоне Чако в скалах были выдолблены широкие лестницы, а на различных участках дороги сооружены деревянные опоры вдоль скал, чтобы облегчить вход в каньон и выход из него.

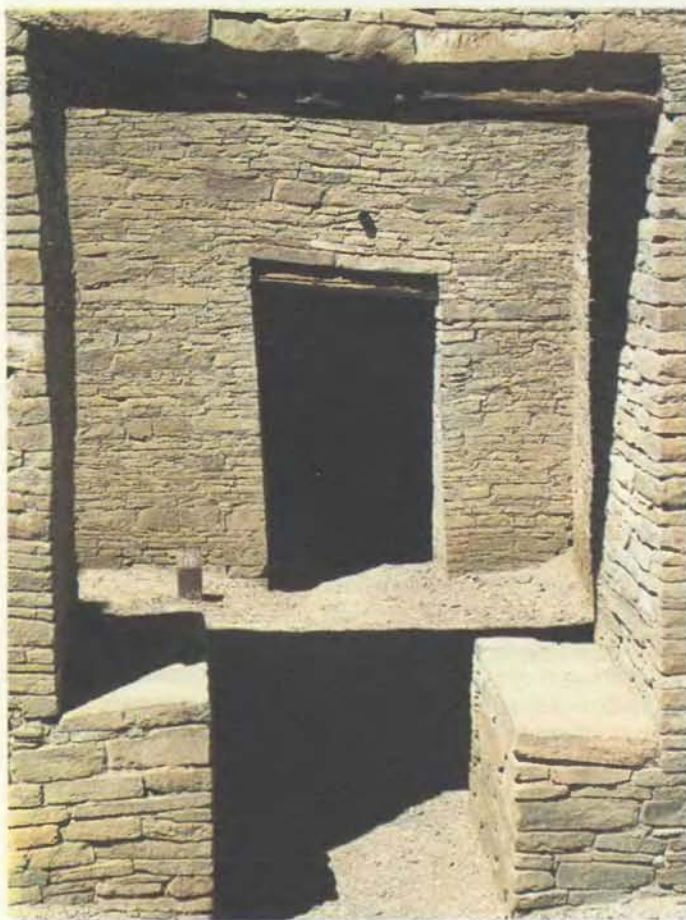
Только сейчас становится понятным, какова была протяженность дорог за пределами бассейна Сан-Хуан. Исследования, проводимые в настоящее время Джоном Р. Роуни из Бюро земельного управления, Майклом П. Маршаллом, участвующим в Проекте Солстиса, Эндрю П. Фоулером из Археологической программы Зуни и нами, показывают, что на севере дороги, вероятно, доходили до гряды Сан-Хуан в Скалистых горах, а на юге — до гор Моголлон. Насколько далеко они уходили в западном и восточном направлениях, пока сказать трудно, однако мы полагаем, что на западе они достигали бирюзовых принсков близ Санта-Фе, а на западе — долины реки Литл-Колорадо, и, возможно, даже гор Сан-Франциско близ Флагстаффа.

С какой целью были проложены эти дороги? На наш взгляд, они свидетельствуют о том, что каньон Чако был как ритуальным центром, так и центром обширной региональной сети. То, что он был ритуальным центром, вряд ли подлежит сомнению. В некоторых наиболее крупных «больших домах» обнаружены большие кивы — любопытный элемент чакоанской архитектуры. Всего в каньоне таких кив обнаружено не менее 18. Две из них раскопаны в Пуэбло-Бонито. По сравнению с остальными кивами эти подземные каменные сооружения имеют в 2 раза больший размер. Их средний диаметр составляет 15—20 м, а глубина — 4 м. На дне каждой из кив были выложены кирпичом углубления под деревянные сваи, служившие для поддержания крыши. Одна из свай, обнаруженная в Четро-Кетле, имела диаметр 68 см. Для доставки такого бревна на расстояние



БОЛЬШАЯ КИВА в Четро-Кетле—одна из самых крупных в каньоне. Толщина ее стен примерно 1 м. На дне кивы были сделаны четыре углубления, выложенные камнем, в которые вставлялись балки, поддерживавшие крышу. В центре

находился квадратный каменный очаг. По периметру кивы на одинаковом расстоянии друг от друга были сделаны квадратные ниши, каждая размером около 30 см. Ниши, вероятно, имели ритуальное назначение.



КОНСТРУКЦИЯ ДВЕРЕЙ в «больших домах» весьма своеобразна. Их было несколько типов. Т-образные двери (*слева*) имели различный размер. Здесь изображена необычайно широкая дверь в Пуэбло-Бонито. Ее назначение, как и большинства Т-образных дверей, неизвестно. Возможно, такая



форма облегчала перенос большого груза. Угловые двери, такие как в Пуэбло-дель Арройо (*справа*), были менее распространены. Они, возможно, облегчали движение через лабиринт кладовых.



ПУЭБЛО-АЛЬТО расположен над каньоном Чако на северной столовой горе, откуда открывается вид на бассейн реки Сан-Хуан. С самолета видны только очертания здания, поскольку значительная часть его была разрушена. Следы

четырёх доисторических дорог, ведущие на север от Пуэбло-Альто, едва видны (в отличие от легко заметных современных дорог). Система древних дорог, имеющих ширину в основном 9 м, была тщательно спроектированной.

более 40 км пришлось затратить немало труда. В стенах больших кив были сделаны ниши, расположенные на одинаковом расстоянии друг от друга. Назначение ниш неизвестно; вероятно, они имели ритуальное назначение.

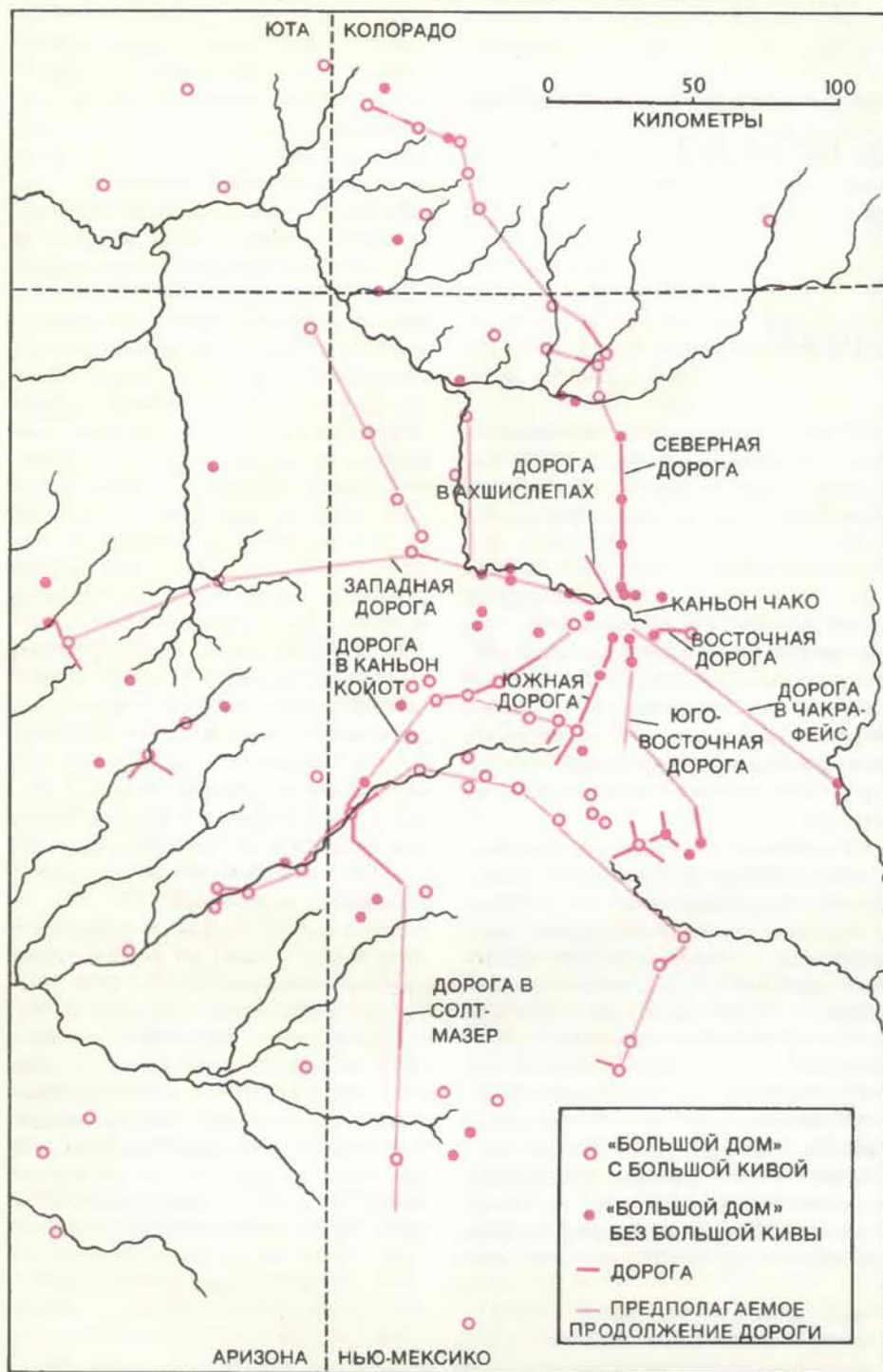
Свидетельства того, что каньон Чако был центром обширной региональной системы, могут быть получены на основании изучения типов обнаруженных в нем предметов. Экзотические предметы, среди них бирюза из района Санта-Фе, расположенного в 160 км к востоку, украшенные орнаментом раковины с побережья Тихого океана, медные колокольчики и перья макао из Мексики, наиболее ча-

сто встречаются в каньоне, чем в других поселениях общины анасази. Число утилитарных предметов, которые привозили из других районов, огромно. До трети обломков каменных орудий, обнаруженных в Пуэбло-Альто, доставлены из отдаленных каменоломен, например, из ущелья Вашингтона в горах Чуска, удаленного на 80 км. До половины из многих тысяч кухонных глиняных сосудов изготовлены из специальной глины, которую также добывали близ этих гор.

ПОЧТИ сто лет назад неподалеку от каньона Чако были обнаружены сооружения, напоминающие «большие дома». Например в 85 км севернее каньона находятся развали-

ны здания, носящие название Астекские руины. По размеру и планировке это здание, раскопки которого производились в 1910 и 1920-х годах, подобно Четро-Кетлу. Впоследствии были обнаружены и другие здания, похожие на «большие дома» в каньоне Чако. К началу 1970-х годов число таких зданий, обнаруженных вне каньона, достигло 20. Большинство из них были сильно повреждены ветрами и дождями и превратились в руины. После десяти лет полевых работ вне каньона было обнаружено более 150 домов, а общая площадь исследованного района составила 150-300 тыс. км².

Мы считаем, что в XI—XII вв. этот район был частью чакоанской регио-



ЧАКОАНСКАЯ СИСТЕМА, включающая в себя «большие дома», большие кивы и дороги, расположена в основном в северо-западной части шт. Нью-Мексико, а также в штатах Колорадо, Юта и Аризона. Эта система оказалась гораздо более обширной, чем предполагалось ранее. В настоящее время авторы расширяют свои исследования в этом районе, поэтому на карту нанесены не все дороги.

нальной системы. Об этом свидетельствует не только схожесть архитектуры домов вне каньона и «больших домов», но и то, что многие из них соединены с каньоном Чако системой дорог. Чакоанская система, как мы сейчас определяем ее, в 8—10 раз обширнее, чем считалось ранее, и масштаб наших исследований все более расширяется.

До обнаружения «больших домов» и дорог за пределами бассейна реки Сан-Хуан, мы полагали, что эволюция чакоанской региональной системы может быть наилучшим образом объяснена исходя из местных экологических условий. В XI—XII вв. бассейн реки Сан-Хуан был пустынным, лишенным растительности районом, и система дорог протянулась на мно-

гие километры по необитаемой территории. В конце концов дороги достигли окраины бассейна, где более плодородные земли, чаще орошаемые дождями, способствовали основанию густонаселенных поселений. По годичным кольцам деревьев нам удалось установить, что в любой год количество осадков было далеко не везде одинаковым в пределах бассейна, поэтому в одном месте год мог оказаться урожайным, с избытком продуктов, а в другом — неурожайным и привести к голоду. Мы предположили, что каньон Чако был своеобразной центральной кладовой для всего бассейна реки Сан-Хуан. Излишки продуктов из окрестных поселений доставлялись в «большие дома», где они хранились до тех пор, пока страдавшей от неурожая, вызванного засухой. В таком контексте группы больших комнат, группы комнат, двери которых выходят на дорогу, а также холмы отходов находят объяснение.

Теперь же, учитывая значительные изменения в масштабе чакоанской системы, к которым привели результаты исследований, мы должны пересмотреть нашу гипотезу. Хотя мы уверены, что община в каньоне Чако значительно отличалась от изолированной протогородской общины, какой она часто изображается, нам пока неизвестно, как она «вписывалась» в мир за пределами бассейна реки Сан-Хуан. Эта необычно сложная община была центром протяженной региональной системы. Есть основания полагать, что она была гораздо больше, чем общинный центр в названном бассейне. Насколько большей была чакоанская система, нельзя сказать точно, однако несомненно, что вырисовывающаяся сейчас картина свидетельствует о начале нового этапа в исследовании каньона.

НАПОМИНАЕМ АДРЕСА МАГАЗИНОВ — ОПОРНЫХ ПУНКТОВ ИЗДАТЕЛЬСТВА «МИР»

142292 Пушино-на-Оке,
просп. Науки,
магазин № 7

620151 Свердловск,
ул. Карла Либкнехта, 16,
магазин № 8 «Техническая книга»

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

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

Наука вокруг нас

Тени на дне водоема иногда имеют не совсем обычный вид. Почему?



ДЖИРЛ УОЛКЕР

ТЕНИ, отбрасываемые различными объектами, в большинстве случаев легко объяснимы, но тени, которые возникают на дне какого-либо водоема, имеют иногда весьма странные особенности. К примеру, лист дерева, плавающий на поверхности воды, отбрасывает на дно обычную тень, если глубина воды не больше 1—2 см: на большей глубине тень окаймлена светлой полосой. Столь же необычны бегущие тени на мелком дне. Они возникают в том случае, когда какой-нибудь предмет быстро протаскают по поверхности воды и тут же вынут; хотя никаких непрозрачных предметов в воде не остается, на дне пляшут и играют темные диски с яркими краями. Необычную тень может создать простой карандаш. Погрузите его частично в воду и попробуйте наклонять в разные стороны. При определенных углах наклона вы увидите тень, состоящую из двух «сосискообразных» пятен, разделенных полоской света.

Удивительные свойства этих теней объясняются преломлением света на границе раздела вода—воздух, иными словами, изменением направления

распространения света, обусловленным изменением скорости света при переходе его из одной среды в другую. В вакууме свет движется со скоростью 3×10^8 м/с; это предельная скорость распространения сигнала во Вселенной. В воздухе он движется несколько медленнее, поскольку на своем пути взаимодействует с молекулами газов. В воде ему приходится сталкиваться с более плотно упакованными молекулами, поэтому его скорость замедляется до трех четвертей от значения скорости в вакууме.

В учебниках свет обычно описывается как волна с плоскими волновыми фронтами; направление его распространения определяется лучом, проведенным перпендикулярно волновым фронтам. При анализе преломления света на границе двух сред первый луч принято называть падающим, а второй — преломленным. Наклон падающего луча измеряется относительно линии перпендикуляра к границе раздела, называемого нормалью. Если граница искривлена, нормаль перпендикулярна касательной к границе в точке пересечения с ней

луча. Угол между нормалью и падающим лучом называется углом падения.

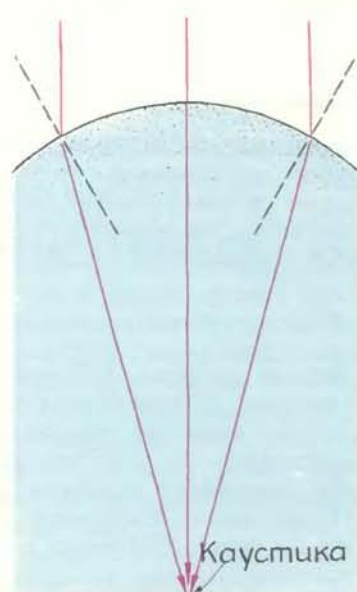
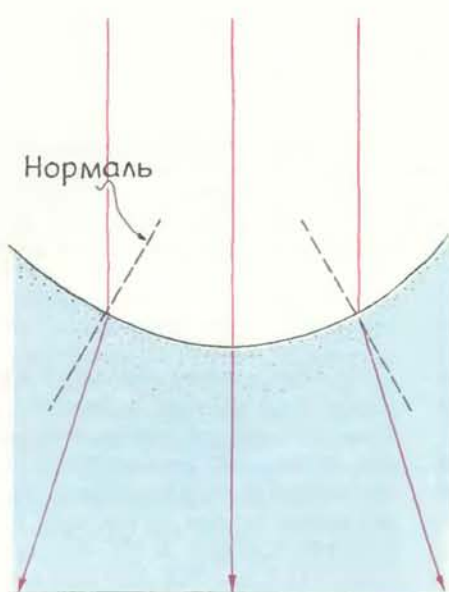
Когда свет переходит из воздуха в воду с ровной поверхностью так, что падающий луч параллелен нормали, каждый волновой фронт при пересечении границы раздела воздух—вода замедляется как целое, поэтому направление распространения света не изменяется. При всякой иной ориентации падающего луча волновой фронт пересекает границу раздела постепенно. Та часть волнового фронта, которая первой вошла в воду, замедляется ранее других. Неодновременное, а значит, неоднородное по длине волнового фронта замедление приводит к излому фронта и изменению направления его движения; иными словами, луч света преломляется. Чем больше угол падения, тем больше угол отклонения света от первоначального направления.

Если поверхность воды плоская, пучок параллельных лучей преломляется однородно и преломленные лучи равномерно освещают дно водоема. Если же поверхность воды искривлена, преломленные лучи не параллельны, так как нормали к разным участкам поверхности ориентированы по-разному. В результате дно водоема освещается неоднородно.

Вогнутая поверхность рассеивает лучи, и дно в том месте, куда в случае плоской поверхности эти лучи должны были попасть, освещено слабее. Выпуклая поверхность, напротив, фокусирует лучи: область, где лучи пересекаются и где вследствие этого освещенность больше, называется каустической поверхностью, или каустикой. В зависимости от формы водной поверхности каустика может представлять собой точку, линию или



Преломление



Схождение (слева) и расхождение (справа) преломленных лучей

поверхность в трехмерном пространстве. Если по случайности каустика располагается на дне, вы увидите в этом месте яркую точку, линию или пятно. Если место пересечения лучей (реальное или мнимое) находится выше (или ниже) дна, то дно в месте падения на него лучей хотя и освещено, но не так ярко, как в случае попадания на него каустики.

Небольшие волны создают искривления поверхности воды, которые отбрасывают на дно быстро скользящие блики, но эти движения слишком быстры, чтобы за ними можно было уследить. Более удобный способ проследить за преломлением света на искривленной поверхности воды — это бросить в воду плавающий предмет: у края предмета вода опустится или поднимется, и ее поверхность примет вогнутую или выпуклую форму. Там, где края предмета выше нормального уровня воды, вода подтягивается, образуя вогнутую поверхность, а там, где края лежат несколько ниже среднего уровня, вода опускается, образуя выпуклую поверхность.

В 1983 г. М. Берри и Дж. Хаджнал из Бристольского университета описали, как искривления поверхности воды у плавающего предмета влияют на тень, которую этот предмет отбрасывает на дно водоема. Чтобы проследить за их рассуждениями, налейте немного воды в белую емкость, а затем положите на поверхность воды обычное бритвенное лезвие. Если осторожно класть лезвие всей плоскостью, оно останется плавать. Поверхность воды прогибается под тяжестью лезвия и у края его становится выпуклой.

Осветите лезвие сверху лампой (она должна находиться по меньшей мере на расстоянии метра) и посмотрите внимательно на тени, которые отбрасывает лезвие на дно емкости. Если глубина воды меньше 3 см, тень имеет обычный вид темного изображения лезвия. При большей глубине у края тени видна яркая полоска. Берри и Хаджнал придумали, как быстро добиться превращения одной тени в другую. Подлейте воды в емкость, чтобы ее глубина стала равной 5 см, и положите на дно лист белой бумаги. Тень, отбрасываемая лезвием на дно, теперь окаймлена светлой полоской. Приподнимите бумагу над дном, чтобы она оказалась в 2—3 см от лезвия, и тень приобретет нормальный вид. Сам я предпочитаю просто добавлять воду в емкость или отливать ее. Добавление воды в емкость обычно не приводит к возмущениям лезвия; если же лишнюю воду требуется удалить, я пользуюсь соломинкой для коктейля.

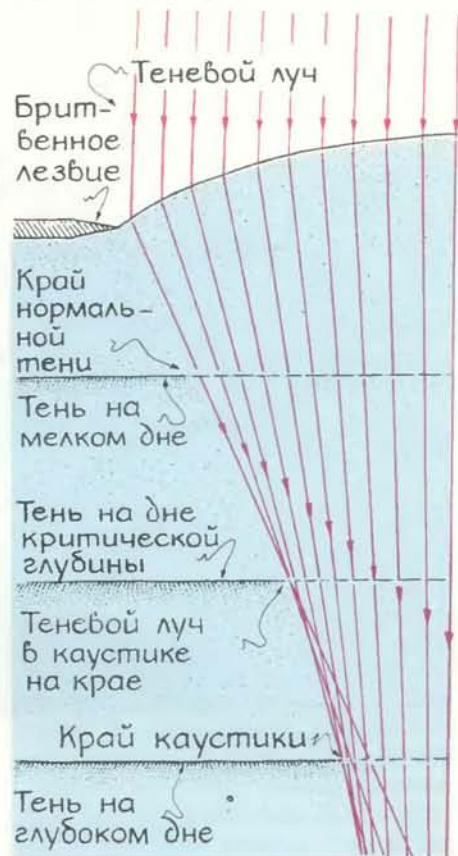
На искривленной поверхности воды

у края лезвия световые лучи преломляются и преломленные лучи сходятся, но точка их схождения, или фокус, располагается в месте, которое зависит от того, где они пересекли поверхность (см. рисунок вверху). Кривизна поверхности наиболее велика у края лезвия, поэтому лучи, которые входят в воду именно в этом месте, сходятся раньше, чем лучи, которые входят в воду дальше от края лезвия. Лучи, которые пересекают почти плоскую поверхность, достигают дна, не успев сойтись в точке вообще.

Луч, который входит в воду непосредственно у края лезвия, называется теневым лучом: если бы воды не было вообще, этот луч точно отмечал бы границу тени. Рассмотрим другой луч, который входит в воду несколько дальше от края лезвия. Искривление поверхности приводит к тому, что этот луч и теневой луч пересекаются и образуют каустику на некоторой глубине. Назовем ее критической глубиной. (Рисунок вверху иллюстрирует образование тени для трех значений глубины воды, причем среднее положение дна отвечает критической глубине.)

Предположим, свои опыты вы начали с того, что налили в емкость воды на 2 см от дна. Глубина воды меньше, чем критическая (в моих опытах последняя составляла около 3 см), поэтому теневой луч и соседний с ним луч падают на дно до того, как успевают пересечься. В этом случае лезвие отбрасывает обычную тень, края которой образованы теневыми лучами. Медленно добавляйте воду в емкость и следите при этом за тенью. Когда глубина воды станет равной критической, на границе тени возникнет каустика, поскольку в каждой точке границы сходятся теневой луч и соседний с ним луч.

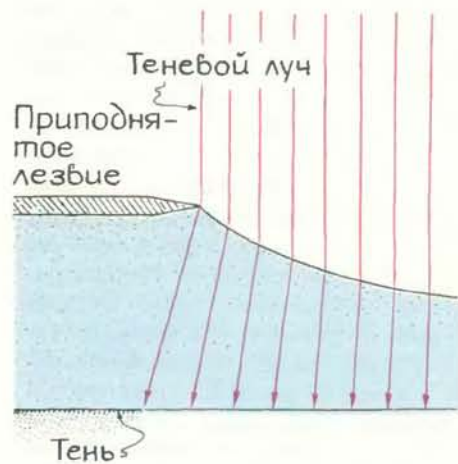
Подлейте еще немного воды в емкость. Каустика на границе тени останется, но теперь она образована не теневым и соседним с ним лучами, а парой лучей, входящих в воду несколько дальше от края лезвия. Из-за того что кривизна поверхности в этом месте меньше, чем у самого лезвия, лучи должны пересечься на несколько большей глубине, чем теневой и соседний с ним лучи. Теневые лучи более не ограничивают тень, а падают на освещенную область на дне емкости, несколько дальше от тени. Ширина тени определяется не теневыми лучами, как в случае нормальной тени, а каустикой, которая ограничивает тень. Если продолжать добавлять воду, каустику на границе тени будут образовывать лучи, входящие в воду все дальше от края лезвия. Расстояние до дна емкости возрастает и каустика пе-



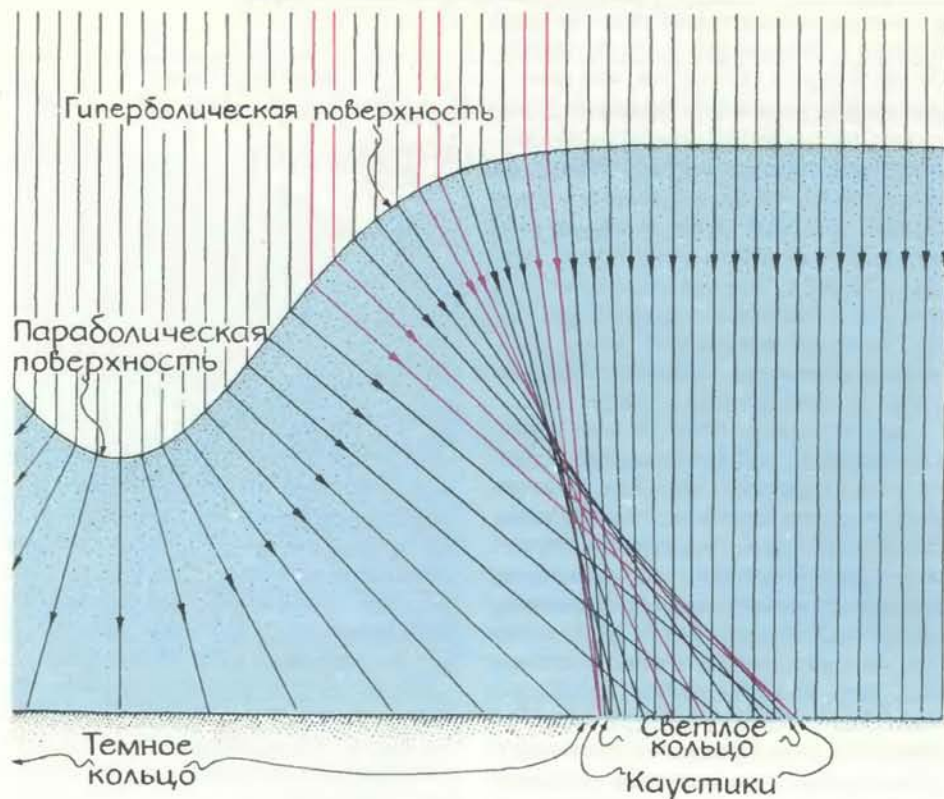
Тень от плавающего бритвенного лезвия

ремещается в место схождения лучей, которые проходят через участки водной поверхности с меньшей кривизной.

Теоретически значение критической глубины зависит от веса лезвия. Более тяжелое лезвие ниже сидит в воде, благодаря чему кривизна водной поверхности у края лезвия должна быть больше. При этом теневой луч и соседний с ним луч должны пересекаться раньше — на меньшей критической глубине. В одном из опытов я решил проверить данный вывод. Для этого я удалил часть воды, чтобы ее глубина стала равна 2,5 см, и для начала положил на воду одно лезвие. Оно дало нормальную тень. Затем я сложил



Тень от приподнятого лезвия



Тень, отбрасываемая водоворотиком

стопкой три лезвия и положил их на воду. И хотя все это сооружение плавало всего несколько секунд, я успел рассмотреть его недолговечную тень. По краям тень была окаймлена светлой полоской. Под тяжестью трех лезвий поверхность воды прогнулась сильнее, чем под весом одного лезвия; критическая глубина уменьшилась и по краям тени возникла каустика. Она была шире, чем в опыте с одним лезвием. Через некоторое время между нижним и средним лезвиями просочилась вода, нижнее лезвие отделилось и упало на дно, а тень сразу приняла обычные очертания.

Берри и Хаджнал отметили, что различные плавающие предметы, такие как листья или насекомые, могут создавать тени с яркими краями, если вода достаточно глубока и если эти предметы «продавливают» водную поверхность. Если у краев плавающих предметов вода поднимается, ее поверхность становится вогнутой и тени имеют обычные очертания, так как вогнутая поверхность рассеивает лучи, вместо того чтобы собирать их, формируя каустику. Тени к тому же имеют разные размеры. Плавающее лезвие отбрасывает тень, которая больше по размеру, чем оно само. Если чуть приподнять лезвие, чтобы вода у краев образовала вогнутую поверхность, тень станет меньше самого лезвия, поскольку рассеиваемые лучи проходят под лезвием, заставляя тень сжиматься (см. нижний рисунок на предыдущей странице).

Берри и Хаджнал показали также, как тени с каустикой по краям могут создаваться водоворотиками на поверхности воды. Чтобы возник такой водоворотик, они вращали под дном емкости магнит, который заставлял крутиться другой магнит, лежащий на дне емкости, в воде. Когда свет от лампы проходил через водоворотик, преломленные лучи создавали широкое яркое кольцо, которое окружало темную внутреннюю область. Внутренний и внешний края кольца представляли собой каустики.

Несколько месяцев спустя М. Стерлинг, М. Горман, П. Уидманн, С. Коффман и Р. Кин из Хьюстонского университета и Дж. Строзьермладший из Имперского колледжа Нью-Йоркского университета описали иной способ получения таких же водоворотиков. В следующий раз, когда вы соберетесь принять ванну, повторите их наблюдения. Дав воде успокоиться, быстро проташите какой-нибудь предмет по поверхности и выньте его. В течение нескольких секунд вы будете наблюдать темные кружки с яркой полоской по краям, пляшущие на две ванны. Эта полоска на границе кружка — разновидность яркого кольца, которое наблюдали Берри и Хаджнал. Испробуйте разные предметы и выберите тот, который оставляет самые отчетливые кружки. Стерлинг и его коллеги пользовались круглой лопаткой. По мере движения лопатки вода омывала ее, двигаясь от передней стороны к кра-

ям и заполняя пространство позади нее. Наблюдаемые на поверхности водоворотики были связаны между собой вихревой трубкой, лежащей ниже поверхности.

Эти опыты были вызваны к жизни наблюдением Кина в плавательном бассейне. Выходя из воды, он увидел два темных диска на дне бассейна, причем каждый был окружен узким ярким кольцом. Эти фигуры существовали в течение 10 мин. Кин предположил, что тени возникли благодаря преломлению света на водоворотиках, которые он оставил, выходя из воды. Но какую конкретно форму имели эти водоворотики?

Исследователи рассмотрели две формы: вогнутую (параболическую) и выпуклую (гиперболическую). В параболическом водоворотике преломление света на его поверхности должно приводить к расхождению преломленных лучей; при этом область под водоворотиком слабо освещена и выглядит как темное пятно на светлом фоне, однако яркое кольцо расходящиеся лучи создать не могут. Под гиперболическим водоворотиком лучи фокусируются, создавая яркое кольцо, но воронка гиперболического водоворотика должна сходиться в точку, что физически не реализуемо в природе. Исследователи пришли к выводу, что наилучшей моделью водоворотика является сочетание двух форм: параболоида, окруженного гиперболоидом.

Сердцевина водоворотика создает тень в виде темного диска. Яркое кольцо, которое ограничивает диск, обязано своим происхождением близким лучам, которые проходят через гиперболическую поверхность и фокусируются на дне. Лучи, которые проходят через эту поверхность вблизи параболической сердцевинки, сходятся слишком рано, чтобы участвовать в создании кольца. Лучи, которые проходят через поверхность слишком далеко от сердцевинки, не успевают пересечься и поэтому также падают на пределы кольца.

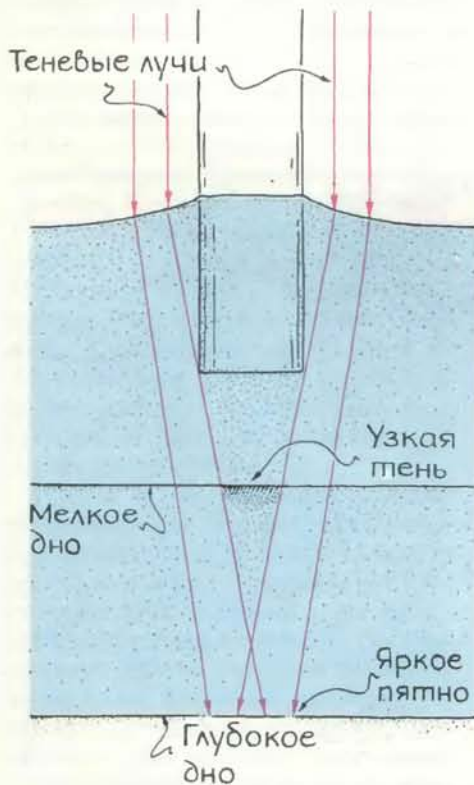
Какие именно лучи ответственны за каустику, зависит от глубины воды. Предположим, водоворотик скользит по воде переменной глубины. Если глубина уменьшается, каустику образуют лучи, все ближе расположенные к сердцевине; темный диск сжимается до некоторого минимального размера и затем, если глубина становится слишком мала, исчезает. Если же водоворотик движется в более глубокую воду, диск расширяется. Кольцо может вырасти настолько, что вы увидите каустики на его краях.

Мне удавалось получать похожие тени на дне емкости, когда я дул на

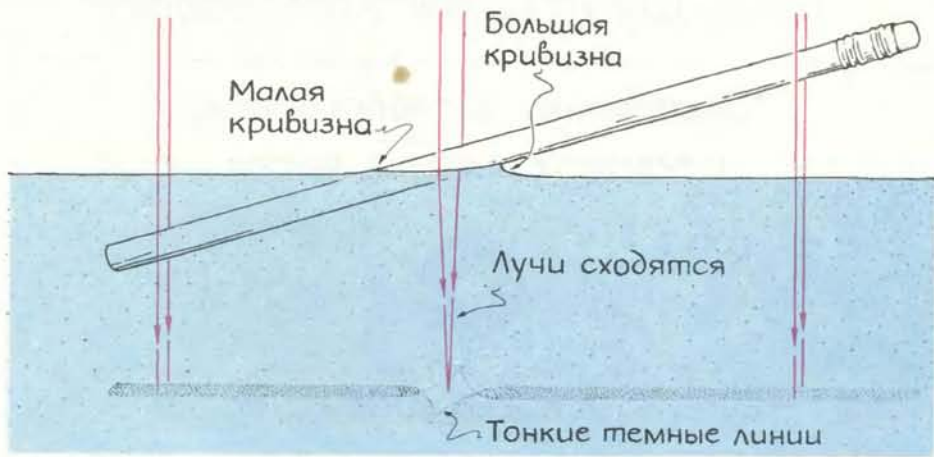
воду через соломинку. Возникающее при этом углубление на поверхности обычно отбрасывало тень, окаймленную светлым кольцом, однако, когда я дул почти горизонтально, тень начинала искажаться причудливым образом.

Схождение лучей света, преломленных на вогнутой поверхности воды, объясняет странную тень карандаша, погруженного в воду. Об этом явлении сообщил в 1967 г. С. Адлер из Нью-Йорка. Он заметил, что карандаш отбрасывает на дно ванны тень, состоящую из двух половин. Адлер назвал это явление «эффектом теней-сосисок» и правильно объяснил наличие освещенного промежутка между сосискообразными темными пятнами: причина его — преломление света на вогнутой поверхности у карандаша.

Заинтересованный наблюдением Адлера, я тоже решил поэкспериментировать с карандашом. Если вы захотите повторить мои опыты, наполните емкость водой на 6 см, поставьте ее прямо под лампу и погрузите карандаш вертикально в воду. В первый момент вы, возможно, увидите большую тень со светлой границей, поскольку вначале поверхность воды у карандаша прогибается вниз. После этого либо подождите немного, чтобы вода сама поднялась вдоль карандаша, либо немного вытащите карандаш; при этом поверхность воды у карандаша станет вогнутой. Рассмотрим лучи, которые проходят че-



Тень от вертикально стоящего карандаша



«Эффект теней-сосисок»

рез поверхность воды с одной стороны карандаша. Они расходятся в разных направлениях и некоторые из них экранируются погруженной в воду частью карандаша. Луч, который касается кончика карандаша, и есть в данном случае теневой луч. Лучи с противоположной стороны карандаша расходятся таким же образом и среди них также есть теневой луч.

Когда вы погружаете карандаш на несколько сантиметров в воду, два теневых луча не пересекаются, прежде чем достигают дна емкости; при этом тень от карандаша, которую вы видите на дне, тоньше самого карандаша. Теперь постепенно вытаскивайте карандаш. Тень сужается и в конце концов исчезает, уступая место яркому пятну. Теневые лучи теперь пересекаются до того, как достигают дна. Яркое пятно создается лучами, пришедшими с противоположных сторон карандаша и пересекающимися на дне. Выньте карандаш из воды совсем, так чтобы он едва касался поверхности. Если существует «мостик», связывающий карандаш и воду, яркое пятно присутствует. Если еще приподнять карандаш, мостик разрушится и на дне возникнет обычная тень.

Теперь погрузите карандаш в воду под углом 45° и снова либо подождите, пока вода поднимется вдоль него, либо чуть поднимите его. Поверхность воды у карандаша, как и в прошлый раз, становится вогнутой, но теперь ее кривизна неодинакова (см. рисунок сверху). Наибольшая кривизна наблюдается там, где карандаш составляет угол 45° с поверхностью воды, а наименьшая — с противоположной стороны, там, где этот угол тупой.

И та часть карандаша, которая находится выше воды, и та, которая погружена в воду, отбрасывают обычные тени, чего нельзя сказать о небольшой части, окруженной искрив-

ленной поверхностью воды. Рассмотрим теневые лучи, проходящие через два участка поверхности воды промежуточной кривизны, которые располагаются по разные стороны карандаша. Эти лучи сходятся на дне в том месте, которое лежит между тенями, отбрасываемыми сухой и погруженной частями карандаша. Если глубина воды невелика, теневые лучи падают на дно, до того как успеют пересечься. В этом случае вы видите тонкую тень, связывающую две более широкие тени. Если же вода достаточно глубока, теневые лучи пересекаются в воде и теневой «перешеек» пропадает. Вместо него вы видите освещенное пятно между двумя тенями, как показано на рисунке.

Адлер заметил, что это пятно имеет сложную структуру и состоит из чередующихся более светлых и более темных участков. Те участки, что находятся ближе к теневым областям, ярче, чем те, что лежат внутри пятна, которое обычно выглядит слегка сероватым. Я видел две темные линии, исходящие из кончиков теней, — своего рода «антикаустики».

В конце я налил на воду толстым слоем кукурузное масло, и в эту двуслойную жидкость погрузил карандаш под углом 45° . На этот раз тень карандаша распалась на три отдельные части, разделенные освещенными промежутками. Одно освещенное пятно было обусловлено преломлением света на границе раздела воздух — масло, другое — на границе раздела масло — вода.

Посмотрите, какие тени отбрасывают на дно емкости с водой другие предметы. Например, волос на поверхности создает цепочку различных теней. Некоторые из них темные, другие имеют яркие границы. Можете ли вы сказать, глядя на эту картину, какие участки волоса целиком находятся в воде, а какие лежат выше поверхности?

СТАРОЖИЛ: Конечно. Простое — проще некуда. Смотри, ты не можешь разделить его на 2, потому что остается 1. Ты не можешь разделить его на 3, потому что остается 1. Каждый раз всегда остается 1, вплоть до n . Ее никак не обойдешь.

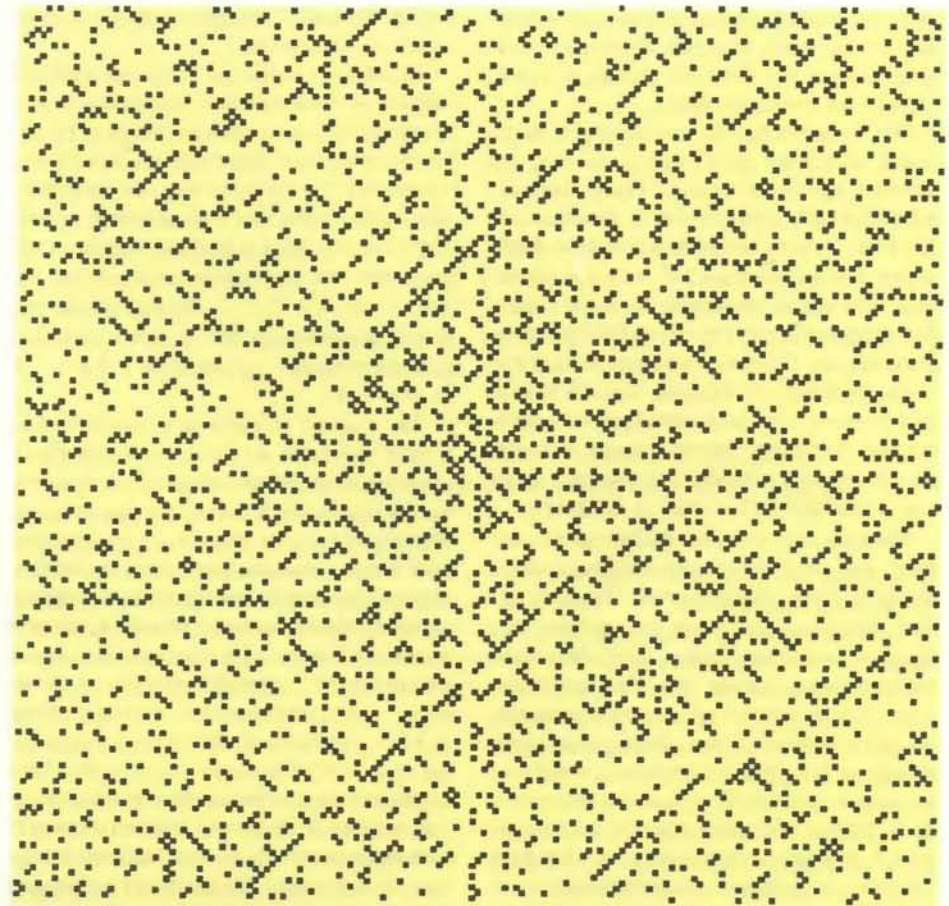
НОВИЧОК: Вот оно что! Значит, вы правы, им конца нет.

СТАРОЖИЛ: Так-то вот. Ну ладно, чего стоишь без дела, помоги-ка мне с этим промывным желобом.

Хотя самого большого простого числа не существует вообще, но самое большое простое число из тех, что нам известны, все же есть. Это различие непонятно некоторым читателям и даже журналистам. Вся беда заключается в этих заголовках на последней странице газет и журналов: **НАЙДЕНО САМОЕ БОЛЬШОЕ ПРОСТОЕ ЧИСЛО**. Иногда эта путаница продолжается и в самом газетном сообщении, из которого мы узнаем, например, что с помощью нового суперкомпьютера только что удалось доказать, что число, содержащее 7067 знаков, а именно $5 \times 2^{23473} + 1$ является простым. У него нет делителей, кроме 1 и, конечно, самого себя. В сообщении может отсутствовать напоминание (или читатель может проглядеть его) о том, что это лишь самое большое из известных простых чисел, и что вскоре, возможно, будет найдено новое, еще большее простое число.

Я затрудняюсь сказать, каково максимальное простое число из известных на сегодняшний день. Возможно, к тому времени, как эта статья выйдет в свет, оно уже будет другим. Ну а на тот момент, когда я писал эти строки, наибольшее простое число состояло из 65050 разрядов и было найдено Дэвидом Словински из фирмы Gray Research, Inc. в 1985 году: $2^{216091} - 1$. Простые числа, имеющие форму $2^m - 1$, называются числами Мерсенна, в честь французского математика-любителя Марена Мерсенна. Другой любитель С. Йетс из Делри-Бич (шт. Флорида) собрал в своей коллекции все известные простые числа, большие 1000. Его лекция полна и точна.

Насколько быстро простые числа разрежаются по течению реки Континуума? Из первых 10 чисел 4 являются простыми, таким образом их доля составляет 40%. В первой сотне их содержание падает до 25%, и оно продолжает падать с ростом величины числа более или менее регулярно. В общем количество простых чисел до n включительно приблизительно равно $n / \log n$. (В данном случае это приближение является асимптотическим. Другими словами, если количество



Спираль Станислава Улама выявляет несколько месторождений простых чисел

простых чисел, меньших для равных n , обозначить $p(n)$, то отношение $p(n)$ к величине $n / \log n$ все ближе приближается к 1, по мере того как n становится все больше и больше. Таким образом, вниз по течению Континуума простые числа разрежаются пропорционально натуральному логарифму от n .)

Давайте посмотрим, как действует это правило, подставив в формулу несколько пробных значений n . Например, сколько простых чисел содержится в интервале от 1 до 100 и в интервале от 1 до 1000? В первом случае формула дает что-то около 22, во втором — около 145.

Неудивительно, что это явление постепенного разрежения дает все более длительные интервалы, вовсе не содержащие простых чисел. Например, чтобы найти отрезок длиной в миллион, не содержащий ни одного простого числа, нужно лишь проплыть вниз по течению, как это однажды сделал Мартин Гарднер, до числа 1000001! Здесь восклицательный знак поставлен не для того, чтобы выразить восхищение или удивление: он означает число, равное $1 \times 2 \times 3 \times \dots \times 1000001$. Как говорят дети, число, конечно, «здоровушее». Однако нетрудно убедиться, что с этого числа начинается интервал, не содержащий ни одного

простого числа. Если в формуле $1000001! + n$ число n пробегает последовательные значения от 2 до 1000001, то каждое из получаемых чисел является составным. Потому что в любом случае 1000001! делится на n , и n делится на себя, т. е. число $1000001! + n$ делится на n .

Я уже говорил, что для простых чисел не существует никакой формулы, никакой комбинации алгебраических операций над n , выполняя которые можно было бы получить очередное, n -ое простое число. Многие люди впадали в заблуждение на этот счет, достигнув некоторых первоначальных успехов. Хорошо иллюстрирует подобные заблуждения шуточная поговорка, известная любому студенту-математику. В ней говорится о трех способах «доказательства» того, что все нечетные числа простые:

МАТЕМАТИК: 3 — это простое число, 5 — простое, 7 — простое ..., а дальше доказательство по индукции.

ФИЗИК: 3 — простое число, 5 — простое, 7 — простое, 9 — ошибка эксперимента, 11 — простое ...

ИНЖЕНЕР: 3 — простое число, 5 — простое, 7 — простое, 9 — простое ...

Инженер, как говорится, может

смеяться последним, поскольку математики в своих поисках больших простых чисел все больше должны полагаться на компьютеры.

Но, может быть, существует формула, которая дает, пусть не все, но только простые числа? Пьер Ферма, знаменитый французский математик XVII в., думал, что нашел такую формулу, когда написал $2^{2^n} + 1$. Он полагал, что какое значение ни подставит в эту формулу, результатом будет простое число. Однако этот мыльный пузырь, пущенный Ферма, лопнул после его смерти, когда швейцарский математик Леонард Эйлер нашел делители для пятого «простого числа» Ферма: $4\,294\,967\,297 = 641 \times 6700417$.

Иногда своего рода формула возникает как результат наблюдения визуальных закономерностей. Одну из таких закономерностей случайно открыл Станислав Улам, американский математик, поляк по происхождению. Сидя как-то на скучной лекции, он, ни о чем не думая, начал рисовать решетку из горизонтальных и вертикальных линий. В одной из полученных таким образом клеток он поставил 1 и стал нумеровать остальные клетки по спирали, расходящейся от первой клетки:

```

5 4 3
6 1 2
7

```

Когда спираль совершила уже несколько оборотов, Улам начал обводить кружками простые числа, не преследуя никакой определенной цели. Однако вскоре заметил, как на его глазах возникает довольно любопытная закономерность. Откуда ни возьмись, стали появляться прямые линии. Улам, конечно, сразу понял, что такие линии говорят о закономерности, которую можно облечь в формулу для простых чисел. Компьютерная распечатка, приведенная на с. 83, дублирует то, что Улам сделал от руки. На компьютерном графике составные числа представлены малень-

кими белыми квадратиками, а простые — черными.

Выделяющиеся на графике темные линии — это залежи простых чисел. Каким образом можно выразить эту геологическую картину на языке математики? У самого центра диаграммы одно такое месторождение прелегает сверху вниз и справа налево. Оно состоит из последовательности чисел: 7, 23, 47, 79... . Оказывается, эту последовательность можно описать квадратичной функцией $4x^2 + 4x - 1$.

Те, у кого остались в памяти кое-какие сведения из школьной алгебры, смогут подобрать формулы практически для любой линии на диаграмме. Формула может оказаться справедливой и для множества простых чисел, лежащих далеко за пределами приведенной диаграммы. Эйлер, который так многим не дал сделать карьеру в математике, предвосхитив множество математических результатов, тоже «открыл» аналогичную формулу еще в XVIII в.: $x^2 + x + 41$. Эта формула не видна на диаграмме Улама, чтобы ее увидеть, нужно в качестве начального числа спирали выбрать другое значение. Если начать спираль с 41, то мы получим месторождение, содержащее сразу 40 последовательных простых чисел!

Но, наверное, с помощью формул простые числа ищут лишь дилетанты. Опытные старатели, работающие на берегах реки Континуума, предпочитают решето, а еще лучше промывные желоба. С одного конца в эти устройства загружаются всевозможные числа, а с другого конца из него выходят только простые числа. Специальные фильтры улавливают составные числа при помощи проверки на делимость (см. рисунок на с. 82). Разумеется, такие промывные желоба очень хорошо работают в компьютерах.

Простейшие фильтрующие устройства отделяют простые числа путем деления на 2, 3, 4 и т. д. Если вве-

сти в устройство число n , оно проверяет его делением на 2, на 3, на 4 и продолжает проверки до тех пор, пока одна из них не окажется успешной или делитель не достигнет n . В первом случае число составное, во втором — простое. Алгоритм модели промывного желоба может послужить основой простейшей программы для домашнего компьютера. Назовем этот алгоритм SLUICE1:

```

input n
f ← 1
for k ← 2 to n - 1
  test ← rem (n/k)
  if test = 0 then f ← 0
  if f = 1 then output «простое»

```

На входе программа принимает число n , вводимое человеком с клавиатуры. Затем программа устанавливает у переменной f (действующей как флажок) значение 1. Если f все еще равно 1, когда программа завершает свои вычисления, значит, число является простым. В теле цикла многократно повторяется один условный оператор if . Индекс k пробегает значения от 2 до $n - 1$. Для каждого значения k программа выполняет деление n/k , берет остаток от деления (rem) и запоминает его под именем $test$. Чаще всего значение $test$ оказывается ненулевым, другими словами, k не делит n без остатка. Но если хоть раз оно оказывается нулевым, программа немедленно сбрасывает флажок f , записывая туда 0, и это значение сохраняется вплоть до конца цикла. Если условие во втором операторе if удовлетворяется, программа печатает «простое». Если же f было установлено в нуль где-то по ходу выполнения цикла, то программа хранит мрачное молчание.

Хотя описанная выше программа очень проста, она работает слишком медленно, особенно если заставить ее найти несколько простых чисел подряд. Для этого нужно лишь заменить первый оператор $input$ оператором цикла, таким, например, как «for $n \leftarrow 3$ to 1000». А последний оператор в программе можно изменить так, чтобы вместо «простое» печаталось очередное значение n , успешно прошедшее все проверки и ни разу не разделенное без остатка. Мы увидим, как начнут появляться простые числа от 3 до 997, по одному и очень медленно.

Однако работу программы SLUICE1 можно значительно ускорить, если внести в нее кое-какие изменения. Во-первых, не имеет никакого смысла проверять, делится ли число n на k , если k больше квадратного корня из n , потому что по крайней ме-

| | | |
|----|----|----|
| 67 | 1 | 43 |
| 13 | 37 | 61 |
| 31 | 73 | 7 |

| | | | |
|----|----|----|----|
| 3 | 61 | 19 | 37 |
| 43 | 31 | 5 | 41 |
| 7 | 11 | 73 | 29 |
| 67 | 17 | 23 | 13 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 1 | 3 | 9 | 9 | 1 |
| 9 | 8 | 3 | 9 | 2 | 9 |
| 1 | 6 | 4 | 3 | 1 | 2 |
| 5 | 1 | 7 | 4 | 7 | 1 |
| 7 | 1 | 5 | 9 | 7 | 1 |
| 9 | 3 | 7 | 3 | 3 | 9 |

Магические квадраты из простых чисел: Генри Эрнеста Дьюдни (слева) и Аллана У. Джонсона-мл. (справа)

Решетки простых чисел 6×6 Гордона Ли

ре один делитель числа n , если он есть, не должен превосходить квадратного корня из n , а одного делителя уже достаточно, чтобы считать число составным. Существует также знаменитая арифметическая теорема, которая гласит, что любое целое число можно представить в виде произведения простых чисел, и это произведение единственное. Число не является составным, если оно не делится ни на одно простое число, меньшее себя. С учетом обоих этих фактов цикл можно сделать значительно короче, выбирая в качестве значений индекса k только простые числа, не превосходящие по величине квадратного корня из n .

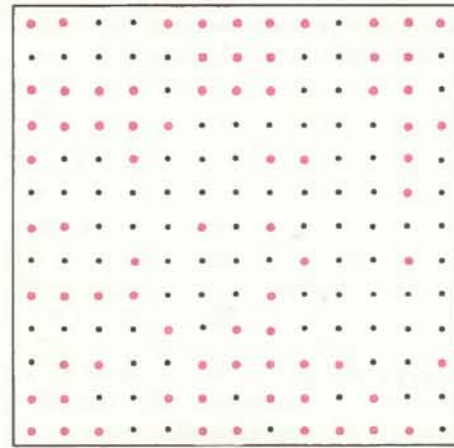
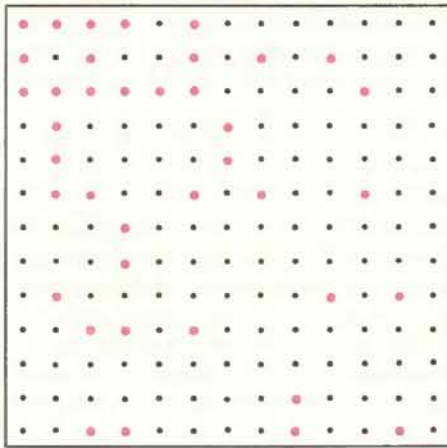
Новый алгоритм, который мы назовем SLUICE2, в достаточной мере отличается от своего незамысловатого предшественника и выглядит следующим образом:

```

r ← 1
p(1) ← 2
for n ← 3 to 1000
  k ← 1
  f ← 1
  while f = 1 and p(k) ≤ sqrt(n)
    test ← rem(n/p(k))
    if test = 0 then f ← 0
    k ← k + 1
  if f = 1 then r ← r + 1
  p(r) ← n

```

Поскольку программа SLUICE2 требует списка простых чисел, она запоминает каждое новое простое число в специальном массиве p . Переменная k является индексом, указывающим на последний элемент p . Таким образом, программа всегда знает, куда поместить следующее полученное ею простое число. В первой строке алгоритма индексу присваивается значение 1. В следующей строке в первый элемент массива простых чисел p помещается число 2. Затем следует цикл, описанный выше. В нем проверяются все числа в диапазоне от 3 до 1000. Переменная k указывает, какой элемент массива p используется в данный момент для проверки n . Внутри этого основного цикла есть еще один цикл типа *while* — пока флажок f равен 1 и очередное простое число из массива p не превышает квадратного корня из n , внутренний цикл продолжает проверки, выбирая последовательные значения k . При выходе из этого цикла флажок f может быть равен либо 1, либо 0. В первом случае это означает, что было найдено еще одно простое число. Программа добавляет его к уже существующему списку. Во втором случае в основном цикле просто произойдет переход к следующему значению n .



Прореагировавшие матрицы: Д. Фэкса (слева) и П. Кейна (справа)

Читатели, которые пожелают воспользоваться этим вариантом программы поиска простых чисел, могут выбрать один из двух способов вывода найденных значений. Программа SLUICE2 может распечатать весь массив p по завершении главного цикла алгоритма. При этом вы как бы увидите полное решето самородков. Но, может быть, вам больше понравится наблюдать, как самородки появляются по одному, как только они будут найдены. В таком случае сразу после оператора $p(r) ← n$ нужно вставить оператор печати *print*.

Возможно, предложенный диапазон поиска, от 1 до 1000, покажется читателям слишком маленьким. В принципе ничто не мешает увеличить верхний предел поисков до 100 000 или даже до 1 000 000. А может быть, что-то все-таки помешает? Это будет зависеть от того, насколько большие массивы допускаются в том или ином компьютере. Размер основного массива программы определяется количеством простых чисел, которые должны быть найдены по ходу выполнения программы. Здесь нам пригодится формула, оценивающая количество простых чисел. Согласно этой формуле, в диапазоне от 1 до 1 000 000 содержится приблизительно 72 382 простых числа. Если память компьютера имеет размер лишь 64 Кбайт, то он не справится с этой задачей.

Простым числам было посвящено множество занимательных математических задач. Продолжая тему простых чисел в применении к квадратным матрицам, рассмотрим две задачи. Первая из них была придумана Генри Эрнестом Дьюдни, известным английским специалистом по головоломкам. Наверное, многим читателям уже знакомы так называемые магические квадраты — квадратные матрицы чисел, у которых суммирование элементов по любой строке, любому столбцу и двум главным диа-

гоналям дает одно и то же число. Существуют ли магические квадраты, состоящие только из простых чисел? Оказывается, да. Магический квадрат размером $3 × 3$, приведенный на с. 84, имеет сумму 111 (между прочим, тоже не простое число) вдоль каждой строки, каждого столбца и каждой главной диагонали. Рядом с этой матрицей $3 × 3$ приведена матрица $4 × 4$. Известны магические квадраты и со стороной больше 4. Мы просим читателей, которым удастся самостоятельно открыть такие квадраты, прислать нам свои результаты. Лучшие из них будут опубликованы в одной из наших следующих статей. Результат будет тем ценнее, чем больше размер квадрата, а при одинаковых размерах преимущество будут иметь квадраты с меньшими суммами.

Другую задачу предложил еще один неутомимый английский изобретатель головоломок Гордон Ли, автор рубрики «Победители и побежденные» в журнале «Dragon User». Он построил квадрат $6 × 6$, состоящий из цифр, которые скрывают в себе великое множество простых чисел, а точнее говоря, 170 (см. правый рисунок на с. 84). Простые числа по диаграмме Ли можно строить из цифр любой строки, любого столбца и любой диагонали, просматривая их в произвольном направлении. Несколько полученных таким образом цифр могут составлять простое число, одно из 170, по подсчетам Ли. Всего в решетке размером $6 × 6$ содержится максимум 616 чисел (как простых, так и составных). Повторяющиеся простые числа считаются как одно число. В своих подсчетах Ли включил в список простых чисел и 1.

Интересно, а смогут ли читатели составить свой квадрат из цифр размером $6 × 6$, который содержал бы больше 170 простых чисел? Те, кто напишет и выполнит программы SLUICE1 и SLUICE2, получат некото-

рое преимущество перед остальными участниками этого конкурса. Ли подсказывает, что по квадрату должны быть рассеяны цифры 1, 3, 7 и 9, поскольку простые числа оканчиваются всегда на одну из этих цифр. С другой стороны, если составить квадрат только из этих цифр, он, как ни странно, окажется довольно бедным на простые числа. Разумно разбросав четные числа, включая 0, можно увеличить свои шансы в попытках превзойти результат Ли. Я опубликую лучшее из присланных решений (конечно, если оно содержит более 170 простых чисел).

ВМАЙСКОМ номере журнала мы говорили о домашней компьютерной лаборатории, в которой моделировались эффекты давления с помощью молекул газа, сталкивающихся со стенками замкнутого сосуда. Молекулы участвовали также в процессе цифровой диффузии, распространяясь от одного края сосуда к другому. Наконец, атомы опасного нестабильного вещества, названного мною гридием, были собраны в критическую массу. Некоторые читатели построили свои собственные сосуды, содержащие газ под давлением, и свои диффузионные камеры, но большинство, конечно, заинтересовались гридием. Со всей Северной Америки, а потом и из других частей света посыпались на мой стол доклады о «компьютерных взрывах».

Описав путь испускаемого при делении нейтрона линейным уравнением, я тем самым неявно предполагал, что два нейтрона, удаляясь от расщепленного атома, должны двигаться в противоположных направлениях. Большинство читателей, однако, выбрали лишь одно из этих направлений. Так или иначе, расщепить все атомы плоской решетки размером $h \times n$ оказалось весьма непросто.

Построив по результатам многочисленных экспериментов диаграмму, Р. Касл из Уэбстера (шт. Техас), установил, что в решетке размером 16×16 обычно реагирует 90% атомов. А когда размер решетки достигает 32, количество делящихся атомов достигает уже 99%. Р. Мартин, профессор философии Университета Далусси в Новой Шотландии, пришел к следующим результатам: когда размер решетки равен 19, реагирует 90% атомов, а при размере 39 количество прореагировавшего материала достигает уже 99%. Большинство других ядерных экспериментов дали результаты, укладывающиеся в этот диапазон. Среди тех читателей, кто воспользовался моделью с двумя нейтронами, был, например, Р. Смит из Энн-Арбора (шт. Мичиган). Он при-

шел к типичным результатам с меньшей критической массой. Согласно его данным, в решетке 15×15 реагирует 98% атомов.

Наверное, немногим читателям удалось создать такую сложную и совершенную систему, какую представляет собой программа SHAKEY, написанная Р. Меркином из Нортэмптона (шт. Массачусетс). Программа SHAKEY не только управляется с очень большими решетками, но и с помощью многих приемов, позволяющих сэкономить время, работает

очень быстро. Домашний реактор SHAKEY позволяет экспериментировать с различными интервалами в решетке, а также отмечает каждый распад звуковым сигналом, шелкая подобно счетчику Гейгера. Меркин пишет, что готов с удовольствием поделиться своей программой со всеми желающими.

Изображения взорвавшихся решеток, приведенные на рисунке вверху, были присланы Д. Фэксом из Питтсбурга (шт. Пенсильвания) и П. Кейном из Шампейна (шт. Иллинойс).

Наука и общество

Финансирование науки: от кого оно зависит?

ВМАЕ на «вашингтонском небосводе» расположение звезд, определяющих судьбу науки, было неблагоприятным. Стечение двух обстоятельств — закат власти нынешнего президента и полученное в декабре прошлого года согласие конгресса относительно ограничения бюджетных ассигнований на внутренние нужды в новом финансовом году — привело к тому, что нескольким проектам из области «большой науки» был нанесен серьезный удар на Капитолийском холме. Один из подкомитетов палаты представителей проголосовал за то, чтобы отложить строительство всех новых объектов, которое должно было начаться в 1989 г., в том числе сверхпроводящего суперколлайдера SSC и фотонного излучателя «Advanced Photon Light Source», который стоит 456 млн. долл. и предназначен для генерирования синхротронного излучения в экспериментальных исследованиях, связанных с разработкой новых материалов. Представленная сенатом предварительная структура бюджетных ассигнований была расценена некоторыми конгрессменами и их советниками как симптом надвигающейся опасности; так, например, если она будет принята, придется прекратить все работы по строительству космической станции. Предложения сената означают также, что Национальный научный фонд (ННФ), который финансирует многие гражданские исследования в области фундаментальных наук и бюджет которого администрация

планировала удвоить в ближайшие пять лет, будет рад получить хоть какую-нибудь прибавку к ассигнованиям.

Научная общественность выражает свое недовольство. Руководители исследовательских лабораторий, включая Брукхейвенскую национальную лабораторию и Станфордскую лабораторию синхротронного излучения (СЛСИ), заявляют, что вследствие сокращения бюджетных ассигнований имеющееся у них научное оборудование используется далеко не в полной мере. Директор СЛСИ А. Бьененсток сказал, что у них имеется «установка, которую они не могут использовать», хотя на ней можно было бы выполнять важные работы по проекту нового фотонного излучателя. А. Шрисхайм, руководитель Аргонской национальной лаборатории, которая недавно была объявлена центром по разработке новых высокотемпературных сверхпроводников для промышленных целей, заявил, что дополнительные 2 млн. долл., выделенные в этом году на указанные работы, «не покроют основного дефицита». Директор управления по обслуживанию обсерваторий при Национальной организации радиоастрономических обсерваторий Р. Хавлен считает, что недостаток средств породил ряд проблем в отношении работы системы VLA (большой антенной решетки) в Нью-Мексико, «настолько острых, что, по-видимому, придется отказаться от некоторых астрономических наблюдений».

Что же делать в такой ситуации? На ежегодном заседании Национальной академии наук ее президент Ф.Пресс, бывший советник по науке при президенте Дж. Картере, внес ра-

дикальное предложение: он сказал, что ученые сами должны решать вопрос о приоритетности научных направлений, а не вверять свою судьбу конгрессу. Как заявил Пресс, предлагаемые объемы бюджетных ассигнований нескольких крупномасштабных научных проектов являются «испытанием политической реальности» в условиях дефицита и пристрастия конгресса к социальным программам.

Далее Пресс высказал свои соображения по поводу того, что необходимо финансировать в первую очередь, указав, в частности, на необходимость поддержки «малой науки», творимой учеными-одиночками. Абсолютный приоритет, по его мнению, следует отдать подготовке научных кадров и выделению стипендий большому числу ученых и инженеров, которые сейчас ведут самостоятельную работу. В качестве первоочередных следует считать и такую грозную проблему, как СПИД, и практическое использование возможностей, заложенных в последних открытиях, в частности новых высокотемпературных сверхпроводников. В то же время, по мнению Пресса, некоторые крупные проекты, поддерживаемые администрацией, как, скажем, строительство сверхпроводящего суперколлайдера SSC, а также картирование и определение полной нуклеотидной последовательности генома человека, важны в меньшей степени и финансирование их при дефиците бюджетных средств можно отсрочить. Научные исследования и разработки оборонного характера, создание космической станции и пилотируемых космических кораблей Пресс отнес к категории наименее важных проблем «политического» свойства, о ценности которых можно судить только с учетом политических выгод.

Некоторые эксперты по вопросам науки признают компетентность мнения ученых, но выражают сомнение в том, что ученые сами должны решать вопрос о том, кого первым следует «столкнуть с борта», чтобы спасти остальных. Исполнительный директор Американской ассоциации содействия развитию науки Э. Тривелпис считает, что в науке всегда следует поощрять самое лучшее и избегать «преследования загнанного зверя». Тривелпис, активный сторонник создания сверхпроводящего суперколлайдера, заявил, что он «не разделяет оптимизма относительно того, что ученые сами смогут устанавливать приоритетность проблем при решении вопроса о финансировании». Он считает, что в правительственных кругах уже имеется достаточное количество квалифицированных советников по науке; проблема, возможно,

заключается в том, что к ним не пришиваются.

Президент Рокфеллеровского университета Дж. Ледерберг предвидит здесь скрытую ловушку: может сложиться ситуация, при которой ученые сами определяют приоритетность исследований, а затем решения принимаются без их участия; фактически это означало бы, что будто «отказ от всего того, что не относится к работам чрезвычайной важности с государственной точки зрения, сделан с согласия ученых». Л. Бранском из Гарвардского университета, который занимается изучением различных аспектов управления наукой, отмечает, что, относя те или иные проекты к разряду «политических», Пресс рискует создать впечатление, будто наука существует ради самой себя и не несет ответственности за судьбу основных проектов, которые могут оказаться важными для национальной безопасности или экономики страны.

Хотя не все сомнения устранены, но в конце мая палата представителей присоединилась к точке зрения сената и согласилась изложить совместное решение о распределении бюджетных средств в таком виде, в котором бы отражалось признание роли ученых. Никакого конкретного решения относительно того, какой будет эта роль, принято не было, и в конечном итоге формулировка осталась неясной. Представители академической науки приступили к неофициальным переговорам с бюджетной комиссией при сенате; планируется провести совместное изучение вопроса, с тем чтобы установить категории и критерии при распределении ассигнований на науку. Пресс заявил, что надеется увидеть предварительный документ в ноябре этого года.

Странная пара

МЕТОДИЧНО расшифровывая поток быстрых радиоимпульсов, астрономы Э. Фрутчер, Д. Стайнбринг и Дж. Тейлор из Принстонского университета обнаружили, что на расстоянии 3000 св. лет от Земли в созвездии Стрельца произошло необычное событие.

Путь к этому открытию начался с поиска быстровращающихся пульсаров. Пульсар — это нейтронная звезда (компактное сжатое тело, которое может образоваться при взрыве сверхновой в результате сжатия ее центральной части). Если нейтронная звезда вращается, то она испускает мощный импульс электромагнитного излучения при каждом обороте. Большинство известных пульсаров вращается со скоростью несколько оборо-

тов в секунду, а некоторые так называемые миллисекундные пульсары имеют скорость несколько сотен оборотов в секунду.

При помощи огромного радиотелескопа в Аресибо (о. Пуэрто-Рико) эти ученые обнаружили пульсар, вращающийся со скоростью 622 оборота в секунду. (Известен только один пульсар, вращающийся еще быстрее.) Незначительные колебания скорости вращения показали, что пульсар связан с объектом, находящимся на расстоянии 1,25 диаметра Солнца. Это неудивительно, поскольку уже обнаружено восемь двойных пульсаров. Необычным, по существу уникальным явлением было то, что пульсар периодически скрывался за своим спутником.

Компьютерный анализ этих затмений дал много информации о природе спутника. Непосредственно перед и после затмения поток импульсов слегка задерживался, по-видимому, из-за плазмы, окружающей спутник и тянувшейся за ним как хвост кометы. Спутник пульсара имеет примерно такие же размеры, что и Солнце, тогда как его масса составляет 2% массы Солнца — возможно, это наименее массивный объект, наблюдавшийся за пределами Солнечной системы. «Это необычный объект», — сказал Стайнбринг.

Ученые предполагают, что когда пульсар образовался примерно 100 мл. лет назад, он вращался значительно медленнее, может быть, со скоростью несколько оборотов в секунду. Тогда спутник, вероятно, был обычной звездой, похожей на Солнце. По мере того как в спутнике «выгорал» водород, он постепенно раздулся в красного гиганта и вещество из его верхних слоев начало перетекать к пульсару. Аккреция вещества способствовала тому, что пульсар стал вращаться быстрее и испускать больший поток излучения.

Как считает Стайнбринг, это излучение, включая фотоны радиодиапазона (такие же, как те, которые были обнаружены на Земле) и другие частицы, ускоренные в магнитном поле пульсара, «выдувают» вещество из пульсара. Нагретый излучением спутник выбрасывает еще больше вещества в пространство в форме плазменного ветра. В конце концов, возможно, через несколько миллионов лет спутник полностью испарится.

Два других известных миллисекундных пульсара, у которых нет спутников, по-видимому, прошли тот же путь. «Спутник отдает большую часть своей массы нейтронной звезде, — отмечает Стайнбринг, — а затем неблагодарная звезда поворачивается и убивает его».

Геологическая история Луны; все о гриппе; труды Альвареса



ФИЛИП MORRISON

Д.Е. Вильгельмз. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИСТОРИЯ ЛУНЫ. Некоторые разделы написаны Дж. Ф. Макколи и Н. Дж. Франком

THE GEOLOGIC HISTORY OF THE MOON, by Don E. Wilhelms, with sections by John F. McCauley and Newell J. Frank. U.S. Geological Survey Professional Paper 1348, U.S. Government Printing Office. Books and Open-File Reports Section, U.S. Geological Survey, Federal Center (\$ 33)

ИСТОРИЯ Земли — это романтическая эпопея. Она, как браваурная опера, захватывает внимание разнообразием тем и причудливыми оркестровыми оттенками. Земная “сцена” весьма изменчива: на ней происходят то перемещения огромных плит, то оледенения или наводнения. Повсюду видны признаки жизни в ее удивительном многообразии. Изменения происходят и в наше время и они напоминают о прошлом.

Геология Луны, наоборот, представляется ранним произведением жанра камерной музыки — аскетически строгим, контрапунктным, не содержащим ничего не завершенного. И вот перед нами его только что изданная “партитура”. Это легко читаемый, хотя и не свободный от специальной терминологии, рассказ об экзотической стратиграфии, восходящей ко времени формирования этого небольшого планетного тела. Гигантская книга в мягкой обложке буквально насыщена всякими сведениями: фотоснимками пустынного лунного ландшафта, результатами геохимических и геофизических анализов, выполненных как дистанционно с космических аппаратов, так и непосредственно на доставленных на Землю образцах. Для поверхности Луны выделены геологические периоды и составлены подробные карты. Информация получена почти от пример-

но 40 советских и американских космических аппаратов, запущенных к этой планете в период между 1959 и 1976 гг.; девять из них были из серии “Аполлон”.

В формировании лунной коры принимали участие как внешние воздействия, так и внутренние силы. Почти на каждом светлом участке фотоснимков лунного рельефа можно проследить место удара метеорита о поверхность планеты, изрытую ударными волнами. Эта поверхность усеяна обломками пород и покрыта тончайшей пылью. Более темные образования, лавовые моря, — результат действия внутренних сил. Видимые невооруженным глазом, эти образования были признаны как равнины с тех пор, как Галилей впервые рассмотрел их в телескоп из своего сада в Падуе. Указанные два типа ландшафта имеют традиционные, “земные” названия: светлые, неровные участки, занимающие пять шестых лунной поверхности, — это материки, а более темные области — моря.

Геологическая история Луны изложена в двенадцати главах. В первых шести в общих чертах описаны методы исследований и приведены примеры изучения конкретных образований. Многие гипотезы восходят к периоду так называемой описательной геологии, когда невозможен был отбор образцов и детальные визуальные исследования. Некоторые первоначальные суждения, которые высказывались на основе изучения земных процессов, оказались пророческими. Таковые содержатся, например, в работах Р.Б. Болдуина 1950-х и 1960-х годов.

Во второй половине книги описывается систематизация процесса формирования лунной поверхности. Все видимые детали сгруппированы в пять последовательных периодов (групп слоев), называемых системами. На последнем большом развороте книги приведена их цветная карта, включа-

ющая все периоды, начиная от самых древних.

Поверхность Луны покрыта многочисленными кратерами ударного происхождения, образованными в результате выпадения на нее огромного количества метеоритов и астероидов. Среди этих кратеров встречаются гигантские. Кратеры имеют валы, стенки, центральные горки и лучи. Выброшенный при ударе материал образовывал новые, вторичные кратеры, имеющие меньшие размеры. Наличие вторичных кратеров позволяет установить временную последовательность явлений кратерообразования. К настоящему времени стало ясно, что, подсчитывая первичные кратеры одинаковых размеров, образовавшиеся на аналогичных поверхностях, можно довольно точно определить значения относительных возрастов. В изучении истории Луны кратеры играют примерно ту же роль, что и ископаемые остатки в геологии: крупный, сильно эродированный кратер может рассказать почти столько же, что и трилобит. Известные аномалии постепенно сглаживаются. Кажущаяся странность некоторых выровненных цепочек кратеров исчезает, как только кратеры данного возраста наносятся на карту по отдельности.

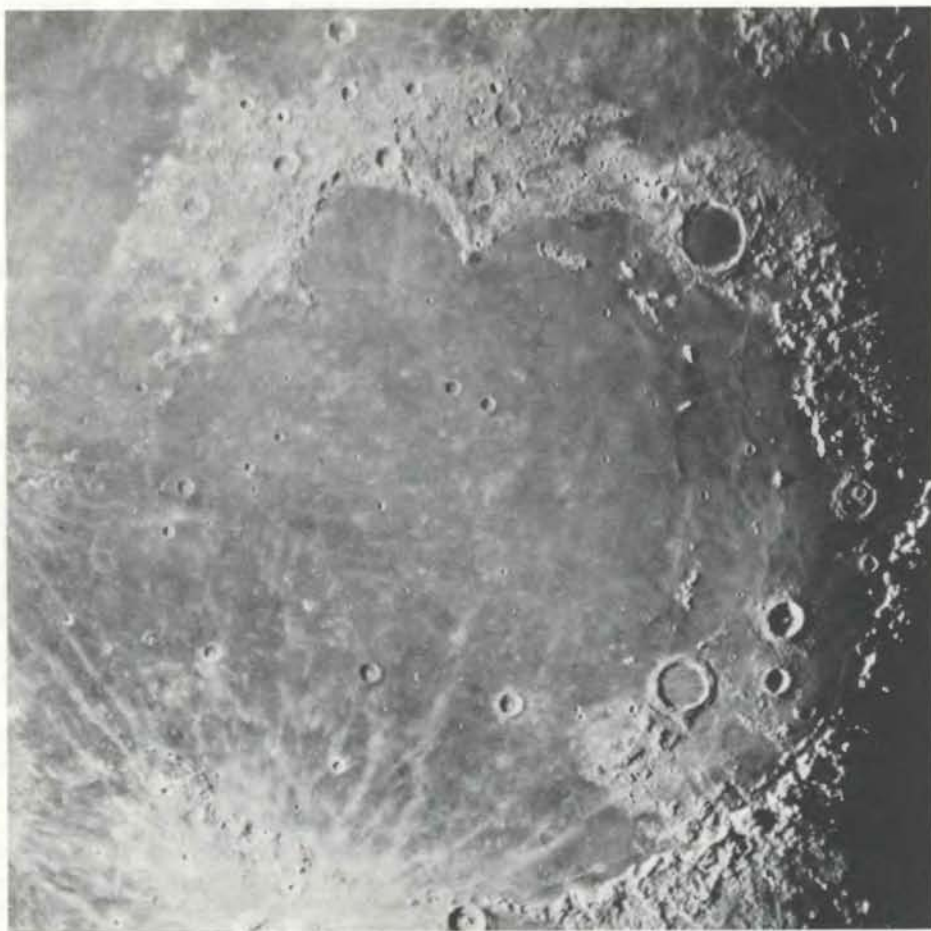
В результате исследований стало ясно, что гладкие, ровные лунные моря сложены темной породой, весьма богатой железом и титаном, подобно земным базальтам; все девять экспедиций, отбравших образцы лунного грунта, доставили их на Землю. Лунные моря — это застывшие потоки лавы. В Море Дождей отчетливо проявляются лопастные образования аналогичные земным — застывшие потоки с низким рельефом, характерные для обширных участков поверхности. Толщину слоев лавовых потоков определить сложно; чаще всего о ней можно судить по степени затопления более древних кратеров и степени проникновения более новых. Гравитационные и радиолокационные данные показывают, что толщина лавовых слоев может достигать 2 км. Слабые места в лунной коре, образовавшиеся в результате ударов метеоритов в далеком прошлом, приводили иногда к экструзии из недр Луны расплавленной магмы, которая разливалась по поверхности. Весьма любопытные образования, видимые в пределах лунных морей, можно связать с многочисленными признаками, свидетельствующими об излиянии лавы, такими, как формы рельефа типа скебленда, силлы, дайки, обрушившиеся лавовые трубки.

Все моря располагаются внутри бассейнов — неглубоких древних кра-

теров довольно больших размеров, которые теперь удается обнаружить главным образом по наружным кольцам возвышенностей. Это — новейшая структура, выявленная современными комплексными исследованиями. Наблюдения двойных колец, окаймляющих Море Восточное, были первым ключом к отождествлению таких форм рельефа. Вероятно, они порождаются действием волн на испытывавших ударное воздействие флюидизированных поверхностях, образовавшихся уже после бомбардировки, всего через какие-то минуты после столкновения с астероидом. Изображения нескольких десятков лунных бассейнов, следующие в порядке увеличения размера от 300 до 2400 км (один из них находится на Южном полюсе), подготавливают читателя к восприятию таблицы менее характерных форм, включая валообразные элементы и другие почти кольцевые хребты и кольца, которые сегодня можно выявить лишь частично. Самый крупный из таких нечетко выраженных бассейнов занимает северную левую четверть обращенной к нам стороны Луны, видимой из Северного полушария Земли. Внутри его находится Море Дождей и много других образований. Бассейн существовал уже до возникновения крупных лавовых потоков. Его формирование привело к ослаблению и утончению лунной коры в отдельных местах, что облегчило излияние лавы.

Луна обладает поверхностной асимметрией. Темными морями покрыто около 30% ее видимой стороны и лишь 2% обратной стороны. Теперь это уже не является загадкой: самый крупный из известных нам ударов метеоритов произошел именно на той стороне, которую мы можем видеть. В пределах этой огромной впадины время от времени изливался базальт. Одна из наиболее впечатляющих фотографий, хотя и небольшая по размерам, представляет собой видимое в телескоп изображение полной Луны. Е.А. Уиткер из Аризонского университета разметил снимок таким образом, что даже новичок почти сразу может распознать многокольцевой бассейн Океана Бурь — это название носит самая древняя и большая из известных ударных структур. Горнообразование под действием каких-либо внутренних процессов, по видимому, почти полностью отсутствует на Луне. Все хребты и возвышенности, как выясняется, окружают некоторые полуразрушенные бассейны далекого прошлого.

В наше время Луна — такое же спокойное небесное тело, как и может показаться по ее внешнему виду.



Море дождей, окруженное горными образованиями

“Аполлон-17” совершил посадку вблизи зоны оползня и отобрал там образцы грунта. Ее возраст был определен по времени воздействия космических лучей на породы, оказавшиеся на поверхности в результате оползания масс. Последнее могло быть вызвано ударом о лунную поверхность тел, отброшенных при образовании яркого кратера Тихо, находящегося неподалеку. Нескольких таких тел можно видеть вблизи места посадки космического корабля. Д. Вильгельмз считает, что это событие произошло в последний из выделенных им периодов истории Луны. Этот период начался 0,8 млрд. лет назад с образования кратера Коперник. Датировка получена на основе радиологического анализа образцов, доставленных на Землю экспедицией “Аполлона-12”. Взрыв, образовавший кратер Тихо, вызвал упомянутый выше оползень 0,1 млрд. лет назад, и определение возраста по анализу воздействия космических лучей показывает, что все три малых кратера (образцы из которых были отобраны во время полета космических аппаратов “Аполлон-14, -16 и -17”) моложе 50 млн. лет. Перечисляются значения возраста, принятые для имеющих названия периодов лунной истории; все абсолютные возрас-

ты основаны на анализах образцов лунного грунта. Бомбардировка поверхности Луны метеоритами продолжается и поныне; лунные сейсмографы уловили сигнал от крупного удара по обратной стороне Луны в 1972 г. В течение последних 3 млрд. лет образовались лишь примерно 100 светлых, хорошо видимых крупных кратеров и часть базальтовых потоков в Море Дождей и к западу от него.

Книга завершается “напутствием” для будущих геологов: перечисляются 18 мест, где в дальнейшем с помощью зондов-роботов будет производиться отбор образцов реголита с последующей доставкой их на Землю. Центральное место в исследованиях занимает бассейн Моря Нектара, относительный возраст которого хорошо известен; его абсолютный возраст позволит определить скорость кратерообразования в древности, до того как сформировались лунные моря.

Эдвин Д. Килберн. ГРИПП
INFLUENZA, by Edwin D. Kilbourne.
Plenum Publishing Corporation (\$ 45)

ЭЛЕКТРОННЫЕ микрофотографии позволяют воочию увидеть драматическую картину развития заболеваний. Клетки, которые подвер-

гаются вирусной атаке и быстро погибают, выполняют важные функции, поэтому, хотя поражаемые клетки и являются поверхностными, при заболевании гриппом страдает весь организм человека. Это клетки с коротким временем жизни, выстилающие дыхательные пути. Постоянное биевание их многочисленных ресничек вызывает движение выделяющейся слизи, обеспечивая тем самым очистку влажных причудливо изогнутых воздухоносных путей в носоглотке и легких. Зараженная клетка обречена: она лопаётся, выбрасывая вирус в окружающую среду, и щелушивается. В результате уязвимыми становятся лежащие ниже жизненно важные клетки, лишённые ресничек. Однако приблизительно через неделю недостающие клетки ресничного эпителия восстанавливаются и разрушительное действие болезни сходит на нет. Грипп — болезнь непродолжительная, излечивается она быстро и без особых «событий». Такие симптомы, как обильный насморк и болезненные ощущения в горле, вполне понятны, а повышение температуры, хотя оно и изнуряет больного, является защитной реакцией организма. Загадкой остаются характерные боли в мышцах, поскольку вирус обычно обнаруживается лишь вблизи дыхательных путей.

Стоит ли тревожиться по поводу гриппа? Действительно, за исключением людей, которые в данный момент больны, а также специалистов, грипп обычно не вызывает у людей особого беспокойства. Благодаря разработке эффективных, недорогих и постоянно обновляемых вакцин в настоящее время хорошо защищены даже люди преклонного возраста, которые вместе с малолетними детьми составляют группу наибольшего риска. В конце концов, обычно от гриппа умирает менее одного на 10 тыс. больных в год. Однако вирус, вызывающий заболевание, легко передается, и когда «ходит» грипп, болеют сразу много людей. Поэтому время от времени наблюдаются вспышки смертности, намного превышающие обычный уровень смертности от респираторных заболеваний, который в городах США несколько колеблется. Осенью 1918 г. произошла чудовищная вспышка гриппа, длившаяся четыре месяца; в результате в США погибло 500 тыс. человек, а во всем мире — 20 млн.

Оказалось, что чаще всего летальный исход бывает при первичной вирусной пневмонии; при этой форме гриппа у каждого сотого больного или даже чаще вирулентный штамм вируса поражает не только верхние

дыхательные пути, но и бронхи; встречались и другие осложнения, особенно сильно они проявлялись во время войны. Подобные «бесспорные пандемии», хотя и на порядок менее губительные, чем пандемия 1918 года, зарегистрированы в 1946—1947, 1957 и 1968 гг. В 1976 г. тревога оказалась ложной. В 1968 г. в США болело около 50 млн. человек, один из каждых 2000 тыс. умирал; пандемия 1957 г. была более тяжелой, а пандемия 1946 г. — более легкой.

Вся жизнь вирусолога Эдвина Килберна — непрерывная битва против гриппа; как он говорит, его иммунная система сохранила отпечаток штамма 1918 г., а мозг — всех остальных штаммов. В своей книге Килберн делает попытку свести в единую систему информацию об этом до сих пор не вполне ясном заболевании с учетом современных достижений молекулярной биологии. В 11 главах книги рассматриваются история изучения гриппа, природа вируса, течение болезни у человека и методы борьбы с ней. Грипп — наиболее подробно исследованное заболевание (хотя в настоящее время конкуренцию ему в этом смысле может составить СПИД) и в то же время одно из самых малопонятных.

Есть достаточно вполне надежных данных о клинической предыстории эпидемий гриппа, начиная с простуды лошадей и чумы рогатого скота, которые еще четыреста лет назад рассматривались в связи с острыми «катаральными лихорадками» человека. Современный период открывается возникновением серологической «археологии». При анализах крови с 1930-х годов обнаруживались антитела, которые вырабатывались у людей еще во время вспышки гриппа 1889 г. Эти наблюдения получили подтверждение при более поздних повторных проявлениях антигенной картины, произошедших уже тогда, когда существовала вирусология. Наибольшее внимание привлекают подтипы вируса главного типа, известного под названием вируса гриппа А. Вирус типа В очень похож на вирус типа А; он имеет меньшее значение, хотя о его эпидемиологической роли ни в коем случае нельзя забывать; вирус типа С, который считается сейчас более простым и выделяется в отдельную группу, вызывает парагрипп.

В 1918 г. вирус типа А имел антигенную структуру, обозначаемую теперь H1N1; этот подтип вновь появился в 1946 г., когда впервые был зарегистрирован в Австралии. Каждый раз старая форма вируса, к которой у многих людей имелся иммунитет, вытеснялась новой, и заболевали все лю-

ди, чувствительные к новой форме, до тех пор пока новый подтип не изжил себя. Затем появлялись все новые и новые варианты. В 1976 г. клинические и серологические данные позволяли предполагать, что опять появился подтип 1918 г., на сей раз в форме гриппа свиней, который был обнаружен первоначально в шт. Нью-Джерси. Однако этот агент не сумел вытеснить своего предшественника. В течение двух месяцев 40 млн. человек получили приготовленную в спешном порядке вакцину. Результаты оказались неоднозначными: наблюдался ряд нежелательных побочных эффектов, вместе с тем эпидемия не возникла. По мнению Килберна, то был не худший выход из положения. «Когда писались эти строки,» вирусы подтипа H1N1 были по-прежнему распространены, как и вирус подтипа Гонконг 1968 г.

Книга написана увлекательно, хотя и несколько сложно для неспециалистов. Вниманию читателей предлагается электронная микрофотография изящно закрученной нити — это молекула РНК вируса типа А. Вирион (вирусная частица) содержит восемь таких одноцепочечных фрагментов РНК, которые вместе со специфическими ферментами упакованы в липидно-белковую оболочку. Когда вирус проникает в клетку-хозяина и подчиняет себе ее метаболизм, ферменты обеспечивают считывание информации, закодированной в РНК, в результате чего синтезируются вирусные белки и копии нитей РНК, из которых формируются вирусные частицы нового поколения. Вирус типа А имеет средние размеры и может принимать почти сферическую или же нитевидную форму. Его оболочка образована сложным двойным слоем молекул липидов (вирион заимствует их у клетки, когда выходит сквозь клеточную мембрану наружу), и выстилающим его специфическим вирусным белком высокой плотности. Внешняя поверхность оболочки, подобно морскойmine, снабжена 400—500 шипами; вместе взятые, эти структуры составляют половину массы вириона. Они служат для проникновения вируса в клетку-хозяина, а также составляют основу антигенной специфичности вируса, т. е. являются мишенью действия большинства вакцин и иммунной системы.

Шипы вируса гриппа бывают двух типов; и те и другие образованы определенными гликопротеинами. Одна из этих структур имеет длину 135 Å, на конце ее располагаются три белковые глобулы, которые удерживаются вместе спиральными участками полипептидов. Структура шипа приспособ-

соблена для связывания специфических рецепторов, имеющих на поверхности клетки-хозяина. Существуют десятки ее различных антигенных разновидностей. Большинство из них встречается у тех форм вируса, которые заражают различных теплокровных животных, от мышей до диких уток. Лишь некоторые, обозначаемые H1, H2, H3, обычны для вирусов человека. Второй тип шипов представлен грибообразными выростами длиной около 100 Å; они содержат фермент, способный разрушать мукопротеины, расположенные на поверхности клетки-хозяина, и тем самым ускорять проникновение вируса в клетки. Различные формы этого типа обозначаются N1, N2, N3... Хорошо известны детали этих структур; составляющие их белки принадлежат к числу наиболее изученных вирусных белков. Структура РНК вируса гриппа также расшифрована, изучен и процесс ее репликации.

И вот вирус вступает в бой. Он обладает способностью к перетасовке своих восьми РНК, содержащих гены. Он может также захватывать генетическую информацию хозяина. В любой точке вирусного генома могут происходить мутации. В некоторых случаях эти постоянно накапливающиеся точечные мутации подобны лишь несущественным опечаткам, в других обусловленная мутацией замена всего одной аминокислоты в белке может приводить к заметным различиям.

Поэтому сражение с вирусом гриппа непосредственно связано с его эволюцией. Стратегия вируса заключается в том, что он укрывается в каком-нибудь необычном хозяине, или локализуется на ограниченной территории — в отдельном городе или сельской местности — и изменяется до тех пор, пока не приобретает способность ускользнуть от имеющихся у окружающих организмов антител. Тем самым он получает возможность распространяться. Иммуитет надежно защищает организм после того, как иммунная система получила информацию о данном антигене, но самая первая встреча с чужеродным агентом является ахиллесовой пятой системы. Почти всегда хозяин выживает, и новый вирус распространяется, заражая новые восприимчивые организмы, так что сосуществование вируса и организма продолжается, причем последний приобретает иммунитет в виде компенсации за кратковременный дискомфорт.

До сих пор не понятна полигенная природа вирулентности вируса, вызывающего грипп; разница между неприятностями в носоглотке и пневмо-

нией с летальным исходом может объясняться даже количественными различиями в размножении инфекционных вирусных частиц. Случаи гибели людей от гриппа, по-видимому, являются лишь побочным следствием адаптации вируса. Но в сравнении с вирусом HIV, вызывающим СПИД, вирус гриппа выглядит бесхитрым простачком. HIV — медленный ретровирус, который всячески маскируется, обманывая различными способами иммунную систему, и даже атакует клеточные средства защиты. Возможно, удастся справиться с каждой из его новых изменчивых форм, поставив им преграду в виде постоянно совершенствующегося арсенала вакцин. Человек вынужден начать эту «гонку вооружений»; если не пойти по такому пути, человечество будет постоянно под угрозой пандемии, вызванной случайно возникшим роковым вирусом, который будет передаваться по воздуху и будет опасен для всех без исключения людей.

ОТКРЫВАЯ АЛЬВАРЕСА: ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ ЛУИСА У. АЛЬВАРЕСА, С КОММЕНТАРИЯМИ ЕГО УЧЕНИКОВ И КОЛЛЕГ. Под редакцией У. Пумера Трьюэра

DISCOVERING ALVAREZ: SELECTED WORKS OF LUIS W. ALVARES, with Commentary by His Students and Colleagues, edited by W. Peter Trower. The University of Chicago Press (\$ 37.50)

ЭТОТ похожий на калейдоскоп сборник включает около 20 статей по экспериментальной физике, впервые опубликованных между 1932 и 1980 гг. Каждую статью сопровождает комментарий, написанный кем-либо из участников данного исследования. Читая эти работы, не перестаешь удивляться необычайной мощи идей и методов современной физики, сложившихся начиная с «золотого» 1932 г. Бурное развитие статистической физики, успехи квантовой теории атомов и ядер очевидны. Новые открытия физиков произвели переворот не только в этой науке, но и в навигации и картографии, геологии и археологии, биохимии и даже криминалистике.

Читатель, должно быть, подумал, что речь в рецензии пойдет об антологии, составитель которой поставил перед собой грандиозную задачу проследить развитие современной физики и ее влияние на различные аспекты нашей жизни. На самом же деле перед нами — всего лишь собрание трудов одного оригинального, смелого и проницательного ученого, включаю-

щее также воспоминания десятков его друзей и сотрудников. Луис Уолтер Альварес получил диплом физика в Чикаго. Его диссертационная работа, выполненная под руководством Артура Комптона, была посвящена исследованию космических лучей (часть работы была выполнена совместно с Пиккаррами, поднимающимися на воздушном шаре в стратосферу). Альварес пришел в лабораторию в Беркли как раз в тот момент, когда там начал действовать 60-дюймовый циклотрон, и в течение полувека он использовал эту установку, получая блестящие результаты. Творческий дух, царящий в наши дни в любой крупной лаборатории и «модулируемый», как правило, яркой личностью, впервые появился именно в Беркли.

Читатель многое узнает о самом ученом-физике, его идеях, его окружении, его успехах и неудачах. В той части книги, которая посвящена работам Альвареса до второй мировой войны, наиболее впечатляет рассказ об использовании циклотрона в качестве масс-спектрометра. Идея заключалась в том, чтобы создать легко обнаруживаемый пучок неизвестных тогда (но предположительно существующих) редких изотопов водорода и гелия, имеющих атомную массу, равную 3. На одной из страниц книги читатель найдет два кратких сообщения, опубликованных Альваресом и его коллегой Робертом Корногом. Устойчивый, хотя и слабый, пучок гелия 3 наблюдался как в гелии, полученном из газовой скважины, так и в атмосферном гелии. Что же касается трития — рокового изотопа водорода, то тогда уже было ясно, что он должен быть нестабильным. Корног рассказывает, что среди тех сотрудников лаборатории в Беркли, кто помогал ему в работе над диссертацией (защищенной в 1940 г.), пятеро впоследствии удостоились Нобелевской премии. «Самым простым способом получить Нобелевскую премию в Беркли, — говорит Корног, — оказалось помочь мне в работе над диссертацией!» Ганс Бете рассказывает о том, как Луис восхищался его знаменитыми обзорами, посвященными вопросу о стабильности изотопов с массой 3: «Мои статьи в первую очередь побуждали его доказать, что я неправ. Стоило мне написать, что тот или иной эксперимент невыполним, он брался за дело и обязательно осуществлял его».

Почти 30 лет спустя в Беркли был наконец получен (в 88-дюймовом циклотроне) первый пучок радиоактивного трития, и сделал это другой молодой коллега Луиса, Ричард Мюллер. Как вспоминает он сам, этот экс-

перимент был частью неудавшейся попытки обнаружить свободные кварки. Методики, использующие ускорители, теперь стали стандартными и применяются во всем мире для радиоизотопной датировки самых малых образцов и изотопов с большим периодом полураспада. «Многие «скачки» в экспериментальных исследованиях, внешне кажущиеся «дикими», на самом деле представляют собой возрождение старых идей... которым развитие теории или техники дало новую жизнь».

Луис никогда не полагался на случай, и всегда сам задумывал и осуществлял свои эксперименты. Однажды ему удалось организовать просвещение радиоактивным излучением пирамиды Хефрена, сына Хеопса, в поисках сокровищницы. Искровые камеры, помещенные под гигантским сооружением, позволили определить направление мезонной компоненты космических лучей. Выяснилось, что кладка сплошная, хотя плотность крупнозернистого известняка оказалась значительно меньшей, чем цифры, приводившиеся в инженерных справочниках.

Читатель познакомится с такими изобретениями Альвареса, как очки с переменным фокусным расстоянием и стабилизатор изображения для бинокля. Им также предложен метод калибровки скорости ленты любительского фильма, в котором оказались засняты кадры покушения на президента Дж. Кеннеди. Идея метода основана на физическом факте кубической зависимости интенсивности аплодисментов от частоты хлопков. Далее следуют популярное изложение и первая научная статья, посвященная предложенному Луисом методу датировки пластов глины, образовавшихся в меловой период и обнаруженных в различных местах земного шара. Анализ с помощью нейтронной активации обнаружил десятиллионные доли процента иридия, вероятно принесенного на Землю странницей-кометой. Это небесное вторжение, как теперь многие считают, сыграло важнейшую роль в истории эволюции.

Небольшой раздел посвящен исследованиям, выполненным Альваресом во время второй мировой войны. Специалист в области ядерной физики, он был сначала привлечен к работе по радарам, в процессе которой им был разработан способ контроля за полетом самолетов, применяемый в настоящее время в диспетчерской службе. Специальный самолет оснащен закодированным запросчиком-ответчиком, благодаря которому на удаленном экране автоматически ре-

гистрируются сигналы-отметки каждого самолета. Используя специальную радарную установку, приспособленную Луисом для этой цели, операторы помогают самолету найти в тумане посадочную полосу и совершить посадку. Альварес сопровождал самолеты, которые должны были сбросить атомные бомбы на города Японии. В книге воспроизведена написанная от руки листовка, сброшенная на парашюте в Нагасаки (вместе с микрофонным прибором, сконструированным Альваресом). Она содержит личное обращение ученого к японским

физикам с призывом незамедлительно капитулировать.

С помощью коллеги из Политехнического института и Университета шт. Вирджиния, который был редактором и вдохновителем этого издания, Луис опубликовал также и свою автобиографию. Давая ей оценку, Ричард Гарвин, сам не боящийся смелых экспериментов, пишет: «Физик постоянно задает себе вопрос: понятно ли мне то или иное явление? В какой степени я в нем разобрался? Не устарели ли мои знания?» Для Альвареса эти вопросы никогда не были праздными.

Наука и общество

Вслед за туннельным микроскопом

В НАЧАЛЕ 80-х годов Дж. Бенниг и Х. Рорер из Исследовательской лаборатории фирмы ИВМ в Цюрихе разработали прибор, настолько чувствительный к топологии электропроводящей поверхности, что можно «видеть» отдельные атомы. Физические принципы, лежащие в основе действия такого растрового туннельного микроскопа (РТМ), привели к разработке нового поколения устройств для исследований на атомном уровне. Эти приборы могут оказаться эффективными при исследовании ранее не поддающихся изучению характеристик поверхностей, например магнитных полей и температур.

Рабочим органом РТМ служит металлическая игла, сканирующая поверхность в трех направлениях с точностью несколько ангстрем ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$). К игле подводится напряжение, так что когда она приближается к поверхности на расстояние несколько ангстрем, электроны сразу начинают туннелировать через этот зазор. Это квантовомеханическое явление чрезвычайно чувствительно к ширине зазора: его увеличение или уменьшение на 1 \AA (что меньше диаметра атома) может вызвать изменение туннельного тока в 10 раз. Когда кончик иглы сканирует поверхность, механизм обратной связи удерживает иглу на заданной высоте, обеспечивая постоянство тока. Компьютер преобразует движение кончика иглы в топографическую карту поверхности.

РТМ работает только на электропроводящих материалах. Для исследования диэлектриков их вначале необходимо покрыть металлической пленкой. Этот метод позволил вскрыть поразительную картину при

исследовании биологических молекул. Группа ученых из Швейцарского федерального технологического института получила изображения комплексов ДНК, на которых видны скрученные спирали, напоминающие сплетенные в ожерелье нитки из жемчуга. Дж. Засадзинский из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре зафиксировал присутствие фосфолипидной мембраны, похожей на кусок гофрированного картона. Он предполагает, что эта «волнистая» структура позволяет легочным мембранам расширяться при каждом вдохе, поэтому недоношенным детям, у которых отсутствует такая мембрана, трудно дышать.

Другой метод исследования непроводящих образцов заключается в том, что их «пришлифовывают» к поверхности проводящих материалов, таких как кристалл золота. Если зонд достаточно сильно «надавит» на молекулу, то электроны могут начать туннелировать. «Это похоже на то, как вы ищете ракушки в песке, надавливая рукой на песчаную поверхность», — говорит С. Линдсей из Аризонского университета. В случае исследования ДНК туннелирование происходит, когда кончик иглы продавливается всего лишь на 1 \AA в «толщу» молекулы диаметром 20 \AA . Недавно Линдсей показал, что можно получить изображение молекул, помещенных в водный раствор. Этот метод имеет то преимущество, что молекулы сохраняют свою форму, за которой легко следить. Как указывает Линдсей, он мог бы помочь при исследовании пока еще мало изученных биомолекулярных структур и, возможно, даже проследить течение реакций, например, под действием ферментов.

Прецизионное управление, основанное на обратной связи и впервые

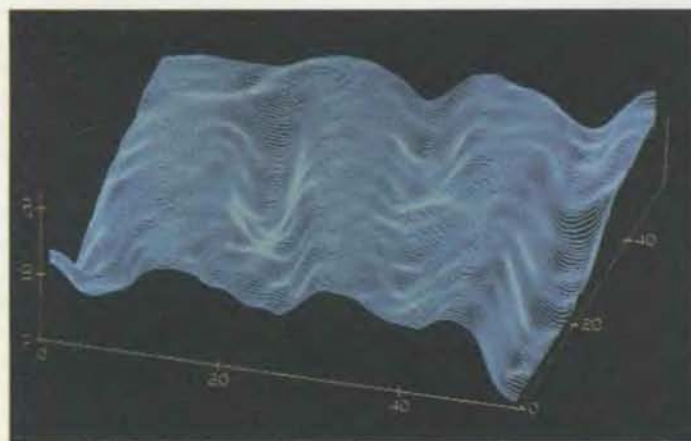
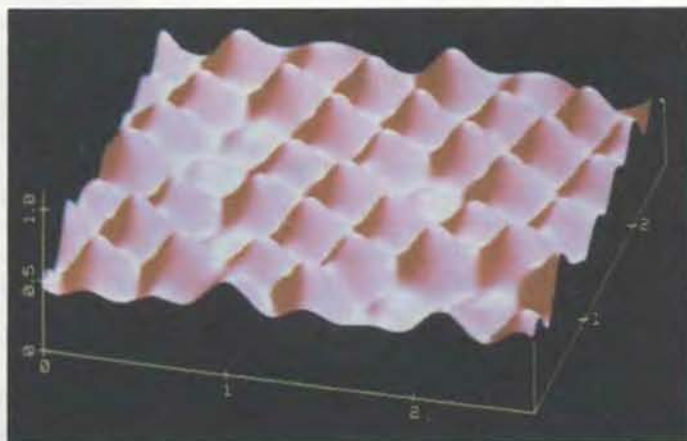
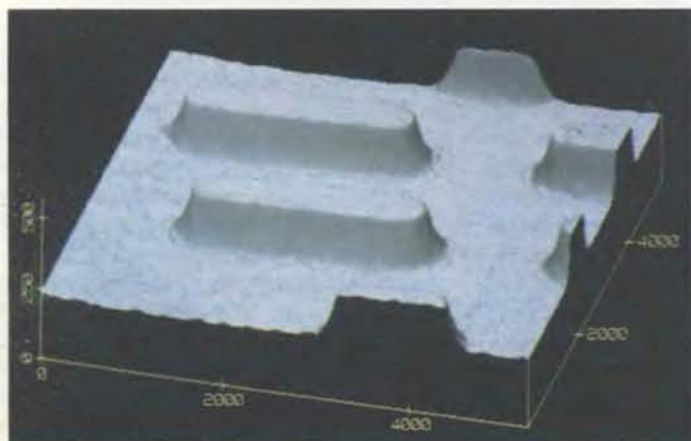
примененное в РТМ, позволяет осуществлять различные режимы зондирования. Два года назад Бинниг сконструировал один из первых «атомно-силовых» микроскопов, действующих на основе использования сил атомных связей. С помощью этого прибора можно исследовать поверхности непроводящих материалов, поскольку для его работы туннельный ток не требуется. Используемая в микроскопе алмазная игла плавно скользит по поверхности образца (подобно игле, движущейся по пластинке в обычном проигрывателе) под действием постоянной силы, величиной не более нескольких десятых тысяч долей грамма. В новейших моделях таких микроскопов на зонде устанавливается крошечное зеркало, которое отражает лазерный луч, что обеспечивает более точное измерение отклонения кончика иглы по сравнению с точностью, достигаемой в растровом туннельном микроскопе.

С помощью «атомно-силового»

микроскопа можно исследовать поверхности полупроводников и других материалов, покрывающихся непроводящей пленкой при окислении. Так, группе исследователей из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре под руководством П. Хэнсма удалось обнаружить образовавшиеся в результате коррозии мельчайшие «ямки» в образце из нержавеющей стали, погруженном в морскую воду всего лишь на 15 мин. В данном случае следы коррозии были зафиксированы на такой стадии, на которой их никогда не удалось бы обнаружить с помощью любого другого метода. В таком микроскопе игла должна быть намного тоньше по сравнению с той, которая используется в РТМ. Группа Хэнсма проводила выбор зонда методом проб и ошибок. «Первую алмазную иглу мы купили в ломбарде за 6 долл., раскололи ее молотком на кусочки, обтесали их и заострили», — сказал Хэнсма.

Х. Викрамасингх из Исследова-

тельского центра Томаса Уотсона фирмы IBM возглавляет группу специалистов, разрабатывающих растровые микроскопы, которые предназначены не для изучения топографии поверхности, а для измерения действующих на поверхности магнитных, электростатических и межатомных ван-дер-ваальсовых сил. В «магнитно-силовом» микроскопе фирмы IBM в качестве зонда используется магнитный провод, который колеблется на своей резонансной частоте при периодической смене полярности напряжения, подводимого к пьезоэлектрическому стержню. При сканировании провод взаимодействует с магнитными полями у поверхности, и его резонансная частота меняется. При поддержании определенного расстояния между зондом и поверхностью, чтобы он вибрировал с постоянной частотой, прибор картографирует профиль магнитного поля исследуемой поверхности с разрешением 500 Å. Микроскоп представляет



РАСТРОВЫЙ ТУННЕЛЬНЫЙ МИКРОСКОП (РТМ) может быть использован для контроля качества матриц (слева сверху), применяемых при изготовлении оптических дисков. Микроскоп обнаруживает небольшие бугорки, соответствующие атомам серы в слое теллура полуметаллического соединения висмута, теллура и серы (справа сверху); по выступающим атомам можно судить, почему материал содержит серу в большем количестве, чем предсказывалось. РТМ «улавливает» гофрированную структуру фосфо-

липидной мембраны (слева внизу); Дж. Засадзинский изготовил из сплава платины с углеродом реплику, с которой сделан приведенный снимок. С помощью «атомно-силового» микроскопа С. Гоулд выявил расположение метильных групп в кристалле аминокислоты лейцина (справа внизу). Полученные с помощью РТМ изображения репродуцированы на установке фирмы Digital Instruments, Inc.; размеры приведены в нанометрах.

собой новый прибор, способный контролировать качество магнитооптических дисков, тонкопленочных дисков и тонкопленочных записывающих головок.

Те же специалисты фирмы IBM создали устройство, которое Викрамасингх называет «самым маленьким в мире термометром». Используемый в нем зонд представляет собой иглу из вольфрама, покрытую изолирующим слоем, кроме ее кончика, а поверх этого слоя нанесена металлическая пленка. Такой зонд есть не что иное, как термопара, способная создавать разность потенциалов, когда внешний слой металла нагревается от постороннего источника тепла. Зонд сканирует поверхность, облучаемую последовательностью лазерных импульсов, и точно «засекает» молекулы, которые поглощают свет и нагреваются. Элементы, входящие в состав молекул, можно идентифицировать по длинам волн поглощаемого излучения.

Сотрудники Лаборатории реактивного движения (JPL) У. Кайзер и Д. Белл расширили возможности РТМ, «заставив» его проникать в приповерхностный слой исследуемых образцов. Они установили, что туннелирующие электроны до того, как они теряют свою энергию, способны проникнуть в поверхностный слой на глубину несколько сот ангстрем. Эти «баллистические» электроны представляют собой «мельчайшие прожекторы, высвечивающие то, что скрыто в приповерхностном слое», — говорит Кайзер. Микроскопы, основанные на излучении баллистических электронов, могут «составить карту» барьера Шотки — потенциального барьера, возникающего в приконтактном слое полупроводника, граничащем с металлом, и используемом в современных микроэлектронных устройствах. Если увеличить напряжение смещения до величины, при которой электроны приобретают энергию, достаточную для преодоления барьера, то можно измерить высоту барьера. Изменения высоты барьера свидетельствуют о наличии дефектов, таких как диффузия атомов полупроводника в металл. Изучение столь важных явлений стало возможным лишь с появлением этого метода.

С. Уолтман вместе с Кайзером разработал тоже необычное устройство для зондирования поверхности — «туннелирующий датчик», который в принципе можно изготовить в виде микросхемы. Датчик похож на трамплин для прыжков в воду, возвышающийся над «микроскопическим» бассейном. Туннелирующий зонд, прикрепленный к основанию трам-

плина, будет реагировать на любые искривления поверхности. Чувствительный элемент можно использовать в качестве акселерометра, чувствительность которого в 100 000 раз выше по сравнению с обычными приборами для измерения ускорений. Специалисты JPL намерены установить его на борту космического корабля и считают, что прибор найдет применение в робототехнике и биомедицине. С. Пруша из JPL в настоящее время изучает возможность имплантации этих датчиков инвалидам с парализованными ногами; датчики могли бы «улавливать» движение конечностей и по цепи обратной связи подавать электрический сигнал к стимуляторам мускулов, приводящим в движение ноги больного.

Укус змеи

ДАВАЯ в мае этого года интервью журналу «Scientific American», полковник Дейвид Л. Хаксолл, руководитель института военно-медицинских исследований по инфекционным заболеваниям в Форт-Детрике (шт. Мэриленд), вспоминал, как по программе «Эн-Би-Си Ньюз» началась передача, в которой рассказывалось о биологическом оружии. «Сначала на экране появилась кобра в угрожающей позе, — сказал полковник. — Затем она исчезла и перед зрителями предстал Дейв Хаксолл».

Такие интерпретации нравились Хаксоллу, и до недавних пор он был настроен весьма оптимистически. Хотя исследования по биологическому оружию (включающему микроорганизмы, токсины и даже змеиный яд), проводимые Пентагоном, никогда не получали широкого одобрения, начиная с 1980 г. они пользуются самой авторитетной поддержкой — правительственной. За годы правления администрации Рейгана годовой бюджет программы исследований по защите от биологического оружия (названной так, чтобы подчеркнуть, что она не является нарушением Конвенции о бактериологическом оружии от 1972 г., запрещающей разработку бактериологического (биологического) оружия) вырос примерно с 15 до более чем 90 млн. долл. В оправдание таких затрат представители администрации заявляют, что Советский Союз и другие социалистические страны накапливают запасы биологического оружия и даже применяют его — в виде «желтого дождя» — в Афганистане и Юго-Восточной Азии.

Ныне же Хаксоллу и другим участникам названной программы приходится констатировать, что отноше-

ние к ней правительства все более меняется и она встречает сильно возросшее сопротивление. Давняя критика в их адрес не утихает. Джереми Рифкин, специалист в области биотехнологии, призывающий прекратить исследования по биологическому оружию, поскольку оно представляет собой большую опасность, организует протесты ученых, занимающихся этими исследованиями. Метью С. Меселсон из Гарвардского университета, который помог доказать необоснованность заявлений администрации США относительно «желтого дождя» («дождь» оказался экскрементами пчел), развеял ложные слухи о так называемом свердловском инциденте — случаях заболевания сибирской язвой в районе близ Свердловска, зарегистрированных в 1979 г. Представители правительства США утверждали, что причиной заболеваний была авария на военном заводе, производившем отравляющие вещества — возбудителей сибирской язвы. В апреле 1988 г. Меселсон пригласил в США трех советских врачей, представивших эпидемиологические данные, которые показали, что инцидент был вызван естественными причинами. Это не удовлетворило некоторых военных, включая Хаксолла, однако большинство врачей и эпидемиологов считают эти данные достоверными.

Недавно стали раздаваться и другие критические голоса. В мае этого года сенатский подкомитет по контролю деятельности правительственных органов опубликовал отчет, в котором руководители программы исследований по защите от биологического оружия обвиняются в том, что ими не выработаны «должные средства контроля безопасности». Согласно отчету, контроль над деятельностью примерно 100 подрядчиков в промышленности и исследовательских лабораторий наиболее ослаблен. В своей недавно опубликованной книге «Генная война» журналист Чарлз Пиллер и Кейс Р. Ямамото, специалист по молекулярной биологии из Калифорнийского университета в Сан-Франциско, отмечают, что исследователи, участвующие в названной программе, публикуются редко (и то во второстепенных журналах) по сравнению с теми, чьи исследования финансируются невоенными организациями, такими как Национальные институты здравоохранения. Авторы книги приходят к заключению, что либо эти исследователи некомпетентны, либо они скрывают цели своей работы вопреки политике открытости, за которую так ратует Пентагон.

Наибольшей критике подвергаются

исследования, проводимые на полигоне Дагуэй (шт.Юта) — пустынной территории, более протяженной, чем остров Род-Айленд. В 1984 г. Пентагон сообщил о том, что планирует построить в этом месте закрытую лабораторию, в которой можно было бы испытывать надежность противогазов, датчиков и других систем в условиях заражения воздуха патогенами и токсинами. Специалисты по контролю над вооружениями назвали этот план провокационным, поскольку результаты исследований, проводимых в лаборатории, будут способствовать разработке и испытанию оружия. Недавно два высокопоставленных лица шт.Юта — губернатор Норман Х.Бангертер и сенатор Оррин Г.Хатч (оба республиканцы) — заявили, что лаборатория представляет большую опасность.

Неудобством для Пентагона является то, что база в Дагуэе имеет «запятнанное прошлое». До того как в 1969 г. президент Никсон запретил проведение исследований, связанных с разработкой наступательного биологического оружия, в Дагуэе проводились полевые испытания действия возбудителей сибирской язвы и других смертоносных веществ; в результате и сейчас некоторые районы базы все еще заражены. (Пентагон продолжает проводить полевые испытания непатогенных микроорганизмов, называемых симуляторами.) В 1968 г. во время полета военного самолета над фермерским районом Скалл-Вэлли, расположенном к северу от территории базы, из него произошла утечка газа нервно-паралитического действия, в результате погибло около 6 тыс. овец. В связи с этим, отмечает Кеннет Л.Алкема, директор управления по вопросам защиты окружающей среды шт.Юта, «мы не очень-то доверяем намерениям военных».

И.Гэри Резник, возглавляющий в Дагуэе исследования по биологическому оружию, кажется искренне изумленным по поводу все возрастающей критике. По его словам, директор по вопросам безопасности Национальных институтов здравоохранения (НИЗ) одобрил предложенный проект лаборатории, и такие же лаборатории для исследования действия патогенов есть в названных институтах, в центрах по контролю распространения заболеваний (ЦКРЗ) в Атланте и Форт-Детрике. (Несмотря на утверждения, что лаборатория в Дагуэе будет использоваться для изучения действия возбудителей новых, «экзотических» заболеваний, а также токсинов, на самом деле такие исследования уже проводятся в Форт-Детрике под руководством

Хаксолла.) Резник с легкой завистью отмечает, что эти лаборатории являются «доходным делом» для названных институтов и центров и что лаборатория в Дагуэе также будет «доходным делом» для шт. Юта. «Противники строительства лаборатории в штате Юта неправильно понимают ее назначение», — говорит Резник.

Полковник Уайетт Х.Колклейжер, руководитель испытаний в Дагуэе, замечает, что Пентагон рассматривает вопрос о том, чтобы найти другое место для лаборатории, включая атоллы в южной акватории Тихого океана. Однако он предупреждает, что по экономическим и другим соображениям она может быть построена в Дагуэе несмотря на то, что местное население против. «В нашу задачу не входит проводить опрос местных жителей и спрашивать у них дозволения делать то, что мы считаем нужным,» — говорит Колклейжер.

За прошедшие несколько месяцев представители Пентагона развернули перед общественностью широкую деятельность — публиковали отчеты, выступали в конгрессе, встречались с журналистами — с тем чтобы убедить ее в необходимости строительства лаборатории в Дагуэе и осуществления программы исследований по защите от биологического оружия. Как отметил Иво Дж. Спалатин, член сенатской комиссии по иностранным делам, вследствие потепления отношений между США и СССР, а также в результате недавнего ухода в отставку нескольких наиболее воинственных чинов Пентагона, указанную программу стараются оправдать несколько иными способами, чем в прошлые годы. Некоторые представители Пентагона прибегают к тому, что Спалатин называет «тактикой нагнетания психоза». Например, в мае нынешнего года Томас Дж. Уэлш, заместитель помощника министра обороны, заявил, что 10 стран имеют или предполагается, что имеют, биологическое оружие (в 1972 г. таких стран было четыре). Названия этих стран, кроме СССР, держатся в секрете.

Однако другие военные представители стараются уйти от обсуждения этих вопросов, делая упор на открытости программы и ее большого значения не только для американских солдат, но и для мирного населения в других странах. Хаксолл, например, любит говорить о том, как результаты исследований, проводимых в Форт-Детрике, помогли в Китае противостоять распространению гемофилии, а в Малайзии — лечить змеиные укусы. «Мы делаем то же, что и фирма Merk and Company, Нацио-

нальные институты здравоохранения и центры по контролю над распространением заболеваний», — говорит Хаксолл. На вопрос, почему бы исследования по бактериологическому оружию не проводить в невоенных лабораториях, что исключило бы недоверие, которое всегда вызывает военная программа, Хаксолл, не колеблясь, ответил: «Я не думаю, что НИЗ и ЦКРЗ способны понять нужды военных». Однако, согласно Спалатину, некоторые законодатели начинают изучать эту возможность. «Мы пока не знаем, насколько реалистична или ответственна эта альтернатива, — говорит Спалатин, — однако в настоящее время занимаемся этим вопросом».

Наука о вине

БАРРИ ГНЕКОУ на винодельческом предприятии J. Lohr в Сан-Хосе был первым, кто использовал ультрафильтрацию для удаления белковых молекул, которые иногда приводят к помутнению белого вина; он считает, что такой метод меньше влияет на букет, чем традиционный способ осветления, при котором муть улавливается землей или яичным белком. В фирме Sterling Vineyards в Калистоге Д.Робертс экспериментирует с портативным прибором, измеряющим одновременно температуру и влажность, что позволяет определять индекс потерь воды листьями винограда. С помощью этого прибора можно получать полезную информацию о физиологическом состоянии растений и делать выводы о необходимости полива. На этих калифорнийских предприятиях, как и на многих других, древнее искусство виноделия изменяется в связи с углублением знаний о химизме винограда и вина, а также о влияющих на него факторах.

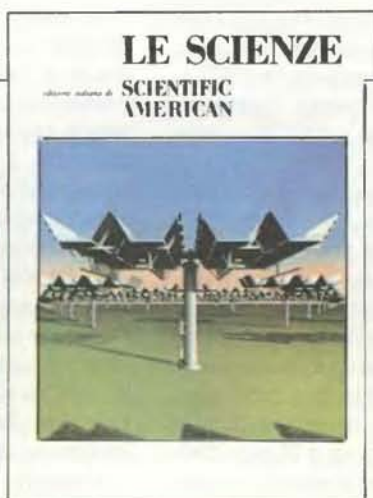
К ряду технологических приемов, широко распространенных в этой отрасли в 70-е годы, например к применению центрифуг для ускорения осаждения твердых частиц, интерес сейчас утрачен. Состав вина сложен и определить его непросто: специфические соединения, от которых зависит букет, в большинстве своем неизвестны. Вкусы людей также неодинаковы: то, что нравится одним, другие считают лишним. Тем не менее в виноделии «намечается явная тенденция к возрастанию аналитичности», — говорит Дж. Моррисон из Калифорнийского университета в Дейвисе.

Нередко биологические знания, по мнению президента фирмы Sterling Vineyards Т.Феррелла, возвращают виноделов к традиционным приемам.

Международное сотрудничество,
обмен научными идеями, оперативную информацию
по актуальным вопросам науки и техники
представляет всемирная сеть журнала
**SCIENTIFIC
AMERICAN**
и его переводных изданий.



Потребность быть в курсе самых последних научных достижений испытывают все больше людей во всем мире. Серьезный и обстоятельный подход редакторов и авторов — крупнейших ученых из разных стран к отбору и публикации статей, отражающих современное развитие науки, находит живой отклик у растущей читательской аудитории журнала, охватывающей миллионы заинтересованных специалистов, студентов и школьников.



Подписка на журнал «В мире науки» принимается во всех отделениях «Союзпечать». Цена одного номера 2 р. Индекс журнала 91310 по «Каталогу газет и журналов зарубежных стран», раздел «Переводные научные

ОДИН-НА ЯЗЫКАХ 10



Интерес к журналу объясняется еще и тем, что переводные варианты журнала выходят одновременно в ФРГ, Франции, Италии, Испании, Японии, КНР, СССР, ВНР и Кувейте спустя лишь два месяца после выхода «Сайентифик Америкн» в США. Это дает возможность мировой научной общественности знакомиться в одно и то же время с новостями с переднего края науки. Читая журнал «В мире науки», Вы всегда будете в курсе последних достижений в интересующей Вас области!



и научно-технические журналы». Предварительные заказы можно направлять по адресу: 121019 Москва, проспект Калинина, д. 26, п/я 42. Московский Дом Книги.

Например, многие предприятия, производящие высококачественные вина, отказались от мощных раскидистых виноградных кустов, преобладающих в Калифорнии, в пользу более мелких сортов, сходных с культивируемыми в большинстве винодельческих районов Европы. Последние дают меньшие по размеру грозди, но лучшее по качеству вино. Моррисон показала, что затенение ягод обильной листвой влияет на них не только непосредственно, лишая солнца, но и косвенно — ухудшая освещенность других листьев. В обоих случаях это приводит к травянистому привкусу вина, что обычно считается нежелательным; он обусловлен веществами, называемыми пиразинами.

Многие компании сейчас испытывают специальные опоры, обеспечивающие более ажурную форму кустов, а тем самым и лучший доступ света к ягодам. Фирмы Simi Winery, Inc. около Хелдсберга и Stag's Leap Wine Cellars в долине Напа применяют проволочные конструкции, высота которых может увеличиваться по мере роста лозы. Более тесное размещение отдельных кустов также ослабляет затенение; так как, по мнению Р.Гейтнера из Stag's Leap Wine Cellars, это обостряет корневую конкуренцию, что ведет к уменьшению листовой поверхности. Эта фирма сейчас сотрудничает с Калифорнийским университетом в Дейвисе еще в одном направлении. Лоза обычно прививается на подвой другого сорта, наиболее приспособленного к местным условиям, однако на разных подвоях ее развитие идет неодинаково интенсивно. Цель проводимых исследований — поиск подвоя, который бы ослаблял рост, но хорошо зарекомендовал себя во всех прочих отношениях.

Другой путь ослабления вегетативного развития — стресс, возникающий у растения при недостатке воды. М.Мэттьюс из Калифорнийского университета в Дейвисе утверждает, что умеренный водный стресс перед началом созревания гроздей снижает также количество яблочной кислоты в ягодах. Низкое ее содержание считается преимуществом, поскольку при этом ослабляется бактериальное брожение, которое может происходить после дрожжевого и приводить к нежелательному привкусу.

По словам Мэттьюса, небольшой водный стресс стимулирует и образование фенольных соединений, концентрирующихся в кожце плода и придающих вину терпкость. С учетом этого в некоторых фирмах, включая Robert Mondavi Winery в Оквилле, виноградники специально меньше поливают или улучшают их дренаж. Во-

данный стресс стимулирует также образование антоцианинов — пигментов, обуславливающих красный цвет винограда.

Но недостаток воды в период созревания винограда снижает общий урожай. Традиционно решения о том, когда начинать сбор, принимались на основе сахаристости ягод. Т.Мондеви из Robert Mondavi Winery сейчас обращает внимание на содержание различных фенольных соединений, изменяющегося по мере созревания. Определив, какие из них (если таковые вообще есть) связаны с критическими параметрами марочного вина, он надеется разработать новый метод определения оптимальных для качества ягод сроков сбора. В Simi Winery, Inc. пробовали снимать грозди ночью, когда прохладнее. Сотрудник этой фирмы Р. Хоббс полагает, что после этого меньше калия экстрагируется из кожицы на стадии выжимания сока, что обеспечивает чуть большую кислотность и в результате улучшенный букет и, таким образом, отпадает необходимость в добавках винной кислоты.

В последние годы сам процесс получения вина тоже изменился. Обычно перед тем, как выжимать сок, ягоды разрушают. Однако У. Бонетти из фирмы Sonoma Cutrer в долине Рашен-Ривер устраняет эту стадию, считая, что в результате сок содержит меньше фенольных соединений с неприятным вкусом. Т.Мондеви также избегает чрезмерного разрушения кожицы ягод. Как и большинство виноделов, он применяет резервуарный пресс, в котором медленно накачиваемый сжатый воздухом баллон прижимает ягоды к стенкам емкости, не повреждая при этом косточек.

Традиционно считается, что сок следует защищать от окисления, так как оно чревато потерей веществ, играющих, возможно, важную роль в формировании букета. Обычно при выжимании добавляют в качестве антиоксиданта и противомикробного агента двуокись серы. Сейчас при производстве многих высококачественных вин ее используют в гораздо меньших количествах, отчасти из-за того, что к этому веществу чувствительны астматики, но также и для минимизации экстракции горьких дубильных веществ. «Такой подход, — утверждает Бонетти, — помогает сохранить своеобразие продукта».

В отличие от некоторых виноделов Бонетти продолжает при выжимании сока добавлять небольшое количество двуокиси серы, чтобы ослабить окисление, и строго следит за отсутствием кислорода в соке и готовом вине. Он изобрел машину, разливающую вино в бутылки через трубку, до-

ходящую до дна. Сейчас широко применяется предварительное заполнение бутылок азотом.

Другие производители отказались от традиционного предубеждения к кислороду. В фирме Domaine Chandon, изготавливающей игристые вина, в Янтвилле Д. Сэмпл-Дайер добавляет к соку кислород для окисления фенольных соединений и затем осаждает продукты окисления, способные обесцветить вино. Мондеви и Хоббс тоже допускают окисление некоторых вин. «Мы можем окислять сок, не теряя букета», — заявил Хоббс.

В области внутрибутылочного брожения, которое собственно и делает вино шипучим, Domaine Chandon проводит эксперименты с дрожжами, заключенными в крошечные горошины из альгината кальция — органического соединения, получаемого из водорослей. Это облегчает удаление остатков дрожжей после брожения. Согласно классическому «шампанскому» методу, эти остатки собирают в горлышке, слегка поворачивая вокруг оси установленную вверх дном бутылку через каждые несколько месяцев. Затем горлышко замораживают, вынимают пробку и удаляют лед с вмержшими в него остатками микроорганизмов. Альгинатные гранулы попадают в горлышко просто при опрокидывании бутылки.

Спрос на совершенно прозрачные вина привел к тому, что многие виноделы фильтруют конечный продукт, чтобы удалить бактерии. Хотя Гнекоу использует еще более мелкопористые фильтры, не пропускающие даже белки, другие виноделы избрали иные подходы. Чтобы продукт был ближе к натуральному, Т. Мондеви начал выпускать нефилтрованное вино высшего качества «Черный Пино», однако оно не идеально прозрачное. Л.Биссон из Дейвиса рассчитывает с помощью методов генетической инженерии получить дрожжи, которые можно было бы добавлять к концу брожения для расщепления приводящего к помутнению белка.

Некоторые производители надеются, что генетическая инженерия поможет разогнать тучи, собравшиеся на горизонте американского виноделия. Управление по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств выдвинуло строгие ограничения касательно содержания в вине этилкарбамата. Это вещество, возникающее в ходе превращений образуемой дрожжами мочевины, предположительно канцерогенно для человека. И сейчас отделение энтомологии Калифорнийского университета в Дейвисе сосредоточило большие усилия на поиске спосо-

бов снижать его содержание. К. Оу, возглавляющий это отделение, обнаружил, что некоторые штаммы дрожжей производят меньше мочевины по сравнению с другими. Не исключено, что удастся передать эту способность высококачественным винным дрожжам.

Хорошему вину, по словам Гнекоу, не нужен спирт. Кроме ультрафильтрации, он первым применил обратный осмос вина; в ходе этого процесса спирт и вода диффундируют из вина через мембрану столь мелкопористую, что она не пропускает более крупные органические молекулы, определяющие букет продукта. Добавляя дистиллированную воду к образующемуся концентрату, получают безалкогольное вино, которое при анонимной дегустации получило золотую медаль на ярмарке округа Лос-Анджелес и бронзовую на конкурсе в Далласе. Гнекоу считает, что через 30 лет спирт в винах станет необязательным компонентом. Время покажет, соответствует ли коммерческая прозорливость Гнекоу его технологическим успехам.

Компьютеры — помощники менеджеров

ПРИБЛИЗИТЕЛЬНО в 50 милях от штаб-квартиры фирмы General Motors (GM) в Детройте шесть менеджеров сидят за круглым столом, в который вмонтированы персональные компьютеры. Их внимание сосредоточено на большом общем компьютерном экране на стене. Разговор перемежается шелканьем клавиш на клавиатуре компьютера, когда менеджеры записывают фрагменты беседы в память машины. По завершении совещания каждый из них унесет с собой по экземпляру создаваемого ими документа: новую версию 60-страничного руководства для управленческого персонала. Благодаря электронному залу совещаний «мы добиваемся теперь лучших результатов за более короткое время», — говорит один из администраторов GM, Д.Х. Хилл.

Описанная сцена является очередным шагом в развитии так называемой технологии сотрудничества, или компьютерного обеспечения групп, одного из важнейших направлений в области обработки информации. Идея проста. Персональные компьютеры уже облегчили человеку доступ к информации и повысили эффективность его работы, теперь они должны помочь в коллективной работе групп.

Перспективные функции «технологии сотрудничества» можно свести к четырем основным категориям, сказал Дж. Браун, вице-президент Иссле-

довательского центра фирмы Хегох в Пало-Альто (шт. Калифорния). Во-первых, она может сыграть полезную роль при подготовке совместных документов, скажем научно-технических статей. Во-вторых, с ее помощью можно своевременно распространять в коллективах информацию, например, сообщать сотрудникам конструкторского бюро, работающим над одним проектом, о тех или иных изменениях в конструкции разработанного изделия. Выполняя роль связующего звена, такие системы послужат также инкубатором новых идей. Наконец, «запоминая» дискуссии членов группы в ходе разработки проекта, эта технология способствовала бы созданию «истории проекта», которой компания могла бы воспользоваться на различных этапах внедрения, модернизации или при планировании новой разработки.

Для достижения этих целей специалисты, работающие в университетах, компаниях и исследовательских институтах, создают программы, ориентированные на персональные компьютеры, объединенные в локальные или более широкие сети. Некоторые исследователи проверяют на этих моделях свои теории взаимодействия членов групп, другие пытаются выяснить, улучшит ли компьютерное обеспечение групп систему обмена информацией в их учреждениях. Есть и такие, кто занимается вопросами компьютерного обеспечения групп в расчете на коммерческое производство этих средств. Например, специалисты из Исследовательского центра фирмы Хегох смонтировали свой первый электронный зал для совещаний, получивший название «Жолаб», примерно четыре года назад с целью экспериментальной отработки программных средств, которые призваны изменить характер рабочих совещаний. Одна из программ, Cognoter, по замыслу ее авторов должна была способствовать рождению новых идей в ходе общей дискуссии. Члены группы высказывают свои соображения, которые в виде фраз высвечиваются на общем экране и записываются в память. Затем группа пытается свести отдельные высказывания к одной логической концепции. Недавно руководство фирмы Хегох решило внедрить некоторые из этих экспериментальных систем. Для этого компания в настоящее время оборудует два компьютерных зала, в которых регулярно будут работать конструкторы фирмы.

Специалисты из Центра машинного интеллекта (принадлежащего одному из отделений фирмы GM, а именно фирме Electronic Data Systems), решив испытать теорию в

реальных условиях, оборудовали электронный зал для совещаний, в котором собираются менеджеры GM. Исследователи изучают, как взаимодействуют менеджеры, работая над реальными проектами. Старший научный сотрудник, М. Мэнтей, отметила, что по ее наблюдениям участники совещаний в электронном зале, как правило, рассматривали вопросы более детально, чем при обычном разговоре. Она добавила также, что после таких совещаний они реже сталкиваются с неожиданными проблемами, потому что большинство проблем было уже решено.

Созданная исследователями электронная почта также явилась частью системы компьютерного обеспечения групп. Она позволяет обмениваться информацией специалистами, работающим в различных помещениях и в различное время. Т. Мэлоун, профессор Слоуновской школы менеджеров при Массачусетском технологическом институте, возглавлял разработку экспериментальной системы, позволившей каждому сотруднику обзавестись тем, что можно было бы назвать компьютерным эквивалентом безукоризненного секретаря. Получившая название Information Lens (информационная линза), эта система сортирует электронную почту по файлам, учрежденным ее пользователем (например, «Первоочередное» или «Назначенные встречи»). Она также извлекает из информации общего потока документации те данные, которые интересуют владельца системы. Например, система может быстро просмотреть сообщения для сотрудников фирмы о конструктивных изменениях в изделии и разослать данные по соответствующим группам сотрудников. Поскольку каждый пользователь сам составляет правила применения системы Information Lens, то в его компетенцию входит и контроль за тем, чтобы система отфильтровывала не слишком много и не слишком мало информации.

Несколько ближе к широкой коммерческой эксплуатации находится пакет программ, разработанный фирмой Lotus Development в Кембридже (шт. Массачусетс). В настоящее время более десятка потенциальных заказчиков проводят экспериментальную проверку пакета программ под кодовым названием Notes (Заметки). Фирма Lotus надеется официально представить систему в конце этого года. Как и система Information Lens, этот пакет программ является одним из инструментов в системе управления информацией коллективного пользования. Она предназначена для групп сотрудников, которые независимо от того, в каком помещении находятся,

работают с одними и теми же данными. Notes фиксирует изменения в файлах, доводит эти изменения до сведения тех или иных сотрудников и заводит соответствующий документ о внесенной поправке.

Системы компьютерного обеспечения групп, уже имеющиеся в продаже, поставляются главным образом небольшими компаниями. Одна из наиболее известных систем подобного рода под названием Coordinator (Координатор) продается фирмой Action Technologies в Эмервилле (шт. Калифорния). В ее создании принимал участие Т. Виноград из Станфордского университета. Coordinator следит за тем, чтобы сотрудники, посылающие электронные сообщения, требовали от их получателей каких-то конкретных ответных действий. Обычно получатели сообщений должны взять обязательство завершить работу к определенному сроку или отказаться от работы, или же предложить альтернативное решение. Затем Coordinator организует файлы сообщений пользователя на основе его обязательств. Однако эта система подверглась критике именно за то, что «требует» от получателя сообщений конкретных действий. Виноград со своей стороны указывает, что в производственном коллективе, в особенности в конторе, ясность и четкость часто оказываются важнейшим фактором. «При некоторых обстоятельствах, наверное, лучше давать туманные ответы, но я интуитивно чувствую, что такая туманность больше подходит к личной беседе», — добавляет он.

Исследователи, разрабатывающие «технологии сотрудничества», подчеркивают, что она может повысить эффективность взаимодействия сотрудников, не заменяя собой личных встреч между ними. Однако компьютерных средств самих по себе не всегда будет достаточно для того, чтобы повысить эффективность работы групп, предупреждает Л. Сачмен, антрополог из Исследовательского центра фирмы Хегох. «Люди сотрудничали друг с другом с первых дней своей истории, — говорит она, — и во многих случаях весьма эффективно. И те, кто создает компьютерную технологию, и те, кто собирается ею пользоваться, должны достаточно хорошо понимать, что люди сотрудничают друг с другом, для того чтобы предвидеть, в каких ситуациях компьютерная технология сотрудничества окажется полезной».

«Никто не скажет: нам требуется компьютерное обеспечение для групп, — добавляет специалист по промышленному анализу И. Дайсон. — Вместо этого люди будут говорить: нам нужен инструмент, кото-

рый поможет решить конкретную задачу, например выполнение определенного проекта, планирование сбыта продукции или внесение изменений в планы. «Не существует какого-то одного универсального применения для группового компьютерного обеспечения», — отмечает Дайсон. А. Грейф, менеджер по новым разработкам фирмы Lotus Development, считает, что все программное обеспечение в конце концов должно отвечать специфике задач конкретных групп и конкретных членов этих групп.

Реально положительные результаты проявятся, по мнению исследователей, когда группы воспользуются компьютерной технологией сотрудничества для того, чтобы преобразовать характер взаимодействия сотрудников. Браун предсказывает, что компании, принявшие на вооружение технологию сотрудничества для того, чтобы изучить механизмы принятия решений в своих коллективах, увидят, что в лице этой технологии они приобрели «ускоритель обучаемости», благодаря которому повысится их конкурентоспособность.

Спасение кожи

ПОТОМУ ЛИ, что в окружающем нас воздухе уменьшилось количество озона, потому ли, что все популярнее становится загар, по другим ли каким причинам, частота меланомы среди населения растет быстрее, чем частота прочих видов рака. По оценкам, каждый сотый новорожденный в течение своей жизни заболит раком, связанным со злокачественным перерождением клеток кожи, производящих пигмент. Единственный эффективный способ лечения — быстрее хирургическое удаление первичной опухоли; как только появляются метастазы, болезнь становится неизлечимой. Но вот недавно некоторые исследователи пришли к выводу, что в недалеком будущем меланому можно будет излечивать и даже предупреждать при помощи вакцин.

Давно известно, что иммунная система может распознавать раковые клетки и реагировать на них так же, как она борется с чужеродными патогенными агентами. Однако идея о том, что вакцины могут усилить естественную противораковую защиту организма (как в случае вирусных инфекций, например оспы или полиомиелита), лишь недавно приобрела «права гражданства» — так считает сотрудник Медицинского центра Нью-Йоркского университета Ж.-К. Бистрин, который вот уже бо-

лее 12 лет занимается вакцинами против меланомы. В настоящее время ведутся поиски вакцин против различных типов рака, в том числе рака почек, легких, прямой кишки. Меланоме уделяется наибольшее внимание как потому, что ее очень трудно лечить, так и потому, что взаимодействие этого типа опухолей с иммунной системой относительно хорошо изучено.

Вакцина, разработанная Бистрином и его коллегами в Нью-Йоркском университете, включает в себя вещества, которые меланомные клетки, растущие в культуре, «сбрасывают» со своей поверхности. За четыре года исследователи проверили свой препарат на 55 больных с меланомой. В журнале «Cancer» они сообщают, что более чем у половины испытуемых вакцина усилила или же вызвала иммунный ответ, в результате чего образовались соответствующие антитела и увеличилась реактивность белых клеток крови; у этих пациентов болезнь прогрессировала медленнее, чем у тех, у которых не было реакции на вакцину.

По сообщению М. Митчелла из Онкологического центра Университета Южной Калифорнии, он и его сотрудники получили сходные результаты: они вакцинировали 42 больных с меланомой препаратом лизированных (разрушенных) меланомных клеток; примерно у половины испытуемых опухоли уменьшились, а у нескольких человек даже исчезли.

Бистрин полагает, что пока результаты обнадеживают, но подчеркивает, что для создания действительно эффективной вакцины требуется гораздо больше работы. В первую очередь нужно определить, какие части меланомных клеток могут играть роль антигенов для выработки антител против меланомы, а какие для этого не нужны или даже вредны. Задача эта далеко не простая. Меланомные клетки из разных опухолей, даже у одного и того же человека, обычно несколько различны. Такой вариативностью, возможно, объясняется тот факт, что вакцина Бистрина и препарат Митчелла у одних больных вызывают реакцию, а у других нет.

Если вакцины окажутся совершенно безопасным и эффективным средством против меланомы, их можно будет вводить не только уже больным, но и еще здоровым людям, для которых велик риск этого заболевания. К группе риска принадлежат те, у кого имеются необычного вида родинки, называемые диспластическими новообразованиями, те, у кого в семье бывали случаи меланомы, а

также люди с очень белой кожей, часто бывающие на ярком солнце.

Результаты экспериментов на животных свидетельствуют, как считает Бистрин, о том, что вакцины против меланомы вполне могут служить чисто превентивным средством. Он и другие исследователи вводили мышам вакцину, а затем меланомные клетки в количестве, достаточном для того, чтобы невакцинированные животные погибли не позже чем через два месяца; около 90% вакцинированных мышей выжили.

Генетическая роль скелета клетки

НА ПЕРВЫЙ взгляд цитоскелет клеток млекопитающих не имеет отношения к экспрессии генов. Цитоскелет, представляющий собой сложную сеть белковых и других молекул, придает клетке форму и поддерживает ее, а также участвует в движении клетки. Гены же заключают в себе информацию для производства белков. Однако вопреки ожиданиям цитоскелет, по-видимому, играет важную роль в регуляции экспрессии генов.

Это открытие сделано в результате работ Т. Пака, сотрудника Онкологического института Элеоноры Рузвельт и Колорадского института в Денвере, и его коллег. Они экспериментировали с линией клеток яичника китайского хомячка (СНО — от англ. chinese hamster ovary), выделенной Паком в 1958 г. В культуре клетки СНО спонтанно претерпевают злокачественную трансформацию, приобретая ряд признаков, характерных для раковых клеток. Они утрачивают свою нормальную удлиненную форму, становясь округлыми и компактными. Кроме того, многие гены в таких клетках оказываются как бы экранированными, т.е. недоступными действию веществ, в норме влияющих на них. Изменение формы клеток СНО происходит вследствие дезорганизации цитоскелета. Некоторое время назад Пак с коллегами показали, что нормальный внешний вид цитоскелета клеток СНО может быть восстановлен при помощи вещества, называемого циклическим аденозинмонофосфатом (сАМР). При этом оказалось, что в присутствии сАМР значительное количество «экранированного» генетического материала вновь оказывается доступным.

Пак и его группа задались вопросом: становятся доступными случайные гены или же строго определенные гены, т.е., является ли этот процесс одной из форм регуляции деятельности генов? В своих последних экспериментах они анализировали до-

ступность определенных генов в клетках СНО до и после добавления сАМР при помощи фермента, известного под названием ДНКазы I, который расщепляет цепь ДНК на составляющие ее единицы. Обнаружилось, что доступность действию ДНКазы изменяется действительно специфично. Из 47 изученных на этот предмет генов 40 были недоступны ДНКазе до добавления сАМР. Из этих 40 после обработки сАМР 15 неизменно приобретали чувствительность к расщеплению ДНКазой. Остальные 25 столь же неизменно не подвергались расщеплению. Стало ясно, что изменения в цитоскелете делают доступными одни гены и не влияют на доступность других. Поскольку, как считается, доступность генов воздействию различных модуляторов является условием их активации, можно заключить, что цитоскелет участвует в определении того, какие гены должны находиться в активном состоянии.

Каким образом цитоскелет может регулировать экспрессию генов? Основанного ответа пока нет, но Пак предложил правдоподобную гипотезу. В каждый данный момент времени участки некоторых хромосом при-

креплены к внутренней поверхности мембраны, окружающей клеточное ядро. Возможно, что благодаря такому прикреплению эти участки ДНК становятся доступными действию модуляторов. Структуры цитоскелета отходят от ядерной мембраны к плазматической мембране (наружной клеточной мембране), которая воспринимает различные гормональные сигналы извне. Можно допустить, что такой сигнал, принятый плазматической мембраной, передается по цитоскелету к ядерной мембране, что ведет к изменению набора прикрепленных к ней генов и, соответственно, картины генной экспрессии.

В статье, опубликованной недавно в журнале «Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.», Пак с соавторами делают вывод, что в клетках млекопитающих опосредованное цитоскелетом изменение доступности генов является, по-видимому, важным механизмом генетической регуляции. Более того, поскольку обработка сАМР, судя по всему, способна переводить клетки из злокачественного состояния в нормальное, это, возможно, имеет особое значение для лечения рака.

Книги издательства „Мир“

ВИРУСОЛОГИЯ

Под редакцией Б. Филдса и Д. Найпа в 3-х томах
Перевод с английского

Фундаментальное руководство по вирусологии, написанное известными специалистами из США. Книга может служить учебным и справочным пособием. В т. 1 рассмотрена таксономия, структурная организация, репродукция, общая и молекулярная генетика вирусов, эпидемиология и патогенез вирусных инфекций, трансформация вирусов и онкогенез. В т. 2 вошли материалы по системе интерферона, химиотерапии и иммунопрофилактике вирусных заболеваний, а также по отдельным группам вирусов (пикорнавирусам, реовирусам, тогавирусам, аренавирусам, буньявирусам, рабдовирусам, орто- и парамиксовирусам). В т. 3 рассмотрены следующие группы вирусов: коронавирусы, паповавирусы, парвовирусы, аденовирусы, герпес- и поксвирусы, вирус гепатита В, лимфотропные ретровирусы и необычные вирусы, вызывающие подострые поражения мозга.

Для вирусологов, молекулярных биологов, медиков, а также студентов и аспирантов, специализирующихся в области вирусологии.

1989 г. 113 л. Цена 8 р. 70 к. за комплект.

Предварительные заказы следует направлять в книжные магазины, распространяющие научно-техническую литературу.

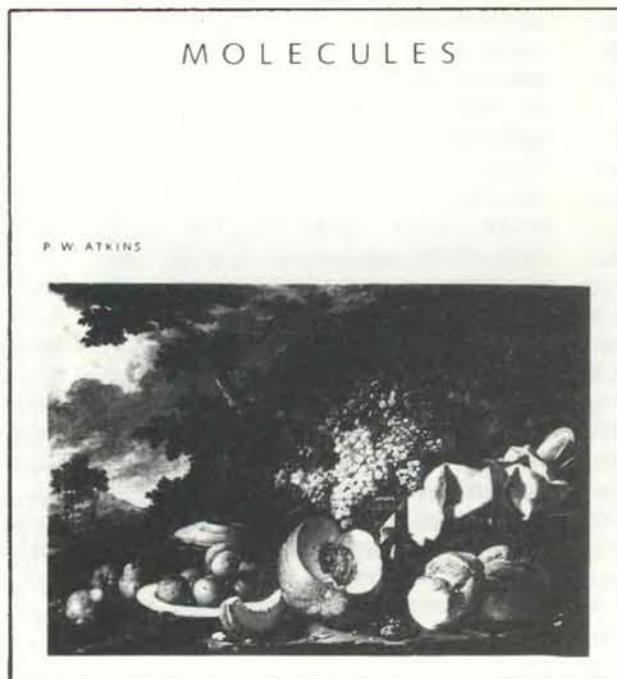


Вниманию читателей!

П. Эткинс

МОЛЕКУЛЫ

Перевод с английского



Многочисленные достоинства книги определяются прежде всего талантом ее автора — профессора Оксфордского университета П. Эткинса. Автор много и плодотворно работает в области физической химии. Ряд его трудов, в частности прекрасный учебник «Физическая химия» (М: Мир, 1980), оригинальная книга-словарь «Кванты» (М: Мир, 1977), переведены на русский язык и широко используются советскими химиками. Но П. Эткинс известен не только как автор «серьезной» научной литературы, но и как отличный популяризатор, умеющий доходчиво, наглядно, остроумно излагать и объяснять самые сложные понятия. Книга «Молекулы» читается легко и интересно, а хорошо выполненные и со вкусом подобранные многочисленные красочные иллюстрации помогают наглядно представить, о чем говорит автор.

Книга интересна и химику специалисту (он может почерпнуть из нее интересные примеры для своих лекций, семинаров, уроков в школе), и массовому читателю, практически почти не знакомому с предметом. Хорошо изданная книга будет отличным подарком для любого читателя.

Книга выйдет в свет в 1990 г.

18 л. Цена 2 р. 70 к.



Книги Издательства „Мир“

А. Кокс, Р. Харп

ТЕКТОНИКА ПЛИТ

Перевод с английского

В книге известных геофизиков из США впервые рассматриваются проблемы количественного расчета относительного движения плит, анализ абсолютных движений и движущий механизм тектоники плит. Ясно и доступно излагается весь арсенал средств, которыми пользуются при плито-тектоническом анализе. Рассматривается геометрия плит, векторы их движения и использование палеомагнитных данных для определения поворота одного блока относительно другого. Несмотря на простоту изложения и минимальное привлечение математического аппарата, вся книга написана на высоком научном уровне и отвечает современному состоянию наших знаний по тектонике плит. Такую книгу и профессор, и студент, и рядовой геолог ждали давно. Впервые в мировой литературе появилась монография, которую можно назвать «Численная тектоника плит». Она удачно сочетает черты монографического описания численной тектоники плит и учебного пособия.

Для широкого круга геологов и геофизиков, кроме того, может быть использована как учебное пособие в геологических вузах.

1989, 27 л. Цена 5 р. 40 к.

Предварительные заказы направляйте в магазины, распространяющие научно-техническую литературу.

Издательство заказы не принимает.



ГЕОГРАФИЯ ПРЕЗИДЕНТСКИХ ВЫБОРОВ В США

GEOGRAPHY OF ELECTIONS. Peter J. Taylor, and Ronald J. Johnston. Penguin Books, 1979.

SECTION AND PARTY: A POLITICAL GEOGRAPHY OF AMERICAN PRESIDENTIAL ELECTIONS FROM ANDREW JACKSON TO RONALD REAGAN. John C. Archer and Peter J. Taylor. John Wiley & Sons, Inc., 1981.

AMERICAN FEDERALISM: A VIEW FROM THE STATES. Daniel J. Elazar. Harper and Row, 1984.

AMERICAN ELECTORAL MOSAICS. J. Clark Archer and Fred M. Shelley. Association of American Geographers, 1986.

THE SHAPING OF AMERICA: A GEOPOLITICAL PERSPECTIVE ON 500 YEARS OF HISTORY. Donald W. Meinig. Yale University Press, 1986.

ГРАВИТАЦИОННЫЕ ЛИНЗЫ

QUASARS AND GRAVITATIONAL LENSES: PROCEEDINGS OF THE 24TH LIÈGE ASTROPHYSICAL COLLOQUIUM. Edited by Jean P. Swings. Presses universitaires de Liège, 1983.

QUASARS AND GRAVITATIONAL LENSES. Edwin L. Turner in *Science*, Vol. 223, No. 4642, pages 1255-1259; March 23, 1984.

GRAVITATIONAL LENSES AS TOOLS IN OBSERVATIONAL COSMOLOGY. Claude R. Canizares in *Observational Cosmology*, edited by Adelaide Hewitt, Geoffrey Burbidge and Li Zhi Fang. D. Reidel Publishing Co., 1987.

Тихов Г.А. Следствия возможно-го отклонения световых лучей в поле тяготения звезд. - *Природа*, 1983, № 6.

Муханов В.Ф. Двойной квазар 00957+561 А, В — ГРАВИТАЦИОННАЯ ЛИНЗА? — *Успехи физических наук*, 1981, т.133.

Блюх П.В., Минаков А.А. ГРАВИТАЦИОННЫЕ ЛИНЗЫ. — *Природа*, 1982, № 11.

ГОРМОНЫ, СТИМУЛИРУЮЩИЕ КРОВЕТВОРЕНИЕ

HEMATOPOIETIC STEM CELLS. Edited by David W. Golde and Takaku Fumimaro. Marcel Dekker, Inc., 1985.

THE GRANULOCYTE-MACROPHAGE COLONY-STIMULATING FACTORS. Donald Metcalf in *Science*, Vol. 229, No. 4708, pages 16-22; July 5, 1985.

THE HUMAN HEMATOPOIETIC COLONY-STIMULATING FACTORS. Steven

C. Clark and Robert Kamen in *Science*, Vol. 236, No. 4805, pages 1229-1237; June 5, 1987.

MYELOID GROWTH FACTORS. D.W. Golde and J.C. Gasson in *Inflammation: Basic Principles and Clinical Correlates*, edited by J.I. Gallin, I.M. Goldstein and R. Synderman. Raven Press, 1988.

СЛУЧАЙНОСТЬ В АРИФМЕТИКЕ ALGORITHMIC INFORMATION THEORY. Gregory J. Chaitin. Cambridge University Press, 1987.

INFORMATION, RANDOMNESS & INCOMPLETENESS. Gregory J. Chaitin. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 1987.

THE ULTIMATE IN UNDECIDABILITY. Ian Stewart in *Nature*, Vol. 232, No. 6160, pages 115-116; March 10, 1988.

Бардзинь Я.М. АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ИНФОРМАЦИИ. — В кн.: Математическая энциклопедия. т.1. — М.: Советская энциклопедия, 1977.

Колмогоров А.Н., Успенский В.А. АЛГОРИТМЫ И СЛУЧАЙНОСТЬ. — Теория вероятностей и ее применения, 1987, т.32, вып. 3.

Клайн М. МАТЕМАТИКА. УТРАТА ОПРЕДЕЛЕННОСТИ. Пер. с англ. — М.: Мир, 1984.

КОНДЕНСАТОРЫ

DIELECTRIC MATERIALS AND APPLICATIONS. Edited by Arthur R. von Hippel. John Wiley & Sons, Inc., 1954.

DIELECTRICS AND WAVES. Arthur R. von Hippel. John Wiley & Sons, Inc., 1954.

PRINCIPLES AND APPLICATIONS OF FERROELECTRIC AND RELATED MATERIALS. Malcolm E. Lines and Alastair M. Glass. Oxford University Press, 1977.

DEVELOPMENTS IN ELECTROLYTIC CAPACITORS. Walter J. Bernard in *Journal of Electrochemical Society*, Vol. 124, No. 12, page 403C-409C, December, 1977.

КАК ФОКУСИРУЕТ ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ГЛАЗ

ANALYSIS OF HUMAN CRYSTALLINE LENS CURVATURE AS A FUNCTION OF ACCOMMODATIVE STATE AND AGE. J.F. Koretz, G.H. Handelman and N.P. Brown in *Vision Research*, Vol. 24, No. 10, pages 1141-1151; 1984.

Вниманию читателей!

НАПОМИНАЕМ АДРЕСА МАГАЗИНОВ — ОПОРНЫХ ПУНКТОВ ИЗДАТЕЛЬСТВА «МИР»

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

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

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

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

141908 Дубна,
ул. Векслера, 11,
головной магазин

375019 Ереван,
ул. Барекамулян, 24-а,
магазин № 29

250001 Киев,
ул. Крещатик, 44
магазин № 12

660036 Красноярск,
Академгородок,
магазин № 101

191040 Ленинград,
ул. Пушкинская, 2,
магазин № 5 «Техническая книга»

121019 Москва,
просп. Калинина, 26, п/я 42,
магазин № 200
«Московский дом книги»

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

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

440605 Пенза,
просп. Победы, 4,
магазин № 1



ON THE HYDRAULIC SUSPENSION THEORY OF ACCOMMODATION. D. Jackson Coleman in *Transactions of the American Ophthalmological Society*, Vol. 84, pages 846-868; 1986.

MODELING AGE-RELATED ACCOMMODATIVE LOSS IN THE HUMAN EYE. Jane F. Koretz and George H. Handelman in *Mathematical modelling*, Vol. 7, pages 1003-1014; 1986.

A POSSIBLE STRUCTURE FOR α -CRYSTALLIN. Robert C. Augusteyn and Jane F. Koretz in *FEBS Letters*, Vol. 222, No. 1, pages 1-5; September, 1987.

ОБЩИНА В КАНЬОНЕ ЧАКО
THE ARCHITECTURE OF PUEBLO BONITO. Neil M. Judd. *Smithsonian Miscellaneous Collections*, Vol. 147, No. 1, Publication 4524, 1964.

GREAT PUEBLO ARCHITECTURE OF CHACO CANYON, NEW MEXICO. Stephen H. Lekson. *Publications in Archaeology 18B, Chaco Canyon Studies*. National Park Service, Division of Cultural Research, P.O. Box 26176, Albuquerque, N.M., 1984.

PEOPLE OF CHACO: A CANYON AND ITS CULTURE. Kendrick Frazier. W.W. Norton and Company, Inc., 1986.

ARCHAEOLOGICAL SURVEYS OF CHACO CANYON. Alden C. Hayes, David M. Brugge and W. James Judge. University of New Mexico Press, 1987.

СУПЕРКОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ ЦИКЛ

THE TWO PHANEROZOIC SUPERCYCLES. Alfred G. Fisher in *Catastrophes and Earth History*, edited by W.A. Berggren and John Van Couvering. Princeton University Press, 1983.

GLOBAL TECTONICS AND EUSTASY FOR THE PAST 2 BILLION YEARS. Thomas R. Worsley, Damian Nance and Judith B. Moody in *Marine Geology*, Vol. 58, No. 3/4, pages 373-400; July 25, 1984.

POST-ARCHEAN BIOCHEMICAL CYCLES AND LONG-TERM EPISODICITY IN TECTONIC PROCESSES. R. Damian Nance, Thomas R. Worsley and Judith B. Moody in *Geology*, Vol. 14, No. 6, pages 514-518; June, 1986.

TECTONIC CYCLES AND THE HISTORY OF THE EARTH'S BIOCHEMICAL AND PALEOCEANOGRAPHIC RECORD. Thomas R. Worsley, R. Damian Nance and Judith B. Moody in *Paleoceanography*, Vol. 1, No. 3, pages 233-263; September, 1986.

Уеда С. НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ЗЕМЛЮ. — М.: Мир, 1980.

Хедлем Э. ВЕЛИКИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СПОРЫ. — М.: Мир, 1985.

НАУКА ВОКРУГ НАС

SHADOW-SAUSAGE EFFECT. Cyrus Adler in *American Journal of Physics*, Vol. 35, No. 8, pages 774-776; August, 1967.

THE SHADOWS OF FLOATING OBJECTS AND DISSIPATING VORTICES. M.V. Berry and J.V. Hajnal in *Optica Acta*, Vol. 30, No. 1, pages 23-40; January, 1983.

WHY ARE THESE DISKS DARK? THE OPTICS OF RANKINE VORTICES. M.H. Sterling, M. Gorman, P.J. Widmann, S.C. Coffman, J. Strozier, and R.M. Kiehn in *Physics of Fluids*, Vol. 30, No. 11, pages 3624-3626; November, 1987.

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

THE QUEEN OF MATHEMATICS. Eric Temple Bell in *The World of Mathematics*, edited by James R. Newman. Simon and Schuster, Inc., 1956.

AMUSEMENTS IN MATHEMATICS. Henry Ernest Dudeney. Dover Publications, Inc., 1970.

THE SEARCH FOR PRIME NUMBERS. Carl Pomerance in *Scientific American*, Vol. 247, No. 6, pages 135-147; December 1982.

ONE MILLION PRIMES THROUGH THE SIEVE. T.A. Peng in *Byte*, Vol. 10, No. 11, pages 243-244; Fall, 1985.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 17.08.88.
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. 15,96.

Усл. кр.-отт. 50,36.

Изд. № 25/6067. Заказ 719.

Тираж 24160 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

Набрано в Межиздательском

фотонаборном центре

издательства «Мир»

Типография В/О «Внешторгиздат»

Государственного комитета СССР

по делам издательств,

полиграфии и книжной торговли.

127576, Москва, Илимская, 7



ЯЗЫК ПРОЛОГ В ПЯТОМ ПОКОЛЕНИИ ЭВМ

Сборник статей
Перевод с английского**Язык Пролог
в пятом
поколении
ЭВМ**

Издательство · Мир ·

Эта книга ни в коей мере не руководство по логическому программированию и не описание одного из языков логического программирования. Скорее ее следует рассматривать как попытку заглянуть на кухню инструментальных средств, поддерживающих логическое программирование.

В сборник включены статьи, опубликованные в 1983—1986 гг. в журнале «New Generation Computing», задуманном как средство обмена идеями и результатами, связанными с разработкой ЭВМ пятого поколения. Часть статей содержит материалы Международного симпозиума по логическому программированию (Атлантик-Сити, 1984). Большинство авторов сборника — участники японского проекта. По этим работам можно судить о фронте исследований, ведущихся в Японии.

Вопросы, затрагиваемые в сборнике, достаточно разнообразны, но в центре внимания — Пролог, проблемы его реализации, развития и использования. Как известно, достигнутая эффективность существующих реализаций Пролога на ЭВМ традиционной архитектуры для систем искусственного интеллекта не достаточна. Однако именно с программной реализацией последовательного Пролога связан

ряд идей, положенных в основу многих последовательных Пролог-машин. Работы по последовательным Пролог-машинам представлены в сборнике статьями Э. Тика и Д. Уоррена, группы авторов из Университета Кобэ и др.

Последовательные Пролог-машины в рамках японского проекта обычно рассматриваются в качестве инструментальных систем, выполняемых на существенно более мощных параллельных компьютерах. Планируемая производительность параллельных машин составляет сотни миллионов и даже миллиарды логических выводов в секунду. Проблемам параллельной реализации в сборнике посвящены работы Д. Уоррена, З. Халима, А. Гото и др. Языки параллельного логического программирования представлены рядом статей по Concurrent Prolog Э. Шапиро.

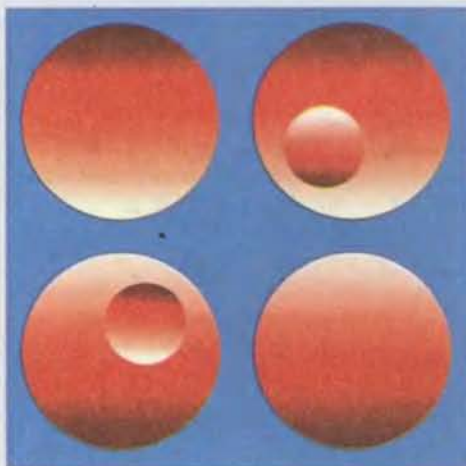
С логическим программированием как с любым новым инструментом связаны проблемы использования. Вопросы применения логического программирования также посвящен ряд статей.

Состав сборника предполагает, что любой интересующийся Прологом читатель найдет для себя полезный материал.

1988, 30 л. Цена 2 р. 50 к.



В следующем номере:



СВЕТОТЕНИ И ВОСПРИЯТИЕ ФОРМЫ

КИСЛЫЕ ДОЖДИ

ИЗМЕРЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ
ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ЗАПАДЕ США

ЗА ПРЕДЕЛАМИ «ИСТИНЫ» И «ПРЕЛЕСТИ»:
ЧЕТВЕРТОЕ ПОКОЛЕНИЕ ЧАСТИЦ

ЛЕКАРСТВА, АКТИВИРУЕМЫЕ СВЕТОМ

РЕНТГЕНОВСКИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ
С КОДИРУЮЩИМИ МАСКАМИ

КОМПЬЮТЕР АТАНАСОВА

УРОКИ ЗАНИМАТЕЛЬНОЙ ОПТИКИ
ВО ВРЕМЯ ПОЛЕТА НА САМОЛЕТЕ

«ПЕРЕМЕШИВАЮЩАЯ МАШИНА» —
КЛЕТОЧНЫЙ АВТОМАТ,
МОДЕЛИРУЮЩИЙ ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ