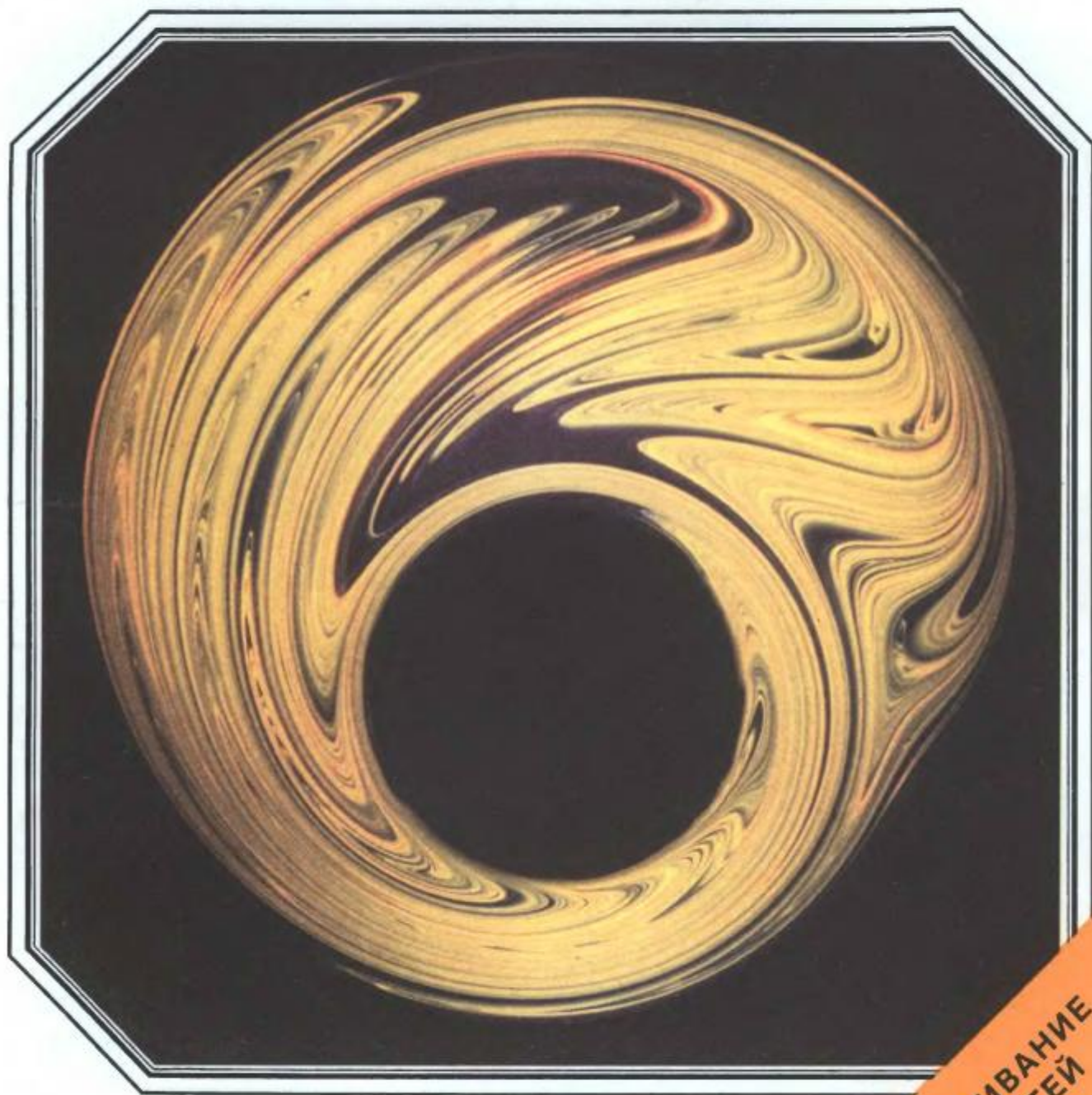


В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Март **3** 1989

ПЕРЕМЕШИВАНИЕ
ЖИДКОСТЕЙ

Критерий вязко-упругого сжатия

Двое ученых из научно-исследовательских лабораторий фирмы General Motors разработали метод для определения вероятности и тяжести ударных травм мягких тканей тела. Это — новый шаг в создании систем безопасности, предохраняющих от таких травм.

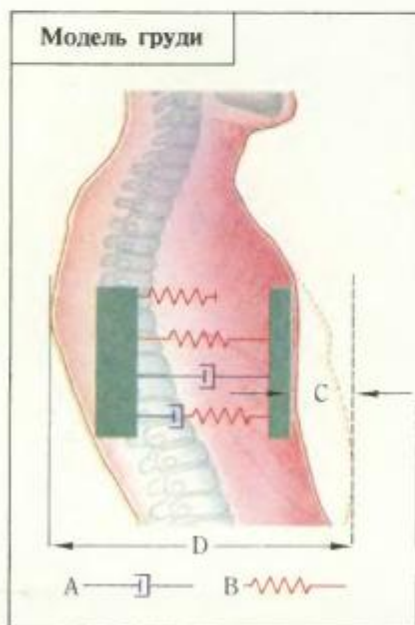


Рис. 2: Вид сбоку вязко-упругой модели грудной клетки человека. Воздушные амортизаторы (А) и пружины (В) воспроизводят сопротивление грудной клетки. Сжатие (С) выражается в процентах от глубины грудной клетки в начальном состоянии.

Рис. 1: А) График вязкой реакции $VC(t)$ при ударе (черная кривая). $C(t)$ — сжатие (красная кривая). $V(t)$ — скорость прогиба грудной клетки (синяя кривая). VC_{max} определяет критерий вязкой реакции. В) Пределы применимости критерия вязкой реакции.

При проектировании автомобиля конструктор, стремящийся снизить риск травм пассажиров в случае столкновения, должен уметь связать силы, возникающие при ударе, и соответствующие последствия для человеческого организма.

При военных испытаниях реактивных саней в конце 50-х годов изучалась способность человека выдерживать резкие перепады скорости. В результате был разработан «критерий ускорения»; он использован в федеральных стандартах, согласно которым перегрузка в 60 g (шестидесятикратное ускорение силы тяжести) является предельно допустимой для позвоночника человека при столкновениях на скорости 50 км/ч.

«Критерий ускорения» был выведен в предположении, что тело человека — жесткая структура. Проведенные в последующие годы исследования показали, однако, что критерии травматизма, устанавливаемые по ускорению всего тела, не являются достаточно полными показателями риска и тяжести травм.

Тело человека — деформируемая структура, поэтому травма может произойти, например, из-за

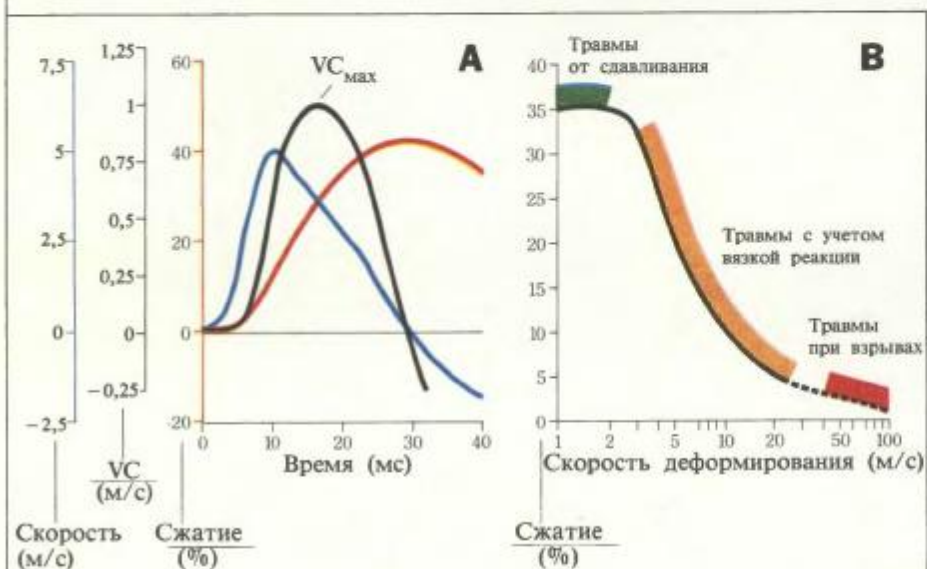
сжатия грудной клетки. При малых скоростях деформирования (менее 3 м/с) сопротивляемость грудной клетки и вероятность травмы тесно связаны с максимальным сжатием груди, выраженным в процентах от начальной глубины груди (от грудины до позвоночника). Этот «критерий сжатия», разработанный в начале 80-х годов фирмой General Motors в сотрудничестве с Калифорнийским университетом в Сан-Диего, полезен для оценки риска травм пассажиров, пристегнутых ремнями безопасности.

Иан Лау и Дейвид Виано, сотрудники медико-биологического отдела научно-исследовательских лабораторий фирмы General Motors, в 1981 г. пришли к выводу, что при оценке риска ударных травм необходимо учитывать скорость. По их мнению, «критерий сжатия» недооценивает риск травматизма груди при высоких скоростях деформирования груди (более 3 м/с), характерных для лобового или сильного бокового удара, когда водитель и пассажиры не пристегнуты.

Авторы провели эксперименты, в которых максимальное сжатие было равно 16%, т. е. значительно ниже допустимого уровня (35%), а скорость деформирования изменялась от 5 до 20 м/с. Эти опыты показали, что тяжесть травм мягких тканей тела увеличивается с возрастанием скорости сжатия.

На основании этих результатов и анализа более ранних экспериментов Виано и Лау ввели понятие «вязкой реакции» для описания поведения мягких тканей при ударах. Вязкая реакция определяется как зависящее от времени произведение скорости деформирования на величину сжатия: $VC(t)$ (рис. 1А).

Математическое выражение вязкой реакции было выведено на основе анализа механической модели вязкоупругой реакции грудной клетки человека (рис. 2). В этой модели воздушные амортизаторы (А)



имитируют реакцию вязких мягких тканей, в пружины (В) — упругих элементов скелета при ударе.

При расчете энергии удара, поглощаемой моделью, доминирующим фактором является произведение скорости деформирования на величину сжатия (D). Таким образом, вязкая реакция функционально связана с поглощенной энергией удара.

Считая, что механизм травмирования также должен быть связан с поглощаемой энергией, Виано и Лау провели очередную серию экспериментов по проверке применимости такого показателя как максимальная вязкая реакция (VC_{max}) для предсказания тяжести ударных травм. Скорость деформирования менялась от 5 до 22 м/с, а максимальное сжатие грудной клетки — от 4 до 55%. Анализ результатов показал, что максимальная вязкая реакция может служить критерием для прогноза риска получения травм во всем диапазоне использованных данных. Кроме того, VC_{max} оказалась единственным биомеханическим фактором, который адекватно определял риск травм при любых сочетаниях исходных данных, включая экстремальные значения, например, сжатие 4% при скорости деформирования 22 м/с или сжатие 55% при скорости 5 м/с.

Исследования в указанном диапазоне скоростей деформации позволили увязать имеющиеся данные о травмах от сдавливания, от высокоскоростных ударов и от взрывов (Рис. 1В).

Взяв реальные данные о лобовых столкновениях автомобилей, Лау и Виано обнаружили тесную корреляцию между VC_{max} и риском тяжелых травм. «При скоростях деформирования грудной клетки выше 3,0 м/с, — указывает Виано, — главным прогностическим показателем тяжести травм является

VC_{max} , тогда как при очень малых скоростях прогиба травматический риск при столкновениях достаточно хорошо оценивается «критерием сжатия». Поэтому в целях уменьшения риска тяжелых травм при дорожных столкновениях мы рекомендуем считать $VC_{max} = 1,00$ м/с «предельным значением вязкой сопротивляемости грудной клетки, а $C_{max} = 35\%$ — предельным значением сжатия».

Лау подчеркивает, насколько важно, чтобы конструкторы автомобилей руководствовались предлагаемыми критериями оценки травматического риска. «На основе новых представлений о механизме травмирования мягких тканей фирма General Motors уже разработала самовыравнивающееся рулевое колесо, которое может стать эффективным средством снижения травм груди и живота при авариях».

Новое рулевое колесо совместно с ударопоглощающей рулевой колонкой будет использовано как стандартное оборудование на автомобилях «Шевроле-Кавалер» в 1989 г. Как отмечает Лау, «это — прекрасный пример сотрудничества техники и медицинской науки. А поскольку General Motors является единственной автомобильной фирмой, где квалифицированные специалисты ведут медико-биологические исследования, эта проблема могла быть решена только здесь».



КТО ЕСТЬ КТО

Дейвид К. Виано, Иан В. Лау — сотрудники отдела медико-биологических проблем научно-исследовательских лабораторий фирмы General Motors.

Д-р Виано (справа) — главный исследователь. Получил степень бакалавра в области электротехники в Университете в Санта-Кларе; имеет степени магистра и доктора философии в области прикладной механики, полученные в Калифорнийском технологическом институте. На работу в GM поступил в 1974 г. после стажировки по биомеханике в Швейцарском технологическом институте. Его научные интересы: технические средства обеспечения безопасности на транспорте, биомеханика травм и увечий, безопасность перевозок.

Д-р Лау пришел в научно-исследовательские лаборатории GM в 1978 г. и в настоящее время работает старшим инженером-исследователем. Получил степень бакалавра в области электротехники в Университете Лоуэлла и степень доктора философии в области медико-биологической техники в Медицинской школе Университета Джонса Гопкинса. Область научных интересов: сердечные аритмии при травмах и взаимодействие водителя и пассажиров с рулевым управлением и средствами обеспечения безопасности при столкновениях.

General Motors



MARK OF EXCELLENCE

В МИРЕ НАУКИ

Scientific American · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

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

МОСКВА «МИР»

№ 3 · МАРТ 1989

В номере:

СТАТЬИ



(Scientific American, January 1989, Vol. 260, No. 1)

6 Научно-технический консультативный аппарат для президента *Джером Б. Уизнер*

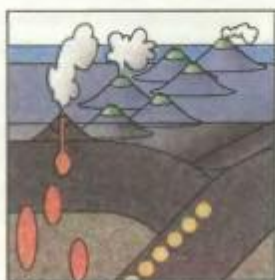
После запуска Советским Союзом первого искусственного спутника Белый дом создал самый эффективный в своей истории научно-технический консультативный аппарат, который просуществовал сравнительно недолго. Ныне президент как никогда нуждается в своевременной и исчерпывающей информации по вопросам науки и техники, поэтому настало время возродить этот аппарат



14 Как действуют активаторы генов?

Марк Пташине

Немало известно о том, каким образом включаются и выключаются гены в бактериальных клетках. Оказывается, сходные механизмы регуляции генной активности действуют и у высших организмов



24 Глубокие землетрясения

Клиф Фролих

Хотя для их объяснения выдвинуто множество интересных идей, но в течение 60 лет, прошедших после их открытия, они все еще остаются загадкой. Каким образом породы могут разрушаться при тех температурах и давлениях, которые господствуют на глубине сотен километров?



34 Перемешивание жидкостей

Джулио М. Оттино

Простое двумерное периодическое движение вязкой жидкости может стать хаотическим, что приводит к эффективному перемешиванию. Эксперименты и компьютерное моделирование проясняют механизм этого явления



46 Углеводы и депрессия

Ричард Дж. Вуртман, Джудит Дж. Вуртман

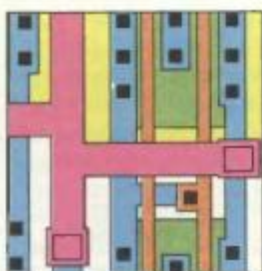
В последние десятилетие выявлено несколько связанных между собой типов поведенческих расстройств, сопровождающихся нарушением аппетита и настроения. Наиболее известно из них сезонное аффективное расстройство



56 Охота за Проконсулом

А. Уокер, М. Тиффорд

Проконсул — ископаемая обезьяна, остатки которой обнаружены 60 лет назад, в настоящее время считается последним общим предком крупных человекообразных обезьян и человека



64 Поиск кратчайших сетей

Маршалл У. Берн, Рональд Л. Грэм

Как найти кратчайшую сеть отрезков прямых линий, соединяющих произвольное множество, скажем, из 100 точек? Эта задача не поддается ни самым быстродействующим компьютерам, ни самым изобретательным математическим умам



72 Андре-Мари Ампер

Л. Пирс Уильямс

Этот выдающийся французский ученый первым исследовал количественные зависимости для магнитных эффектов электрического тока. Он был также основоположником философии науки. Его философия воплотилась в разработанной им методике научных открытий

РУБРИКИ 5 Об авторах

12,22, 32, 44,

54, 63, 70, 94,

96 Наука и общество

84 Занимательный компьютер

80 Наука вокруг нас

90 Книги

104 50 и 100 лет назад

106 Эссе

107 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
Elisabeth Corcoran
Arl W. Epstein, Gregory R. Greenwell
John Horgan, June Kinoshita;
Philip Morrison (BOOK EDITOR);
Tony Rothman, Ricki L. Rusting,
Russel Ruthen, 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

© 1989 by Scientific American, Inc.

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

В МИРЕ НАУКИ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
С. П. Капица

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
Л. В. Шепелева

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

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

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. К. Аносов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
Т. Д. Франк-Каменецкая

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОНАБОРА
В. С. Галкин

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», 1989

На обложке



ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ЖИДКОСТЕЙ

Фотография на обложке показывает сложную структуру потока, которая возникает, когда маленькая капля флуоресцирующего вещества вводится в вязкую жидкость в области хаотического перемешивания (см. статью Джулио М. Оттино «Перемешивание жидкостей» на с. 34). Такое перемешивание достигается при периодическом вращении в противоположных направлениях двух эксцентрических цилиндров. Хотя поток хаотический, в нем проявляется некоторая симметрия. «Остров» неперемешанной жидкости, пересекая «ось» симметрии, «захватывается» и разбивается на два меньших островка.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Paul D. Swanson, Julio M. Pottino

1. СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК

- | | | |
|--|--|---|
| 7 UPI/Bettmann
Newsphotos | Leong and Julio
M. Ottino (<i>внизу</i>) | 57 Alan Walker |
| 8,9 Joan Starwood | 40 Bob Conrad
(<i>вверху</i>); John G.
Franjone and
Julio M. Ottino,
University of
Massachusetts at
Amherst (<i>внизу</i>) | 58—62 Tom Prentiss |
| 10 Wide World
Photos | 41 Paul D. Swanson
and Julio M. Ottino,
University of
Massachusetts at
Amherst | 65 Quesada/Burke
(<i>вверху</i>); Gabor
Kiss (<i>внизу</i>) |
| 14 Janice A. Fischer,
University of
California,
Berkeley | 42 K. R. Sreenivasan,
Yale University | 66—69 Gabor Kiss |
| 16—21 Neil O. Hardy | 43 Ichiro Sugioka
and Bradford
Sturtevant,
California
Institute of
Technology | 73 The Granger
Collection |
| 25 Neulai
Mandrescu,
Institute for
Physics of the
Earth, Bucharest | 47 Robert Mankoff,
© 1984 by The
New Yorker
Magazine, Inc. | 74 L. Pearce
Williams |
| 26—29 Joe Lertola | 48 Andrew Christie | 75—77 Hank Iken |
| 30 Joe Lertola
(<i>вверху слева</i>);
William A. Bassett
(<i>вверху справа</i>);
Joe Lertola
(<i>внизу</i>) | 49 Laurie Burnham | 80—82 Michael Goodman |
| 31 Joe Lertola | 50 Andrew Christie | 85 Andrew Christie |
| 35—37 C. W. Leong and
Julio M. Ottino,
University of
Massachusetts at
Amherst | 51 S. Varnedoe | 86 Johnny Johnson |
| 38 Bob Conrad | 52, 53 Andrew Christie | |
| 39 Bob Conrad
(<i>вверху</i>); C. W. | | |

Об авторах

Jerome B. Wiesner "On Science Advice to the President" (ДЖЕРОМ Б. УИЗ-НЕР «Научно-технический консультативный аппарат для президента») был специальным советником президента по науке и технике при Кеннеди и Джонсоне, а с 1971 по 1980 г. — был ректором Массачусетского технологического института. В настоящее время является почетным ректором этого института.

Mark Ptashne "How Gene Activators Work" (МАРК ПТАШНЕ «Как действуют активаторы генов?») — профессор биохимии и молекулярной биологии в Гарвардском университете. Он автор трех статей, посвященных регуляции активности генов, ранее опубликованных в «Scientific American».

Cliff Frohlich "Deep Earthquakes" (КЛИФ ФРОЛИХ «Глубокие землетрясения»), с 1978 г. научный сотрудник в Институте геофизики Техасского университета в Остине. В 1969 г. получил степень бакалавра в Гринелл-Колледж, а в 1976 г. — степень доктора философии в Корнеллском университете. Работая над диссертацией, изучал строение мантии под юго-западной частью Тихого океана, анализируя распространение сейсмических волн от очагов глубоких землетрясений, и с тех пор глубокие землетрясения продолжают оставаться в центре его научных интересов. Помимо этого, Фролик живо интересуется вопросами биомеханики и физики спорта; среди статей, написанных им на эту тему, — «Физика кувырков и вращений» ("Scientific American", March 1980).

Julio M. Ottino "The Mixing of Fluids" (ДЖУЛИО М. ОТТИНО «Перемешивание жидкостей») — профессор химической технологии, доцент химии и технологии полимеров Массачусетского университета в Амхерсте. Окончил Национальный университет Ла-Плата в Аргентине и Миннесотский университет в США, где в 1979 г. получил степень доктора философии. Проводимые Оттино исследования процесса перемешивания цветных материалов не ограничиваются лабораторией. Он сам рисует, его работы были представлены на персональной выставке в Аргентине. Недавно Оттино закончил рукопись книги «The Kinematics of Mixing: Stretching, Chaos

and Transport», которая будет издана издательством «Cambridge University Press».

Richard J. Wurtman, Judith J. Wurtman "Carbohydrates and Depression" (РИЧАРД ДЖ. ВУРТМАН, ДЖУДИТ ДЖ. ВУРТМАН «Углеводы и депрессия») — супруги, сотрудники Массачусетского технологического института (МТИ). Р. Вуртман получил степень бакалавра в Пенсильванском университете, степень доктора медицины — в Медицинской школе Гарвардского университета. В настоящее время он — профессор кафедры высшей нервной деятельности МТИ, а также директор центра клинических исследований при этом институте. Дж. Вуртман имеет степень бакалавра в области зоологии, присвоенную ей в Колледже Р. Уэлсли, и степень доктора философии в области клеточной биологии, полученную в Университете Джорджа Вашингтона. В МТИ работает с 1974 г. Сейчас она — научный сотрудник кафедры высшей нервной деятельности. Ричард и Джудит Вуртман — издатели 7-томной серии «Nutrition and the Brain».

Alan Walker, Mark Teaford "The Hunt for Proconsul" (АЛАН УОКЕР, МАРК ТИФОРД «Охота за проконсулом») — соответственно профессор и доцент отдела клеточной биологии и анатомии Медицинской школы университета Джонса Гопкинса. Начали работать вместе в 1984 г. во время раскопок ископаемых остатков ранних миоценовых человекообразных обезьян в Кении. Уокер получил степень доктора по анатомии и палеонтологии в Лондонском университете. Изучает эволюцию приматов в тесном сотрудничестве с Ричардом Лики и другими коллегами из Национальных музеев Кении. Уокер — обладатель стипендии Макартура за 1988 г. Тифорд получил докторскую степень по антропологии в Иллинойском университете (Урбана-Шампейн) в 1981 г. Занимается изучением функционирования и стертости зубов у приматов, а также характером питания у вымерших животных. В своих исследованиях широко использует метод сканирующей электронной микроскопии.

Marshall W. Bern, Ronald L. Graham "The Shortest-Network Problem"

(МАРШАЛЛ У. БЕРН, РОНАЛЬД Л. ГРЭМ «Поиск кратчайших сетей») в течение многих лет занимались поиском решения задачи о кратчайших сетях. Берн — научный сотрудник исследовательского центра фирмы Херох в Пало-Альто. Получив степень магистра в 1980 г. в Техасском университете в Остине, работал в отделе обработки сигналов фирмы Epsco, Inc. В 1987 г. защитил докторскую диссертацию по информатике в Калифорнийском университете в Беркли. В свободное время Берн увлекается выращиванием кактусов, пробует свои силы в живописи, делает гравюры. Грэм — руководитель исследовательской программы, выполняемой отделом информатики в AT&T Bell Laboratories, профессор Ратгерского университета. Степень доктора математических наук получил в 1962 г. в Калифорнийском университете в Беркли. Любит упоминать о том, что в прошлом был президентом международной ассоциации жонглеров. Это вторая статья Грэма в журнале "Scientific American".

L. Pearce Williams "André-Marie Ampère" (Л. ПИРС УИЛЬЯМС «Андре-Мари Ампер») — профессор истории науки и директор программы по истории и философии науки и техники в Корнеллском университете. В этот университет поступил аспирантом в 1944 г. и после службы в военно-морском флоте вернулся туда же; в 1952 г. получил степень доктора философии. До работы в Корнеллском университете преподавал в Йельском и Делаверском университетах. Уильямс пишет: «Я стал восторгаться Ампером, когда работал над биографией Майкла Фарадея. Оба они были так непохожи в жизни и отличались методами научной работы и своими идеями, что мне показалось интересным написать биографию Ампера (над которой я сейчас и работаю). Помимо основной работы я увлекаюсь разведением и дрессировкой охотничьих собак, изучаю и преподаю каратэ, в котором я имею черный пояс».

ЭССЕ: John Shattuck, Muriel M. Spence (Джон Шеттак, Мерил М. Спенс) — первый автор — вице-президент Гарвардского университета, ведающий вопросами деятельности правительственных и общественных организаций, второй — руководитель программы исследований в области политического анализа.

Научно-технический консультативный аппарат при президенте

После запуска Советским Союзом первого искусственного спутника Земли Белый дом создал самый эффективный в своей истории научно-технический консультативный аппарат, который просуществовал сравнительно недолго. Ныне президент как никогда нуждается в своевременной и исчерпывающей информации по вопросам науки и техники, поэтому настало время возродить этот аппарат

ДЖЕРОМ Б. УИЗНЕР

В О ВРЕМЯ прошлогодней президентской кампании газета «Уолл-Стрит Джорнал» писала в одной из своих статей, помещенных на первых полосах: «В нынешних выборах вопросы, связанные с наукой, играют особо важную роль. В силу этого, кто бы ни был избран на пост президента, его ожидает большая политика, громкие аплодисменты и сильная головная боль». В статье был перечислен целый ряд важнейших задач, стоящих перед американскими учеными и инженерами: от реализации СОИ до запуска людей на Марс. Удивительно, что в ней почти ничего не было сказано о самых насущных задачах научно-технической политики США: оживление невоенного промышленного сектора экономики, охрана окружающей среды, создание эффективной системы образования.

Вместе с тем в «Уолл-Стрит Джорнал» весьма точно отражен значительный «перекос» в определении приоритетов в национальной политике в области науки и техники, который обусловлен не только политикой предыдущей администрации, но и отсутствием в Белом доме эффективного консультативного аппарата по вопросам науки и техники. Исследования по программе СОИ проводились без учета мнений независимых экспертов. Инициативы по охране окружающей среды наталкивались на нежелание правительства принять во внимание многочисленные свидетельства ученых о глобальном ухудшении окружающей среды. Многие федеральные технические программы не были координированы должным об-

разом и либо сразу провалились, либо только поглощали средства.

Ныне ситуация во многом схожа с той, с которой столкнулся в 1957 г. президент Эйзенхауэр после запуска Советским Союзом первого искусственного спутника Земли, что вызвало настоящий шок у американцев. Это событие заставило президента признать, что он был совершенно не осведомлен о правительственных научно-исследовательских программах. Например, ему ничего не было известно о проблемах, стоявших перед американской программой запуска спутников «Авангард». Насколько велики эти проблемы, не осознавали даже те, кто отвечал за ее осуществление. Они продолжали отстаивать эту неэффективную программу и после запуска спутника Советским Союзом.

Учитывая сложившуюся ситуацию, Эйзенхауэр ввел должность специального советника президента по науке и технике и назначил на нее Джеймса Р. Киллиана-младшего, бывшего до этого ректором Массачусетского технологического института. По предложению Киллиана, президент перевел консультативный комитет по науке и технике (ККНТ), существовавший в то время при мобилизационном управлении министерства обороны, в аппарат Белого дома. Совместно с этим комитетом Киллиан создал систему информирования президента по вопросам науки и техники, которая успешно функционировала до 1972 г., когда она была отменена президентом Никсоном (рекомендации ККНТ часто шли вразрез с политическими целями Никсона). С тех пор каждый

президент пытался по-своему наладить научно-техническую консультативную службу при Белом доме, однако то, что удавалось им достичь в этом направлении, значительно уступало по своей эффективности системе, созданной когда-то Киллианом.

Нынешнему президенту предстоит сделать решительный шаг. Никогда еще страна не испытывала столь острой необходимости в компетентном руководстве решением проблем, связанных с наукой и техникой. Однако, прежде чем президент сможет направить развитие науки и техники в нужном направлении, ему необходимо создать более эффективную систему управления научно-техническим процессом, чем та, которая существовала в последнее время. Я считаю, что лучше всего было бы восстановить систему, созданную при президенте Эйзенхауэре и получившую дальнейшее развитие при Кеннеди. Она сослужила хорошую службу обоим президентам во времена национального кризиса и была бы столь же эффективной и сегодня.

ЕСЛИ президент захочет создать независимый научно-технический консультативный аппарат, то ему придется проявить упорство. Многие предпочли бы, чтобы у президента не было такого аппарата, и, как и прежде, видимо, попытаются убедить его остановиться на «среднем варианте». Руководители министерств и управлений, осуществляющих крупные научно-технические программы, хотели бы, чтобы президент полагался в основном на их рекомендации по

вопросам науки и техники. То же самое относится и к тем, кто непосредственно заинтересован в программах, осуществляемых различными министерствами и управлениями. Это прежде всего компании, получающие военные заказы и производящие оборудование для исследования космоса, правительственные лаборатории, а также многие члены конгресса — представители тех штатов, где осуществляются научно-технические программы, финансируемые правительством.

Почему трудно помочь президенту получить объективные рекомендации не только по вопросам науки и техники, но и вообще по любой сложной проблеме? Причина здесь фундаментальная и имеет конституционный характер. Основатели государства воз-

ложили на президента большую ответственность, однако не указали достаточно ясно, на чьи рекомендации и помощь ему следует полагаться. Конечно, они не могли предвидеть, что мир станет таким сложным и что президенту придется решать столь трудные проблемы. Они, вероятно, полагали, что члены кабинета будут его главными консультантами, однако разве могли они предположить, что до такой степени вырастет число министерств и что управление самим кабинетом окажется таким сложным.

Президент всегда нуждался в консультативной помощи своих министров и советников. Однако большинство министров настолько поглощены решением собственных вопросов в своих министерствах, что у них едва

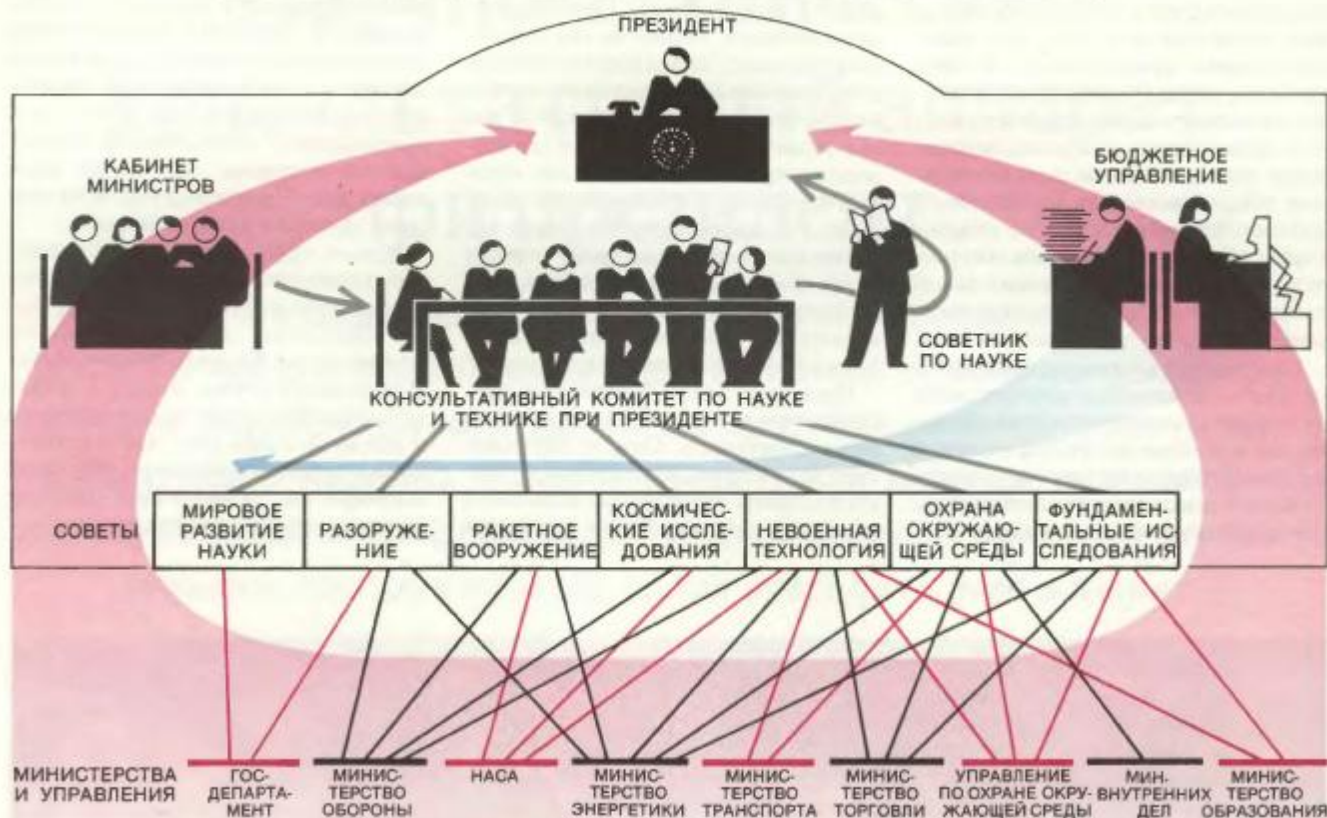
хватает времени и сил на то, чтобы вникнуть в проблемы, стоящие перед президентом, особенно в те, которые связаны с наукой и техникой. Например, какие рекомендации могут дать руководители министерства торговли по вопросам технологии промышленного производства, если они мало связаны с этой областью.

Другая трудность состоит в том, что министерства руководствуются прежде всего собственными интересами. Например, огромный аппарат министерства обороны свою главную задачу видит в том, чтобы не утратить способность к самосохранению и обеспечить себе рост. Он почти неподконтролен министру обороны. Бюрократия, занимающая сильные позиции, может препятствовать вне-



ДУАЙТ Д. ЭЙЗЕНХАУЭР во время встречи со своим бывшим советником по науке Джеймсом Р. Киллианом и членами консультативного комитета по науке и технике в конце своего пребывания на посту президента. Комитет, созданный в 1957 г. после запуска спутника Советским Союзом, был известен своим представительным составом. Члены комитета, запечатленные на снимке, — автор статьи Джером Б. Уизнер (1), советник по науке и председатель консультативного комитета Джордж Б. Кистяковский (2), Харви Брукс (3), Элвин М. Уэйнберг (4), Гленн Т. Сиборг (5), Дейвид З. Беклер (6), Эмануэл Р. Пайор (7), Вольфганг К. Х. Панофский (8) и И. А. Раби (9).





КОНСУЛЬТАТИВНЫЙ КОМИТЕТ ПО НАУКЕ И ТЕХНИКЕ (ККНТ) при президенте, построенный по тому же принципу, что и прежний консультативный комитет, который был создан в 1957 г. Председателем комитета, включенного в аппарат Белого дома, должен быть советник по науке, подчиняющийся непосредственно президенту. Президент мог бы

консультироваться по вопросам науки и техники как с кабинетом министров, так и с ККНТ. С помощью специальных советов ККНТ изучал бы правительственные научно-исследовательские программы, осуществляемые различными министерствами и управлениями. В этом ему оказывало бы помощь бюджетное управление.

дрению новой техники, поскольку оно может иметь нежелательные для нее политические и социальные последствия. Например, более широкое применение атомных двигателей на кораблях может привести к уменьшению числа авианосцев, состоящих на вооружении ВМС США, что в свою очередь приведет к сокращению числа родов сил, а следовательно, и числа адмиралов, командующих этими родами сил.

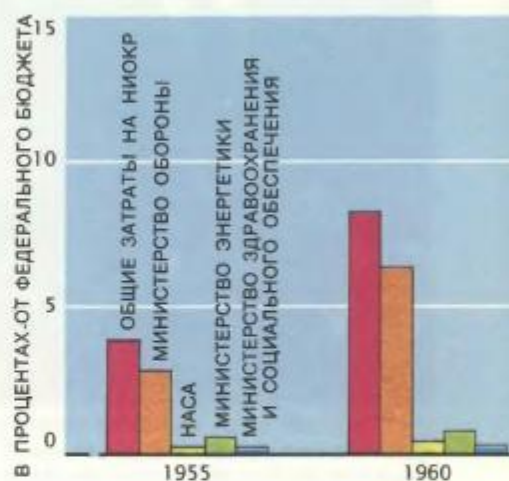
Дилемма, стоящая перед президентом, была в общем виде сформулирована Луисом У. Конигом в его книге «Глава исполнительной власти»: «В отличие от главы какой-нибудь организации, президент не может найти указаний в своем главном уставе — конституции — относительно того, как ему следует поступать в том или ином случае». По существу «Белый дом далек от того, чтобы быть центром управления для исполнительного звена власти». Правительственные учреждения, несмотря на то, что во главе них стоят люди, назначенные самим президентом, управляются и финансируются конгрессом, научными же программами «руководят госу-

дарственные служащие, которые выполняли свои обязанности до прихода очередного президента и останутся на своих местах после его ухода... Президент не вполне представляет себе хитросплетения широкой бюрократической сети.... Следовательно, президенты должны уделять немало внимания изучению механизма осуществления исполнительной власти и причин, из-за которых он так часто не срабатывает».

КАК ПРЕЗИДЕНТ может решить эти проблемы? По моим наблюдениям, за время пребывания у власти последних пяти президентов шаги в этом направлении были весьма неопределенными и зависели от ситуации и стиля руководства очередного президента. Президент и его подчиненные напоминают мне управляющих семейным предприятием, которое слишком разрослось, чтобы можно было работать по-старому и которое нельзя модернизировать, поскольку это приведет к нарушению политического баланса внутри его, что осознает вся «семья». В бизнесе неудачи стимулируют модерниза-

цию. Однако этого не произошло в системе управления страной.

И все же президент должен найти



РАЗМЕРЫ ФИНАНСИРОВАНИЯ (в процентах от федерального бюджета) правительственных научных исследований и опытно-конструкторских разработок (НИОКР) отражают общие тенденции и смещение приоритетов в научно-технической политике США. Приведены данные для НАСА и трех

путь к интеграции всех сторон деятельности правительства, определить приоритеты и изыскать необходимые ресурсы. По идее, он должен все это делать сам, используя полученную из первых рук информацию, касающуюся не только особо важных проблем, но и широкого спектра вопросов. Возможно, именно так и поступал Томас Джефферсон. Однако сейчас это не под силу одному президенту. Отмеченные задачи отражают роль советников президента — быть его глазами и ушами, собирать и анализировать информацию для него. Другими словами, хороший советник — это заместитель президента, его второе «я».

При президентах Эйзенхауэре и Кеннеди их советники по науке отвечали этому требованию. Кеннеди был в хороших отношениях со своими помощниками, что позволяло им быть его вторым «я», не вмешиваясь в его отношения с членами кабинета. Как правило, помощники информировали президента и друг друга обычным путем. При возникновении сложной проблемы помощники президента объединяли свои усилия в поисках необходимой информации. Только в такие моменты Кеннеди сам пытался вникнуть в сложные детали проблемы.

Для Кеннеди характерным было то, что он не ограничивался рекомендациями лишь тех, кто разделял его точку зрения. При решении важного вопроса он учитывал самые различные мнения. Например, когда ему предстояло решить, следует ли США возобновить испытания ядерного

оружия в атмосфере, после того, как это сделал Советский Союз в 1962 г., он спросил меня, были ли ему изложены все точки зрения по этому вопросу. Я старался, чтобы он встретился с экспертами, выражающими самые различные мнения. Перед тем как принять решение Кеннеди неоднократно спрашивал меня, со всеми ли он переговорил, с кем следует, на что я каждый раз отвечал отрицательно, поскольку он не желал встретиться с Эдвардом Теллером. Наконец, Кеннеди согласился переговорить с ним. После этого он мог честно признать, что выслушал все стороны.

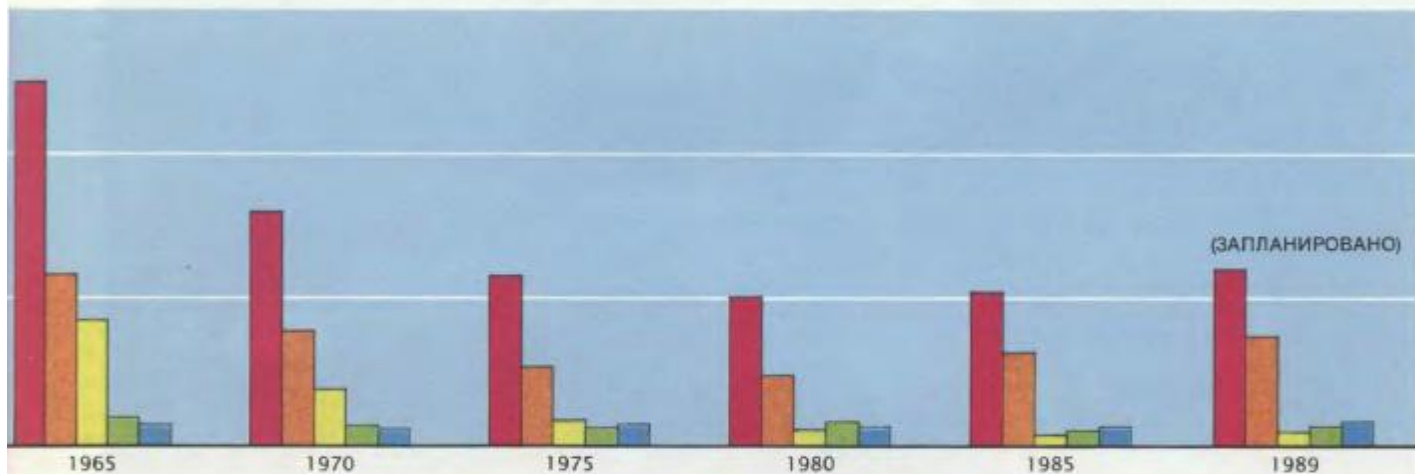
СО ВРЕМЕНИ второй мировой войны вопросы, связанные с наукой и техникой, обрели особое значение. Они не только требуют принятия компетентных решений от президента, но и приводят к быстрым изменениям, которые открывая новые возможности, порождают новые проблемы. Революционные достижения в технологии привели к гонке ядерных вооружений и созданию многочисленных новых средств доставки оружия, управления и контроля. Темпы изменений опережали разработку методов проверки новых систем, выработку эффективных стратегий размещения оружия и разграничение сфер ответственности для различных видов вооруженных сил.

В послевоенные годы ситуация настолько ухудшилась, что министр обороны уже не мог полностью контролировать систему обороны. Военные чиновники не были достаточно компетентны, чтобы помочь Белому

дому пересмотреть военные программы. Виды вооруженных сил конкурировали между собой за лидирующее положение в развертывании ракет и радарных систем. С появлением того или иного технического новшества различные службы старались привлечь на свою сторону ученых и инженеров, авторов этого новшества, с тем чтобы те могли помочь им освоить новую технологию и контролировать доступ к ней, однако это только усугубляло положение.

Стремясь восстановить порядок, президент Трумэн попросил Уильяма Т. Голдена, известного финансиста, который был хорошо осведомлен о технических программах ВМС военного времени, изучить создавшуюся ситуацию и дать президенту рекомендации, как улучшить контроль за осуществлением федеральных научно-технических программ. Голден предложил назначить советника по науке и создать консультативный комитет по науке и технике, который подчинялся бы непосредственно президенту. Комитет был создан, однако руководители многих управлений были против того, чтобы он подчинялся президенту, поэтому новый орган был подчинен директору мобилизационного управления министерства обороны. Такое компромиссное решение ослабляло эффективность деятельности комитета и советника по науке.

Консультативный комитет в неполном составе продолжал действовать и при Эйзенхауэре. Сразу после запуска спутника Советским Союзом президент решил назначить Киллиана советником по науке, полностью уком-



министерств, которые осуществляют крупные программы научных исследований. Ассигнования на военные и космические программы значительно увеличились после запуска спутника Советским Союзом в 1957 г. В середине 60-х годов бюджет НАСА резко возрос, что связано с осуществлением программы «Аполлон», нацеленной на исследование Луны. В конце 60-х годов выделение средств из федерального бюджета на НИОКР сократилось в связи с рос-

том федеральных затрат на другие правительственные программы. После того как в середине 70-х годов разразился экономический кризис, увеличились размеры финансирования исследовательских программ министерства энергетики. В 80-х годах наблюдалось значительное увеличение затрат на НИОКР в области обороны. Данные представлены Национальным научным фондом.

плектовать консультативный комитет по науке и технике (ККНТ) и перевести его в свое подчинение. Киллиан был также назначен председателем этого комитета, и о его деятельности он докладывал непосредственно президенту.

Прежде всего Киллиану необходимо было оценить, насколько глубоко были проблемы, с которыми столкнулась программа космических исследований США и которые стали очевидными после запуска спутника Советским Союзом. Вместе со своими помощниками из консультативного комитета, в частности Гербертом Ф. Йорком и Эдвардом М. Парселлом, Киллиан создал единое управление — впоследствии НАСА, — объединив несколько космических программ. Киллиан и его помощники добивались четкого определения задач, стоявших перед новым управлением, а также должного финансирования его деятельности и необходимой административной поддержки. Следует отметить, что названное космическое управление, полностью отделенное от военной космической программы, было создано по предложению Эйзенхауэра.

Когда началась реорганизация программы космических исследований, Киллиан обратил внимание членов ККНТ на многие слабые стороны других правительственных научно-

технических программ, особенно в области обороны. Как и сейчас, тогдашняя система образования не отвечала современным требованиям, поэтому были предприняты значительные усилия повысить качество преподавания естественнонаучных дисциплин в школах страны.

ПОСТЕПЕННО научно-технический консультативный аппарат превратился в организацию со сложной структурой, которая еще не изучена достаточно полно даже теми, кто был связан с ней непосредственно. При Киллиане ККНТ представлял собой группу из 15 выдающихся ученых и инженеров, включая Йорка, Парселла, И. А. Раби, Джеймса Б. Фиска, Эдвина Х. Лэнда и Джорджа Б. Кистяковского (который стал советником по науке в 1959 г.). Насколько мне известно, члены комитета назначались независимо от их политических взглядов. ККНТ, помимо своих членов, имел высокопрофессиональный штат сотрудников, число которых постепенно выросло до 30 человек.

ККНТ организовал постоянные советы по решению вопросов, связанных с наукой и техникой, в таких важных областях, как исследование космоса, оборона на море и на суше, разоружение, охрана окружающей среды, фундаментальные исследования,

образование и здравоохранение. Названные советы составляли основу деятельности комитета. Кроме них были созданы советы по решению специальных проблем. Например, одному из них было поручено изучить вопрос о загрязнении природной среды пестицидами, поднятый в связи с публикацией книги Рейчел Карсон «Мертвая весна». Книга вызвала жаростные дискуссии, и сложившаяся после ее публикации ситуация еще раз свидетельствует о том, насколько президенту необходима объективная научно-техническая консультативная служба. Производители пестицидов и министерство сельского хозяйства США заявили, что автор книги все выдумала. Только после рассмотрения этого вопроса специальным советом ККНТ стало ясно, что Карсон была права.

Члены ККНТ собирались один раз в месяц. Во время этой встречи некоторые из советов докладывали о своей работе, затем следовало ее обсуждение. Поэтому все члены комитета были хорошо осведомлены о правительственных научно-технических программах, что позволяло им выявлять неблагоприятные тенденции. Например, когда советником по науке был Киллиан, ККНТ проанализировал многие недостатки в промышленности производства материалов. Так, сталь имела низкую прочность и лег-



КАТАСТРОФЫ С «ЧЕЛЛЕНДЖЕРОМ» могло бы не произойти, если бы существовала эффективная система управления федеральными научными программами. Непрерывный и тщательный контроль программы «Спейс-шаттл» со

стороны независимой группы ученых и инженеров, возможно, позволил бы своевременно выявить и устранить дефекты, приведшие к катастрофе.

ко подвергалась коррозии, полупроводники содержали примеси и их нельзя было применять в передовой технологии, отсутствовали прочные сплавы для изготовления носовых частей ракет. Учитывая все это, комитет рекомендовал правительству увеличить финансовую поддержку программам по изучению свойств материалов, осуществляемым в университетах страны.

Состав ККНТ и его советов менялся медленно. Большинство членов комитета, назначенных при Эйзенхауэре, оставались в нем при Кеннеди, Джонсоне и Никсоне. Текучесть кадров в комитете была намного меньше, чем в управлениях, деятельность которых он контролировал. Поэтому зачастую члены ККНТ были в большей степени осведомлены о некоторых программах и о том, как они связаны меж собой, чем те, кто отвечал за осуществление этих программ.

Члены ККНТ и его сотрудники играли еще одну роль, которая часто игнорируется: они были своего рода «поверенными», к которым могли обратиться со своими серьезными проблемами представители различных управлений, потерявшие надежду решить их обычным путем. Это позволяло выявлять многие дополнительные проблемы. Например, когда я был членом ККНТ, нам стало известно о трудностях, с которыми столкнулась программа создания разведывательных спутников. Проанализировав ситуацию, комитет пришел к выводу, что программа преследовала слишком широкие цели, поэтому он рекомендовал уменьшить ее масштабы. Иногда комитет указывал на избыточность некоторых систем оружия еще до их закупки, тем самым он исключал возможность поступления на вооружение систем, стоимость которых, при слабых характеристиках, была неоправданно высокой.

Значительную помощь нам оказывало бюджетное управление, которое имело гораздо больший штат и скрупулезно контролировало все правительственные программы. Если сотрудники бюджетного управления усматривали ту или иную проблему в осуществлении какой-либо технической программы, то они сообщали об этом нам. В последующих администрациях советник по науке не был частью высокоинтегрированной системы, когда же этот пост занимал Киллиан, президент был за то, чтобы ККНТ контролировал все технические программы. Киллиану пришлось выдержать не одно сражение с руководителями различных управлений,

прежде чем они согласились с такой привилегией для ККНТ. К тому времени, когда я стал членом этого комитета, его работа была уже хорошо налаженной.

Если бы такой комитет существовал и при президенте Рейгане, то, я думаю, катастрофы с «Челленджером» не произошло бы. Совет этого комитета по космическим программам работал бы в тесном контакте с сотрудниками НАСА, его члены посещали бы стартовые площадки и исследовали проблемы, возникающие при подготовке к запуску ракет-носителей. Сотрудники НАСА, которые тщетно высказывали инспекторам свои опасения относительно проблем безопасности, могли бы обратиться в названный совет, который детально рассмотрел бы эти проблемы и настоял на их устранении, предотвратив тем самым катастрофу.

Подобным же образом консультативный комитет по науке и технике мог бы своевременно вскрыть трудности, с которыми столкнулся завод в Саванна-Ривер и другие заводы, поставляющие материалы для производства ядерного оружия, и предотвратить нынешний кризис, угрожающий закрытием этим заводам. Кроме того, люди, живущие вблизи этих предприятий, в течение десятилетий подвергаются воздействию радиоактивного облучения — проблема, которую также мог бы предотвратить ККНТ. (Завод в Саванна-Ривер — единственный поставщик трития для ядерного оружия, производимого в США.)

ЧЛЕНАМИ ККНТ и его советов были лучшие ученые страны. Их объединяло чувство патриотизма и желание помочь президенту, при этом для них интересы комитета были главенствующими. Этим ученым приходилось работать в обстановке секретности, и за 15 лет существования комитета из него ни разу не произошло утечки секретной информации. На самом деле ККНТ был вторым «я» президента при решении им вопросов, связанных с наукой.

Времена меняются, однако я полагаю, что нам сегодня необходим именно такой консультативный комитет, возглавляемый советником по науке. Не каждый согласится со мной. Хотя эксперты по вопросам научно-технической политики обычно согласны с тем, что ККНТ был эффективным в свое время, многие из них считают, что его невозможно восстановить. Некоторые возражают против «элитарности» комитета. Однако ККНТ был элитарным лишь в

том смысле, что состоял из лучших представителей науки. Но разве президенту нужен иной уровень?

По мнению других наблюдателей, деятельность современного ККНТ будет неэффективной, поскольку существуют законы, требующие, чтобы заседания правительственных комитетов проходили открыто. Не думаю, что они правы. Вопросы национальной безопасности так или иначе обсуждаются за закрытыми дверями. Что касается других вопросов, то проведение открытых заседаний по ним может осложнить деятельность комитета, однако пока нет причин отказываться от такой формы работы. Например, отдел оценки техники при конгрессе работает в этих условиях весьма успешно.

Существует мнение, что работа ККНТ была хорошо налаженной благодаря особым отношениям между советником по науке и президентом. Действительно, я был в близких отношениях с Кеннеди до того, как он стал президентом, однако ни Киллиан, ни Кистяковский не имели тесных контактов с Эйзенхауэром. Для него они были подходящими людьми, не более. Существенно то, что оба президента понимали, насколько важной является достоверная и исчерпывающая научная информация. И если новый президент захочет иметь такую информацию, у него будет возможность получить ее с помощью консультативного комитета.

Безусловно, некоторые происшедшие изменения затруднят восстановление эффективного консультативного комитета по науке и технике. Эйзенхауэр и Кеннеди могли полагаться на ученых и инженеров, имевшие большой опыт государственной службы во время второй мировой, а затем холодной войны. Эти специалисты располагали технической информацией, имевшей значение для безопасности страны, и эта информация была самая важная для президента. На смену военному пришло новое поколение ученых и инженеров, и хотя многие из них имеют опыт государственной службы, на мой взгляд, он уступает опыту их предшественников.

Кроме того, нынешние проблемы гораздо сложнее, чем 40 лет назад. Развязать холодную войну проще, чем сохранить мир. Пока отсутствуют четко намеченные пути, позволяющие сочетать экономический рост с успешным решением проблем охраны окружающей среды, истощения природных ресурсов, борьбы с заболеваниями. Поиск этих путей потребуют не только применения достижения науки и техники, но и мобилизации та-

лантов и ресурсов в невиданных прежде масштабах.

Высказываются предложения создать управление по науке, сравнимое по своей сложности и масштабу с министерством обороны. Я согласен, что должен существовать какой-то орган, координирующий осуществление невоенных научно-исследовательских программ, однако было бы серьезной ошибкой все правительственные научные программы ставить под контроль одного крупного бюрократического аппарата. Отдельные агентства должны продолжать осуществление собственных программ научных исследований, а Национальная академия наук, Национальные институты здравоохранения и другие национальные организации должны оказывать финансовую поддержку фундаментальным исследованиям.

УЧИТЫВАЯ возможные препятствия, с чего следует начать создание нового аппарата управления научно-техническим процессом? Конечно, этот аппарат невозможно образовать сразу, скорее всего, он будет эволюционировать со временем. Президенту сначала необходимо выбрать достойную кандидатуру на пост советника по науке. От способностей этого человека и его личных качеств будет зависеть степень поддержки, которую он или она встретит со стороны ученых, коллег в правительстве, а также со стороны самого президента. Пока остается спорным вопрос о том, представителем каких кругов — научных или промышленных — должен быть советник по науке. По своему опыту я знаю, что люди науки обычно обладают более глубоким видением, поскольку ими движет стремление понять, а не то, как добиться, чтобы все шло по плану. Но, возможно, что советник по науке должен представлять обе сферы.

Прежде всего советник по науке должен оказать содействие президенту в восстановлении консультативного комитета по науке и технике. Членами этого комитета должны быть лучшие ученые и инженеры страны. Поскольку лишь незначительное число молодых ученых и инженеров имеют необходимый опыт государственной службы, в состав комитета, видимо, должно войти несколько ветеранов — членов предыдущих комитетов, наряду с лучшими молодыми учеными и инженерами, возможно, теми, кто работал по программам министерства обороны и других правительственных организаций. Консультативный комитет должен обладать значительной гибкостью, чтобы

быть способным решать целый спектр проблем.

Новый советник по науке и консультативный комитет должны начать с осуществления относительно небольших проектов, нацеленных на исследование важных проблем. Наиболее серьезные из них — это экологические и создание технологий, обеспечивающих как экономический рост, так и сбережение окружающей среды и мирное сосуществование с другими государствами. Для достижения этих целей необходимы новый подход и иная инфраструктура — новые источники энергии, новые невоенные отрасли промышленности, виды транспорта и системы управления ресурсами, а также новая система образования.

Президент должен избирать такие пути, которые способствуют переходу стран от соперничества к сотрудничеству друг с другом. Только на основе международного сотрудничества можно справиться с такими проблемами, как истощение слоя озона, усиление «парникового эффекта», загрязнение Мирового океана и бесконтрольный рост населения планеты. Безусловно, масштабы этих проблем так велики, что их можно сравнить с военной угрозой, столь же сильной, как и угроза, которая нависла над человечеством во времена Гитлера и Сталина, или же как угроза ядерной войны. То, как президент Буш подойдет к решению указанных проблем, скажется и на следующем столетии.

Наука и общество

Еще раз о машине времени на черной дыре

СТАТЬЯ М. Морриса, К. Торна и С. У. Ёршевера из Калифорнийского технологического института (КТИ), опубликованная в журнале «Physical Review Letters», который обычно не считают легким для чтения, похоже, вызвала улыбки читателей. Авторы предлагают использовать черную дыру в качестве машины времени.

Идея, на которой основано это предложение, не нова. С первых десятилетий нашего века было известно, что черная дыра — это один из концов прохода, который, подобно червоточине на яблоке, соединяет две разные пространственно-временные области. К сожалению, такой проход абсолютно бесполезен как система, позволяющая быстро перемещаться из одной точки в другую. В невращающейся черной дыре «червоточина» содержит сингулярность, т. е. точку, в которой гравитационные и приливные силы обращаются в бесконечность. Эти силы разрушат любого предполагаемого путешественника еще до того, как он сможет пройти через такой «турникет».

Как во вращающихся, так и в электрически заряженных черных дырах «червоточина» необязательно содержит сингулярность. В 60-х годах это

обстоятельство вызвало много расуждений о том, что космонавт, пройдя через такую черную дыру, мог бы попасть в другую пространственно-временную область. Однако не прошло и десяти лет, как было показано, что «червоточина» во вращающейся или заряженной черной дыре нестабильна. Любая попытка пройти через нее или послать сигнал приводит к «схлопыванию» прохода и образованию сингулярности с упомянутыми выше последствиями.

Работа исследователей из КТИ представляет собой остроумную попытку решить проблемы предполагаемого путешественника в пространстве-времени. Они считают, что представители какой-нибудь высокоразвитой цивилизации, вероятно, могли бы первыми вытянуть такую «червоточину» из квантового хаоса — состояния, при котором из-за очень сильной кривизны пространства-времени одновременно проявляются релятивистские и квантовомеханические эффекты, что и приводит к возникновению «червоточин». Такие области должны иметь размеры порядка 10^{-33} см. Вытащив с помощью технологии, которую еще только предстоит создать, одну такую «червоточину», представители этой цивилизации в дальнейшем могли бы увеличить ее до размеров, достаточных для перемещения людей.

Ключевым в этой работе является предложение расположить напротив выходов «червоточины» заряженные идеально проводящие пластины. Явление, хорошо известное как эффект Казимира, приведет к нарушению условия, ограничивающего энергию взаимодействия. Это условие выполняется для всего обычного вещества, и его можно понимать как требование, чтобы средняя плотность энергии оставалась величиной неотрицательной, т. е. была либо положительна, либо равна нулю. Именно оно приводит к неизбежности образования сингулярности в черной дыре. Однако при нарушении этого условия образование сингулярности перестает быть неизбежным.

Создав «червоточину», ее можно превратить в машину времени: один ее конец с помощью гравитационных или электрических сил ускоренно отдалают от другого, доводя скорость почти до скорости света, после чего возвращают обратно. Согласно теории относительности, у движущегося входа «червоточины» время должно течь медленнее, чем у неподвижного. Легко показать, что путешественник, движущийся по «червоточине» в направлении от движущегося входа к неподвижному, путешествует в обратном направлении по времени.

По мнению авторов, преимущество калифорнийской машины времени по сравнению с предшествующими вариантами, по-видимому, состоит в том, что такая «червоточина» стабильна. Однако авторы не склонны настаивать на этом категорически. Кроме того, для осуществления эффекта Казимира расстояние между пластинами должно быть меньше радиуса электрона, что может быть запрещено.

На старте — двигатель внешнего сгорания:

«ПИЩЕВАРИТЕЛЬНАЯ система» автомобилей очень чувствительна: двигатели внутреннего сгорания могут нормально работать только при условии, если их «пища» представляет собой чистый, высококачественный бензин или дизельное топливо. Двигатели внешнего сгорания значительно менее разборчивы. После 10 лет работы по совершенствованию их конструкции, проводимой специалистами НАСА и фирмы подрядчика Mechanical Technology Incorporated (MIT), удалось, наконец, сконструировать двигатель, который можно запустить в массовое производство. Речь идет об известном дви-

гателе Стирлинга, который давно привлекает внимание автомобилистов в качестве альтернативы двигателю внутреннего сгорания, но который до сих пор не мог быть внедрен из-за высокой стоимости или низкого качества. Двигатель внешнего сгорания Стирлинга работает одинаково хорошо на бензине, керосине, этаноле или почти на любой другой горючей жидкости. При незначительных модификациях он может работать на природном газе и даже на измельченном в пыль каменном угле.

В обычных двигателях внутреннего сгорания воспламенение горючей смеси (жидкого топлива с воздухом) происходит внутри рабочих цилиндров с поршнями. Горячие газы, расширяясь при горении, толкают поршень, заставляя его совершать полезную работу. К сожалению, в процессе сгорания топлива образуются смолы, которые затрудняют движение поршней. По этой причине в автомобильных двигателях используют только очищенные виды жидкого топлива.

Двигатели Стирлинга лишены этого недостатка, поскольку сгорание горючей смеси в них происходит во внешней камере. Высвобождаемое тепло передается находящемуся в замкнутом пространстве «рабочему телу» (обычно это водород или гелий), которое, расширяясь, приводит в движение поршни. Поскольку никакие побочные продукты сгорания в этом случае не могут застопорить движущиеся части, двигатели Стирлинга способны работать на многих видах топлива. Кроме того, благодаря непрерывному и полному сгоранию топлива двигатели внешнего сгорания выбрасывают наружу гораздо меньше вредных продуктов, чем двигатели внутреннего сгорания. Именно по этой причине двигатели Стирлинга не нуждаются в дорогостоящих катализаторах, используемых для уменьшения вредных выбросов.

Хотя первые образцы двигателя внешнего сгорания появились еще в начале XIX в., сразу после его изобретения шотландцем Робертом Стирлингом, технические недостатки двигателя до последнего времени сдерживали его широкое применение. Практически работающие двигатели Стирлинга были созданы в Голландии в годы второй мировой войны, а позже в Швеции появились усовершенствованные образцы. В них узлы, нагреваемые до высоких температур, приходилось делать из сплавов, содержащих кобальт — редкий и стратегически важный металл. Кроме того, эти двигатели развивали небольшую мощность, значительно уступая в этом бо-

лее надежным и работоспособным двигателям внутреннего сгорания.

Интерес к двигателям Стирлинга вновь возник после энергетического кризиса 70-х годов. В 1978 г. министерство энергетики США и НАСА начали финансировать рассчитанную на 10 лет программу по созданию двигателя Стирлинга для практических целей. Расходы на эту программу составили 100 млн. долл. Взамен сплавов кобальта были взяты новые более легкие и менее дорогие сплавы, а прокладки из более стойких материалов позволили увеличить срок службы двигателей. Применение быстродействующих микропроцессоров для управления работой двигателя дало возможность уменьшить время его реакции на нажатие педали акселератора.

По данным фирмы MIT, новая модель «Mod-II» двигателя Стирлинга по размерам, весу и рабочим характеристикам не уступает традиционным двигателям с искровым зажиганием. Экспериментальные образцы двигателя, установленные в автофургоне американских ВВС, «наездили» 30 тыс. км на различных видах топлива и показали при этом высокую работоспособность. Специалисты ВВС с удовлетворением констатировали, что новые двигатели могут работать на горючем, которое раньше, несмотря на его высокую стоимость, в больших количествах шло в отходы; имеется в виду загрязненное топливо, сливаемое из реактивных двигателей, подлежащих ремонту, которое нельзя было восстановить для вторичного использования в других самолетах. В мае прошлого года двигатель «Mod-II» установили на почтовых автофургонах для более интенсивных ходовых испытаний при различных погодных условиях. Хотя официальных данных о результатах проверки, проводимой Агентством по охране окружающей среды, пока не поступило, управляющий фирмы MIT У. Эрнст ожидает, что эффективность использования топлива в двигателях «Mod-II», установленных на почтовых автофургонах, окажется на 20% выше.

Несмотря на эти успехи, двигатели Стирлинга, видимо, не будут использоваться в коммерческом автомобилестроении в течение еще ряда лет, пока автомобильные фирмы не накопят опыт, необходимый для перехода на массовое производство новых двигателей. Более вероятно, что двигатели Стирлинга вначале получат распространение в качестве приводов электрогенераторов и различных насосов, а также в военном автотранспорте.



ЛИЧИНКА ДРОЗОФИЛЫ в результате специфической цветной реакции, выявляющей активность фермента, участвующего в метаболизме сахаров, окрасилась в синий цвет в области переднего отдела средней кишки (вверху)

и жирового тела (внизу). Ген этого фермента активировался под действием регуляторного белка дрожжей. Дрожжевой активатор способен функционировать в клетках растений, млекопитающих и насекомых.

Как действуют активаторы генов?

Немало известно о том, каким образом включаются и выключаются гены в бактериальных клетках. Оказывается, сходные механизмы регуляции генной активности действуют и у высших организмов

МАРК ПТАШНЕ

КАЖДАЯ КЛЕТКА организма человека содержит приблизительно 100 тыс. генов, однако активно действует лишь небольшая часть этих генов. Многие из них экспрессируются (т. е. проявляют свою активность) избирательно, например на определенной стадии развития или в ответ на определенные стимулы из внешней среды. Каким образом включается и выключается работа генов? Последние 20 лет мои коллеги и я в Гарвардском университете и в других лабораториях изучали механизмы регуляции генной активности у одного из вирусов бактерий — бактериофага λ . Теперь стало очевидно, что основные принципы, установленные в наших исследованиях, позволяют далеко продвинуться в понимании экспрессии генов в клетках человека и других высших организмов.

Вспомним, что в общем случае ген — это сегмент ДНК, кодирующий белок. Специфическая последовательность нуклеотидов, из которых состоит этот сегмент, соответствует специфической последовательности аминокислот, из которых построен белок. Для расшифровки записанной в гене информации необходимо, чтобы произошла транскрипция — синтез молекулы матричной РНК (мРНК), комплементарной ДНК, и затем трансляция этой мРНК — образование белка с соответствующей аминокислотной последовательностью.

Экспрессию генов могут контролировать регуляторные белки, которые связываются со специфическими участками ДНК. Эти белки называются активаторами или репрессорами — в зависимости от того, усиливают они или подавляют транскрипцию; некоторые регуляторы способны выполнять обе эти функции. Каким образом регуляторные белки узнают специфические участки в составе ДНК и вызывают включение или выключение генов?

В этом процессе участвуют ферменты — РНК-полимеразы, которые

осуществляют транскрипцию генов, т. е. синтез соответствующих РНК. В случае генов, которые будут рассмотрены в этой статье, РНК-полимераза присоединяется к ДНК вблизи начала гена и движется вдоль него, синтезируя молекулу мРНК, комплементарную последовательности нуклеотидов данного участка ДНК. Теперь вопрос можно сформулировать более точно: каким образом активатор помогает РНК-полимеразе транскрибировать ген и каким образом репрессор мешает ей это делать?

Изучая фаг λ , мы много узнали о взаимодействиях регуляторов, ДНК и РНК-полимеразы, определяющих регуляцию генов в этой простой системе. Однако были основания предполагать, что у высших организмов регуляторные механизмы иные. Прежде всего РНК-полимеразы высших и низших организмов сильно различаются. И если в случае фага λ белки-регуляторы связываются с ДНК в непосредственной близости от гена, работу которого они контролируют, то в других системах участки связывания регуляторов с ДНК обнаружены на очень больших расстояниях от гена: они бывают удалены от него на сотни или даже тысячи пар оснований. Более того, в отличие от прокариот, например бактерий, у эукариот (высших организмов) ДНК находится в клеточном ядре и «наматана» на белки, называемые гистонами, как нитки на катушки. Казалось бы, и механизмы регуляции генной активности у высших организмов должны существенно отличаться.

Достижения последних двух лет в этой области позволяют предполагать, что ряд простых закономерностей регуляции генов являются общими для таких различных организмов, как бактерии, дрожжи, растения, дрожфила и человек. Я изложу эти принципы в том виде, в каком они были сформулированы при изучении фага λ , а затем покажу, как, опираясь на них, мои коллеги и я исследуем регу-

ляцию генов у высших организмов. Главное внимание будет уделено проблеме активации генов.

ФАГ λ привлек к себе внимание ученых более 30 лет назад, когда выяснилось, что в жизненном цикле этого вируса наглядно проявляется регуляция активности генов. Когда фаг заражает бактерию, судьба его ДНК, проникшей внутрь клетки, может быть двойкой: либо происходит экспрессия большинства вирусных генов и репликация вируса (т. е. образование новых вирусных частиц), а вслед за тем лизис (разрыв) клетки-хозяина, либо почти все гены вируса оказываются выключенными и инертная ДНК фага становится пассивной частью бактериальной хромосомы. Однако эти «молчальные» гены могут вновь включаться, если клетка подвергнется действию канцерогена, например ультрафиолетового излучения.

Ключевую роль в регуляции экспрессии вирусных генов играет закодированный в геноме вируса белок, известный под названием λ -репрессора. Этот белок связывается с несколькими специфическими участками хромосомы вируса и выключает большую часть его генов. Канцерогены индуцируют экспрессию генов, обеспечивающих репликацию ДНК фага и лизис клетки, разрушая репрессор. Однако помимо репрессии работы генов этот белок вызывает также активацию транскрипции: он значительно увеличивает скорость транскрипции своего собственного гена.

Принцип действия репрессора стал понятен, когда установили его структуру. Полипептидная цепь основной единицы репрессора свернута так, что формирует две приблизительно равные по величине части (домена). Две такие единицы — мономера — образуют димер, в форме которого репрессор взаимодействует с ДНК. Два димера связываются с соседними сайтами ДНК фага, обозначенными $O_R 1$



ОПЕРАТОР ФАГА λ содержит сайты (короткие последовательности нуклеотидов), с которыми связываются белки, регулирующие активность генов этого бактериального вируса. На схеме ген регуляторного белка-репрессора распо-

ложен слева от оператора, а справа находятся гены, обеспечивающие лизис (разрыв) клетки-хозяина при репликации вируса. В операторе три сайта связывания репрессора (O_{R1} , O_{R2} и O_{R3}) длиной 17 пар оснований каждый.

и O_{R2} ; поблизости от них расположен дополнительный сайт O_{R3} , роль которого здесь не будет рассматриваться (см. рисунок вверх).

Присутствие этих двух связанных с ДНК димеров репрессора оказывает на транскрипцию как негативное, так и позитивное действие. Во-первых, молекулы репрессора препятствуют связыванию РНК-полимеразы с ДНК и считыванию генов лизиса (на общепринятых схемах они располагаются справа от сайтов связывания репрессора). Во-вторых, один из димеров репрессора облегчает связывание РНК-полимеразы с ДНК для транскрипции гена самого репрессора (который располагается слева).

Сайты, с которыми связывается репрессор, называются операторами, а участки связывания РНК-полимеразы — промоторами. Промотор, расположенный справа от операторов, является сильным, а промотор, расположенный слева, — слабым. Операторные участки, с которыми связываются молекулы репрессора, перекрываются с сильным правым промотором, но лишь примыкают к более слабому левому промотору. В отсутствие репрессора РНК-полимераза присоединяется к сильному правому промотору и начинает транскрипцию генов лизиса. Но взаимодействие РНК-полимеразы со слабым левым

промотором и транскрипция гена репрессора возможны только при наличии связанного с оператором репрессора, который в данном случае играет роль активатора. Эти два промотора несколько различаются по нуклеотидной последовательности, чем и объясняется, что один из промоторов связывает РНК-полимеразу слабо и для его функционирования требуется активатор, тогда как для работы другого достаточно, чтобы он был доступен РНК-полимеразе.

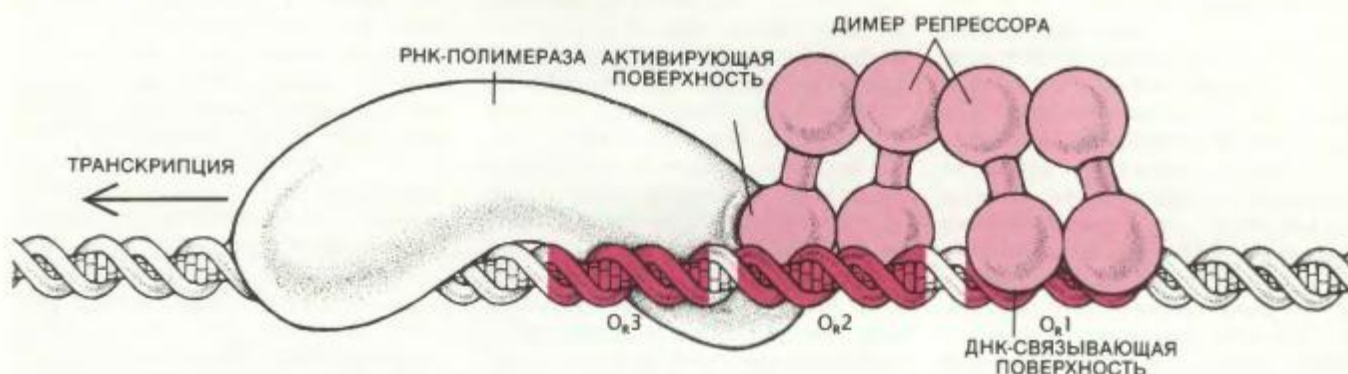
Биологический смысл этой сложности — одновременного связывания с ДНК двух димеров репрессора, обладающего двояким действием, — вполне понятен. Этот и другие факторы позволяют вирусу быстро переключаться с одного типа развития на другой в ответ на изменение условий среды (см. статью: M. Ptashne, A. Johnson, C. Pabo. A Genetic Switch in a Bacterial Virus, "Scientific American" November, 1982.) Однако вернемся к исходному более узкому вопросу, а именно: каким образом репрессор связывается со специфическими операторными сайтами и включает транскрипцию своего собственного гена?

РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЕ исследования, а также большое количество биохимических экспериментов

позволили получить весьма детальные представления о том, каким образом λ -репрессор и другие регуляторные белки избирательно связываются со своими операторными сайтами в составе ДНК. На поверхности каждого мономера репрессора, которой он связывается с ДНК, имеется выступающая структура, представляющая собой так называемую α -спираль. α -Спиральные участки имеются во многих белках, самые разные аминокислотные последовательности способны образовывать α -спираль.

α -Спираль, выступающая на поверхности мономера репрессора, точно вписывается в большую бороздку двойной спирали ДНК. Внешние химические группы α -спирали образуют специфический рисунок, который определяется последовательностью аминокислот полипептидной цепи, свернутой в α -спираль. Природа и расположение химических групп оснований, экспонированных в большую бороздку ДНК, также специфичны и заданы последовательностью нуклеотидов. Репрессор связывается с ДНК, только если есть соответствие между химическими группами на поверхности α -спирали белка и в большой бороздке ДНК (см. верхний рисунок на с. 17).

Тот факт, что репрессор связывается в виде димера, означает, что каж-



БЕЛОК-РЕПРЕССОР активирует свой собственный ген, способствуя связыванию с ним РНК-полимеразы — фермента, осуществляющего транскрипцию генов, т. е. синтез матричных РНК. Димеры репрессора связываются с сайтами O_{R1} и O_{R2} . Предполагается, что так называемая активирующая поверхность репрессора касается молекулы РНК-

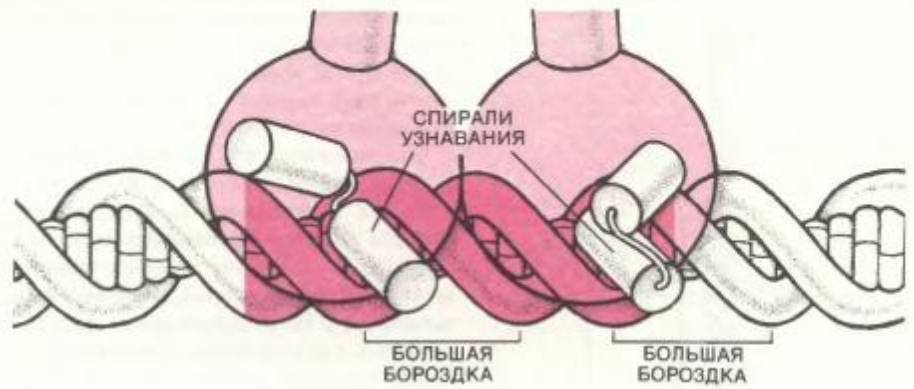
полимеразы. Димеры также контактируют друг с другом, что облегчает их связывание с ДНК. Связавшись с ДНК димеры блокируют транскрипцию расположенных справа от оператора генов лизиса, предотвращая связывание РНК-полимеразы с соответствующим участком ДНК (потому этот белок и получил название репрессора).

дому из двух одинаковых α -спиральных участков (которые в данном случае называются спиралями узнавания) должна соответствовать определенная последовательность нуклеотидов в ДНК. Это объясняет, почему операторный сайт состоит из двух совершенно или почти идентичных половин: каждая из них взаимодействует с одной из спиралей узнавания. Коль скоро димер репрессора обладает двойной симметрией, таков и его оператор.

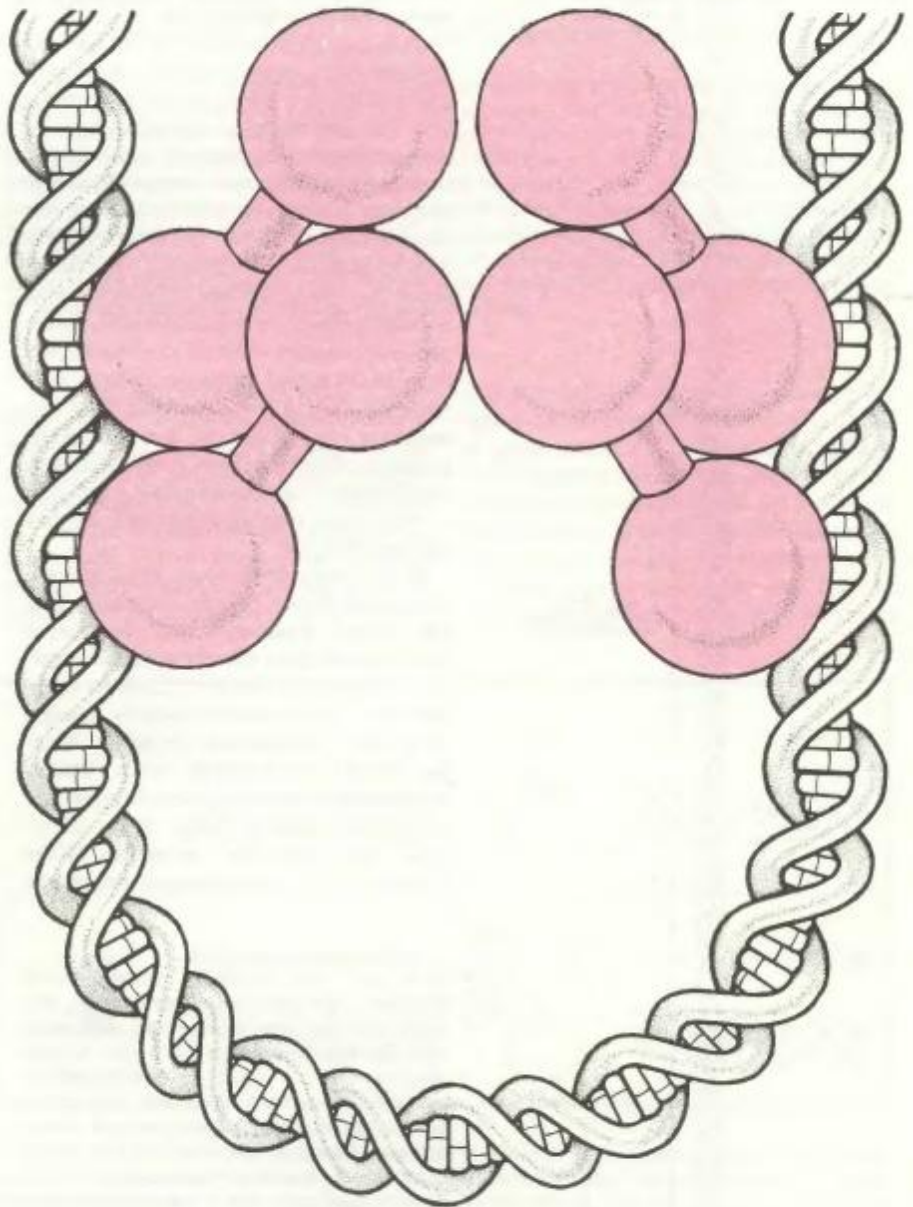
λ -Репрессор способен выбрать «свою» специфическую нуклеотидную последовательность среди огромного количества других последовательностей в составе ДНК; причем, связываясь с двойной спиралью ДНК, он не вызывает сколько-нибудь существенного изменения ее формы. Многие другие белки как у прокариот, так и у эукариот взаимодействуют с ДНК аналогичным образом при помощи спиралей узнавания; эти их участки отличаются по аминокислотной последовательности от спирали λ -репрессора, различаются и нуклеотидные последовательности операторов, с которыми они связываются. Такие белки тоже способны находить среди миллионов последовательностей ДНК свои участки связывания, длина которых не превышает обычно 20 пар оснований. (Во всех этих белках, в том числе в λ -репрессоре, вблизи спирали узнавания имеется второй выступающий на поверхности α -спиральный участок, так что получается характерный «мотив». При связывании с ДНК второй α -спиральный участок располагается поперек большой бороздки, способствуя правильной ориентации спирали узнавания.)

ПРЕДСТАВЛЕНИЯ о механизме взаимодействия репрессора с его ДНК-мишенью сыграли определяющую роль в развитии идей о том, каким образом могут действовать активаторы генов. Можно было бы предполагать, например, что связывание репрессора влечет за собой разделение цепей ДНК в операторном участке, они образуют какую-то необычную структуру и эта структура обуславливает активацию гена. Однако тот факт, что форма ДНК при связывании λ -репрессора не изменяется, позволяет считать, что не связывание белка с ДНК само по себе активирует транскрипцию. Но тогда что же?

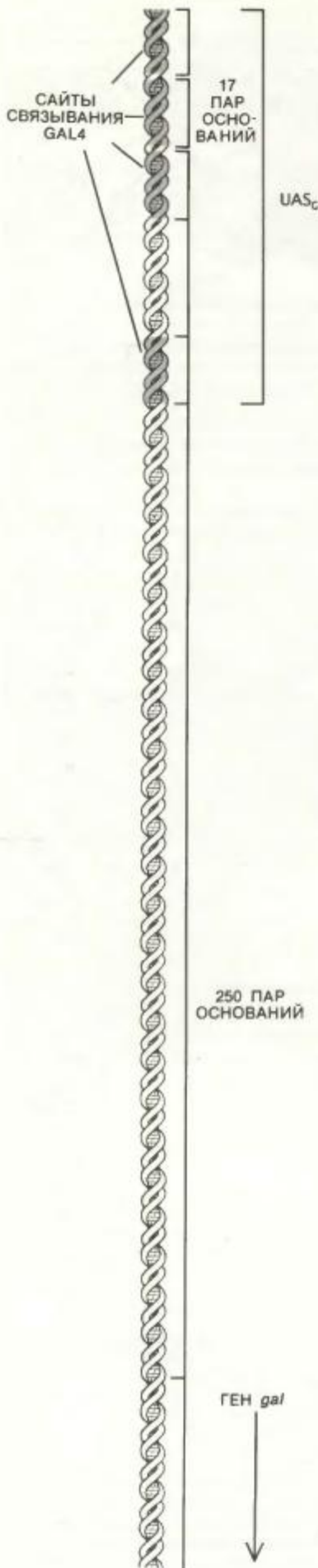
Репрессор одним из участков своей поверхности, отличным от участка связывания ДНК, взаимодействует с РНК-полимеразой, что активирует транскрипцию. Эта так называемая активирующая поверхность контактирует с молекулой РНК-полимеразы, помогая ферменту связаться с



ДНК-СВЯЗЫВАЮЩАЯ ПОВЕРХНОСТЬ репрессора взаимодействует с ДНК выступающими α -спиральными участками полипептидной цепи (изображены в виде цилиндров). Так называемая спираль узнавания точно подходит по форме к большой бороздке двуспиральной молекулы ДНК. Второй α -спиральный участок ориентируется поперек бороздки. Расположение химических групп аминокислот в спиралях узнавания соответствует расположению химических групп нуклеотидов в операторных сайтах, с которыми связывается репрессор.



КООПЕРАТИВНОСТЬ связывания димеров репрессора с ДНК заключается в том, что присоединение одной молекулы облегчает присоединение второй, и проявляется даже тогда, когда сайты связывания удалены друг от друга вдоль цепи ДНК, благодаря образованию петель ДНК.



промотором и начать транскрипцию гена репрессора. О структуре РНК-полимеразы известно мало, но есть некоторые данные об активирующей поверхности репрессора.

Мы полагаем, что важным элементом активирующей поверхности репрессора является его α -спиральный участок. Это заключение основано на результатах анализа особого класса мутантных репрессоров, которые связываются с ДНК нормально, а активировать транскрипцию не способны. Такие мутации затрагивают область внутри или вблизи другого α -спирального участка, который можно назвать активирующей спиралью. Как показывает рассмотрение модели репрессора, связанного с ДНК рядом с молекулой РНК-полимеразы, активирующая спираль располагается таким образом, что может контактировать с РНК-полимеразой.

Замены аминокислот в молекулах мутантных репрессоров, которые связываются с ДНК, но не активируют транскрипцию, принадлежат к определенному типу: они уменьшают отрицательный заряд активирующей спирали или вблизи нее. Большинство аминокислот, из которых построены белки, электронейтральны, и в большинстве белков немногочисленные положительно и отрицательно заряженные аминокислоты содержатся в приблизительно равном количестве. Данные о мутантных репрессорах позволяют предполагать, что для активации особенно важны отрицательно заряженные аминокислоты; я вернусь к этой идее при обсуждении других экспериментов.

В действии репрессора есть аспект, имеющий более общее значение. Для активации транскрипции требуется связывание двух димеров репрессора. Они взаимодействуют с ДНК не независимо: связывание одного димера облегчает связывание второго. Чтобы понять это явление, представьте, что димер репрессора присоединяется сначала в правом сайте, O_{R1} , который, как известно, является более сильным. Эта связавшаяся молекула

ГЕН *gal* ДРОЖЖЕЙ, кодирующий фермент метаболизма галактозы, находится под контролем так называемой отстоящей активирующей последовательности (UAS_c), расположенной приблизительно за 250 пар оснований перед ним. Транскрипция этого гена активируется белком GAL4. В составе UAS_c 4 сайта связывания GAL4; длина каждого, как и сайта связывания репрессора, 17 пар оснований. GAL4 выполняет свою функцию, даже если его сайты связывания удалены от гена *gal* на 750 пар оснований.

способствует связыванию в соседнем сайте второго димера, образуя с ним контакт. Такое взаимодействие, когда связывание одной молекулы облегчает присоединение последующих, называют кооперативным.

В настоящее время ясно, что принцип кооперативности широко используется в связывании белков с ДНК. Исчерпывающее обсуждение этого явления выходит за рамки данной статьи. Кратко наша точка зрения состоит в том, что кооперативность делает связывание белка высокочувствительным к небольшим изменениям его концентрации, тем самым включение и выключение соответствующего гена (или генов) становится очень эффективным; кооперативность также помогает белку узнавать свой сайт связывания среди множества других последовательностей. В случае λ -репрессора кооперативный эффект относительно невелик: наличие одного связанного димера увеличивает связывание второго приблизительно в 10 раз. Но даже это критично для действия репрессора.

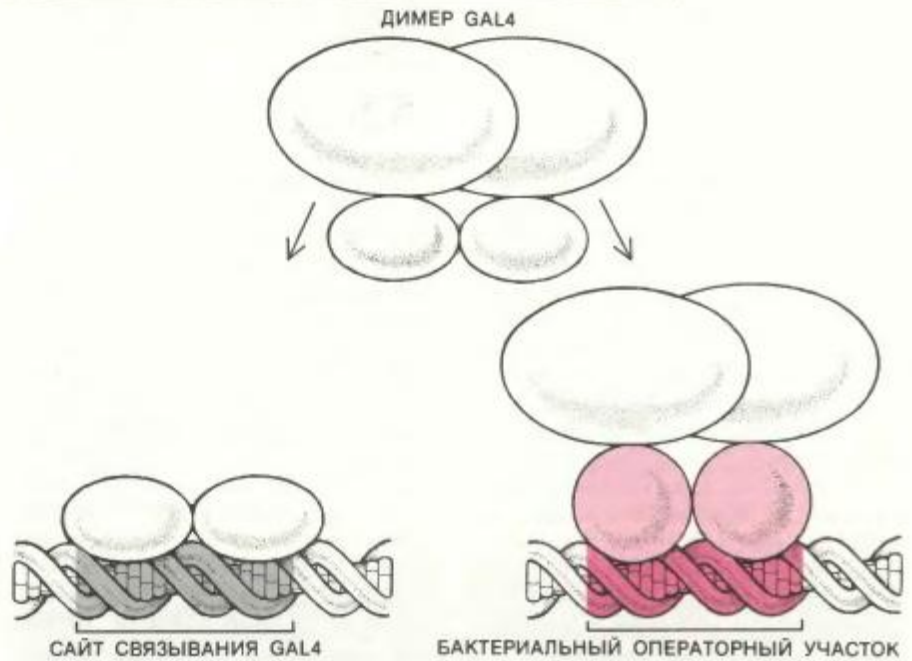
Другой аспект кооперативности у фага λ заставил задуматься о том, каким образом регуляторные белки могут воздействовать на транскрипцию тогда, когда они присоединяются к ДНК на большом расстоянии от контролируемого гена. Точно так же, как молекулы репрессора помогают друг другу связываться в расположенных по соседству операторных участках, кооперативность имеет место и в том случае, когда сайты связывания разделены протяженным отрезком ДНК: ДНК гибкая и способна образовывать петли, так что димеры могут контактировать даже находясь на расстоянии вдоль цепи ДНК (см. нижний рисунок на с. 17). Идея образования петель была предложена С. Адхья и его коллегами из Национального института рака, а также Р. Шлейфом и его коллегами из Университета Брандейса.

Для многих регуляторных белков прокариот показано, что кооперативность на расстоянии существует или в высокой степени вероятна. Собственно, фаг λ является исключением в том отношении, что его операторные участки в своей обычной конфигурации располагаются в цепи ДНК бок о бок. Кажется правдоподобным предположение, что благодаря образованию петель, которым объясняют контакт удаленных друг от друга молекул регуляторного белка, регуляторный белок, связывающийся в одном сайте, может влиять на транскрипцию удаленного от него гена. Например, активатор, связанный с ДНК, может действовать, контактируя с са-

мой РНК-полимеразой или с некоторым дополнительным белком, присоединяющимся в начале гена, благодаря тому что находящаяся между ними ДНК образует петлю, обеспечивая этот контакт.

КАКОЕ отношение закономерности, установленные для λ -репрессора, имеют к проблемам регуляции генов у высших организмов? Ответить на этот вопрос оказалось нелегко, поскольку экспериментировать с эукариотами значительно сложнее, чем с бактериями. Несмотря на достижения геной инженерии возможности здесь значительно скромнее, чем в исследованиях с бактериальными клетками. Мы взяли за изучение генов у дрожжей, которые относятся к числу наиболее простых эукариот. Дрожжи растут почти так же быстро, как бактерии, и вполне доступны для генетического анализа.

Мы изучали группу генов, кодирующих ферменты метаболизма галактозы. Эти гены, называемые *gal*, активируются белком GAL4. GAL4 связывается с участком ДНК, который отстоит приблизительно на 250 пар оснований от начала ближайшего гена *gal*. Эта последовательность называется «галактозной отстоящей активирующей последовательностью», или UAS_G (от англ. galactose upstream activating sequence); слово «отстоящая» подчеркивает, что последовательность обеспечивает действие GAL4 на расстоянии. Действительно, если UAS_G поместить перед каким-либо другим геном дрожжей, GAL4 и в этом случае активирует транскрипцию данного гена (при этом расстояние до гена может быть различным).

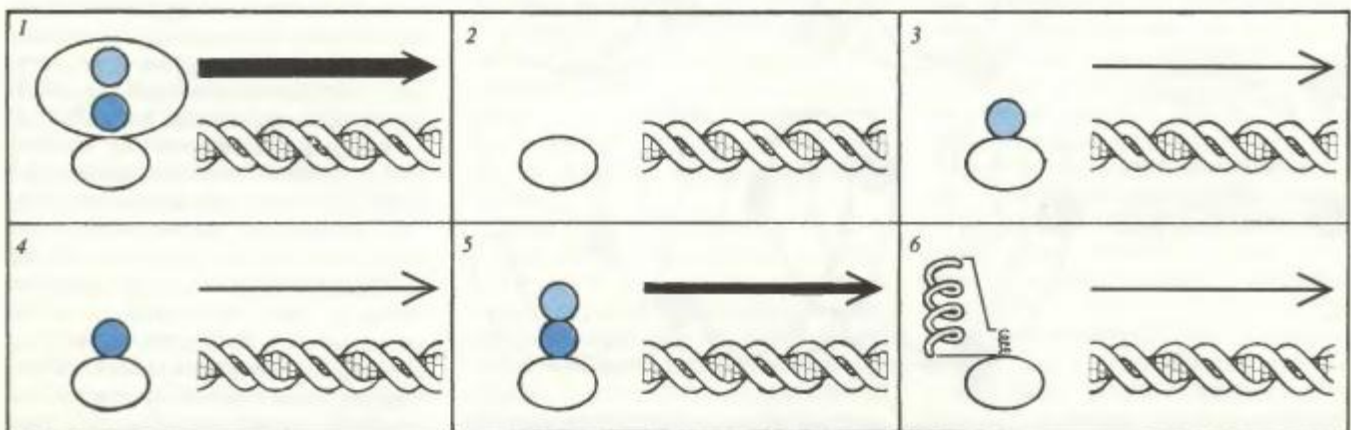


МАНИПУЛЯЦИИ С БЕЛКОМ GAL4 показывают, что его ДНК-связывающая и активирующая поверхности расположены в разных частях молекулы. В нативном GAL4 по меньшей мере два домена (вверху); мутантный GAL4, лишенный большого домена, сохраняет способность связываться с ДНК, но не может активировать транскрипцию (слева). О том, что активирующая поверхность находится в большом домене, говорят результаты экспериментов, в которых ДНК-связывающий участок молекулы GAL4 заменяли на ДНК-связывающий участок бактериального белка, подобного λ -репрессору (справа). Гибридный белок активировал транскрипцию гена, если в дрожжевую ДНК поблизости от него был встроен бактериальный операторный участок.

Последовательность UAS_G содержит четыре сходных участка, связывающих GAL4, длиной 17 пар оснований каждый. Подобно операторным участкам фага λ , эти участки обладают двойной симметрией (иногда она неполная). Это наблюдение согласуется с результатами других опытов, позволяя предполагать, что GAL4,

как и λ -репрессор, связывается с каждым соответствующим сайтом ДНК в виде димера. Один димер GAL4, связанный с одним сайтом, также активирует транскрипцию, но не столь эффективно, как несколько димеров, связанных с несколькими сайтами.

Каков механизм действия GAL4? Другими словами, каким образом



ПРОИЗВОДНЫЕ БЕЛКА GAL4 позволяют идентифицировать участки его молекулы, участвующие в активации транскрипции. В интактном GAL4 (1) два активирующих участка (цветные) индуцируют транскрипцию (показано стрелкой). В их отсутствие транскрипции не происходит (2). Каждый из этих участков может сам активировать транскрипцию, если его присоединить к ДНК-

связывающему участку GAL4 (3, 4). Вместе они обеспечивают почти нормальную активацию, хотя 80% аминокислотной последовательности белка при этом отсутствует (5). Если к ДНК-связывающему участку присоединить цепочку из 15 аминокислотных остатков, теоретически способную образовать α -спираль, она функционирует почти столь же эффективно, как одна активирующая поверхность (6).

GAL4 избирательно связывается с UAS_G , а затем активирует транскрипцию гена, удаленного от него на несколько сот пар оснований? Описанные ниже эксперименты показали, что аналогично λ -репрессору в молекуле GAL4 имеются поверхность, связывающаяся с ДНК, и поверхность, активирующая транскрипцию. Но в отличие от λ -репрессора, в котором эти поверхности расположены в одном домене, близко друг к другу, ДНК-связывающий и активирующий участки GAL4 принадлежат различным частям этой значительно более крупной молекулы и могут быть легко разделены.

Эксперимент, в результате которого удалось установить локализацию ДНК-связывающего участка GAL4, включал получение фрагментов гена, кодирующего GAL4, и введение этих фрагментов в дрожжевые клетки с целью определить, выполняют ли синтезирующиеся фрагменты GAL4 какие-либо функции целого белка. Мы обнаружили один фрагмент (представляющий собой NH_2 -концевую часть полипептидной цепи белка), который связывается с ДНК, но не активирует генную экспрессию. Можно было сделать вывод, что участок GAL4, ответственный за активацию транскрипции, расположен за пределами первых 100 аминокислотных остатков полипептидной цепи.

Окончательно это подтвердилось в

эксперименте, в котором фрагменты гена GAL4 соединили с последовательностями ДНК, кодирующими части других белков, так что синтезировались гибридные белки. В ключевом опыте из этой серии мы заменили ДНК-связывающий участок в молекуле GAL4 на ДНК-связывающий участок бактериального репрессора. Как и ожидалось, в обычных дрожжевых клетках гибридный белок не влиял на экспрессию генов, поскольку был лишен возможности связываться с UAS_G . Однако, если перед дрожжевым геном помещали операторную последовательность, которую узнает бактериальный репрессор, гибридный белок активировал транскрипцию этого гена. Нативный бактериальный репрессор не способен активировать экспрессию генов в клетках дрожжей. Другими словами, чтобы получить функциональный активатор, требуются, во-первых, активирующая поверхность (в данном случае она принадлежала фрагменту GAL4) и, во-вторых, ДНК-связывающая поверхность (в данном случае из бактериального репрессора), которая необходима, чтобы активирующий фрагмент мог присоединяться к ДНК вблизи гена.

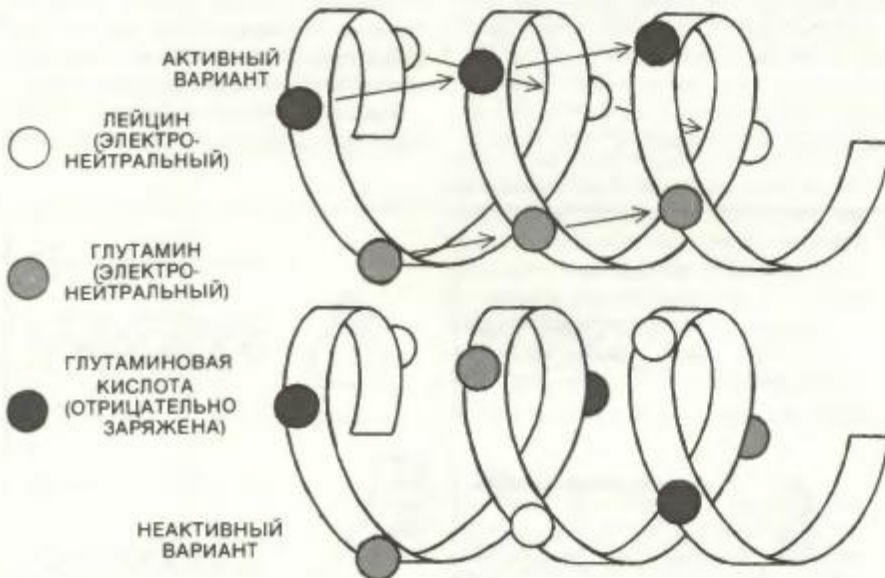
Следует отметить, что мы точно не знаем, каким образом GAL4 узнает свои сайты связывания в ДНК; в его молекуле нет мотива из двух α -спиральных участков, как в λ -ре-

прессоре. Судя по аминокислотной последовательности GAL4, можно предполагать, что на поверхности молекулы имеются выросты наподобие пальцев, которые стабилизируются атомом цинка (эту структуру называют цинковыми пальцами). Впрочем, эксперимент, который я только что рассмотрел, свидетельствует, что этот вопрос, весьма интересный сам по себе, не принципиален для понимания активации генов.

ЭКСПЕРИМЕНТ с гибридным бактериально-дрожжевым белком навел нас на вопрос о том, что же представляет собой активирующая поверхность GAL4. Наиболее очевидный подход к этой проблеме заключался в том, чтобы получить мутантные варианты GAL4, связывающиеся с ДНК, но не способные к активации транскрипции, как это было ранее сделано в опытах с фаговым репрессором. Если предположить, что эти мутантные белки аналогичны мутантным λ -репрессорам, в них должны быть замены аминокислот, что и позволит определить активирующую поверхность. Однако в таких опытах были получены только укороченные варианты белка, лишённые большей части аминокислотной последовательности (на причинах такого результата я остановлюсь ниже). Эти мутанты оказались бесполезными для определения активирующей поверхности.

Иной подход подсказали нам работы К. Ямамото и его коллег из Калифорнийского университета в Сан-Франциско, которые исследовали человеческий ген регуляторного белка, известного как рецептор глюкокортикоидов. Мы решили получить более дробные фрагменты гена GAL4, а затем к части гена, кодирующей ДНК-связывающую поверхность, присоединить различные другие фрагменты гена. Тем самым должна была синтезироваться упрощенная форма GAL4, в которой активирующая поверхность непосредственно присоединена к ДНК-связывающему фрагменту. Удалось обнаружить два участка белковой молекулы длиной примерно по 100 аминокислотных остатков, каждый из которых при соединении с ДНК-связывающим фрагментом вызывал активацию экспрессии генов. Когда присоединяли оба этих фрагмента, полученный белок активировал транскрипцию почти в той же степени, что и исходный GAL4, хотя его молекула была приблизительно на 80% короче.

Эти результаты казались удивительными в двух отношениях. Во-первых, поражаало, что эксперимент вообще получился. По утвердивше-



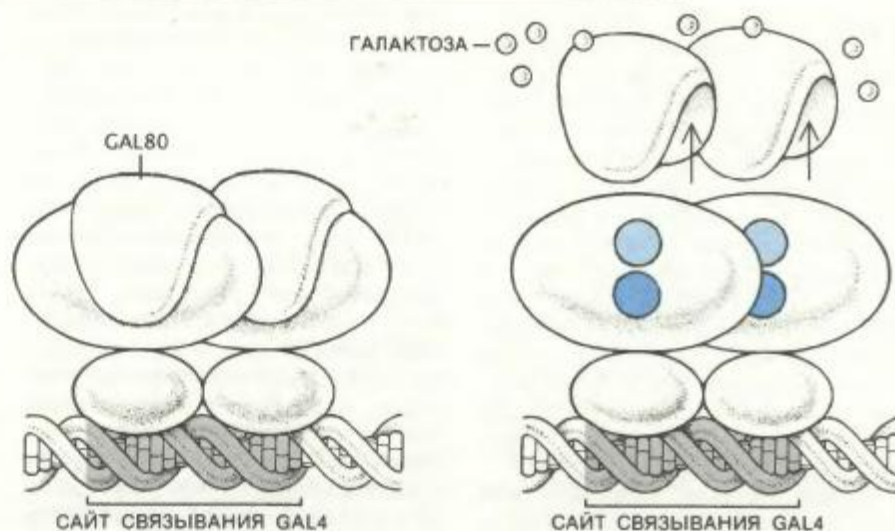
ИСКУССТВЕННЫЕ ПЕПТИДЫ (короткие цепочки из аминокислот) присоединяли к ДНК-связывающему участку GAL4, чтобы выяснить, какими свойствами должна обладать активирующая поверхность. Оба пептида состоят из одних и тех же аминокислот, но соединенных в разном порядке. Последовательность аминокислот была подобрана таким образом, что в одном случае отрицательно заряженные аминокислоты расположены на одной стороне образующейся α -спирали (вверху), а в другом случае они разбросаны по всей ее поверхности (внизу). Первый пептид активирует транскрипцию, а второй — нет. Значит, не только заряд, но и его распределение существенно для активации.

мюся в молекулярной биологии мнению, белки обладают довольно точно фиксированной пространственной структурой, которую нельзя изменить с такой легкостью. Одно дело, как мы думали, — объединить фрагменты разных белков и ожидать, что гибридный белок будет функционировать, и совсем другое — удалить из молекулы белка большие участки и ожидать, что он сохранит активность. Быть может, и не стоило так удивляться. За последние годы накопились данные о том, что домены белков могут представлять собой независимые функциональные единицы. Структура GAL4 еще не установлена, однако тот факт, что ДНК-связывающий и активирующий участки удается разделять и воссоединять с такой легкостью, указывает, что они располагаются в разных доменах.

Во-вторых, удивительным выглядел результат сравнения аминокислотных последовательностей активирующих участков GAL4. Участки белковых молекул, выполняющие сходные функции, зачастую обладают сходной последовательностью аминокислот и близкой пространственной структурой. Однако в данном случае была замечена лишь одна общая черта — наличие большого избытка отрицательно заряженных аминокислот. К. Струл и его коллеги из Медицинской школы Гарвардского университета показали, что активирующий участок другого активатора транскрипции у дрожжей, GCN4, тоже несет избыточный отрицательный заряд; в других отношениях его аминокислотная последовательность не похожа на последовательности активирующих участков GAL4.

ОКАЗАЛОСЬ поразительно легко найти аминокислотные последовательности, играющие активирующую роль, если их присоединить к ДНК-связывающему фрагменту белка. Мы присоединяли случайные фрагменты бактериальной ДНК к фрагменту гена GAL4, кодирующему ДНК-связывающий участок. Затем эти гибридные гены вводили в клетки дрожжей и исследовали, могут ли гибридные белки активировать ген с расположенным поблизости участком связывания GAL4.

Значительная доля новообразованных белков активировала экспрессию гена. Однако в их аминокислотной последовательности не было никакого заметного общего сходства, за исключением высокого содержания отрицательно заряженных аминокислот. В некоторых из этих новых белков активирующие участки составляли в длину не более 50 аминокислот-



ГАЛАКТОЗА влияет на активность белка GAL4 при участии белка GAL80. В отсутствие галактозы GAL80 экранирует активирующие поверхности GAL4, тем самым подавляя его способность активировать транскрипцию. Предполагается, что в присутствии галактозы сам этот сахар или какой-то из продуктов его превращения вызывает отделение GAL80, в результате GAL4 освобождается для активации генов, обеспечивающих расщепление галактозы.

ных остатков, но они функционировали как активаторы почти столь же эффективно, как интактный белок GAL4.

Тот факт, что молекулы очень многих активаторов несут избыточный отрицательный заряд, позволяет считать это свойство далеко не случайным, и дополнительные генетические эксперименты подтверждают такую точку зрения. Я уже отмечал, что попытки определить локализацию активирующего участка GAL4 с помощью мутантных белков, дефектных по функции активации, привели к получению лишь фрагментов белка. Если в молекуле GAL4 имеются два активирующих участка, которые могут действовать независимо, то при отборе на потерю активирующей функции изменения должны затрагивать по меньшей мере два участка молекулы, а такое событие очень мало вероятно. Только при утрате большей части молекулы исчезнут оба активирующих участка.

Однако, если в качестве исходного использовать упрощенный вариант GAL4, удается получить мутантные белки, которые активируют транскрипцию более или же менее эффективно, чем исходный белок. Обнаружилось, что есть существенная (но не абсолютная) корреляция между зарядом и активностью: в мутантных белках с повышенной активностью обычно отмечались замены аминокислот, увеличивающие отрицательный заряд, тогда как понижение активности сопровождало замены, уменьшающие отрицательный заряд.

При этом ряд исключений позволяет предполагать, что помимо величины отрицательного заряда на активирующей поверхности некоторая роль в активации принадлежит ее структуре. По аналогии с активирующей поверхностью λ -репрессора мы решили проверить, может ли осуществлять активацию транскрипции α -спираль, несущая на одной своей стороне отрицательные заряды. Мы сконструировали короткий участок ДНК, кодирующий аминокислотную последовательность, которая теоретически способна сворачиваться с образованием такой спирали, и присоединили его к ДНК-связывающей части GAL4. Чтобы α -спираль действительно могла образоваться, в полипептидной цепи должны содержаться не только отрицательно заряженные, но и гидрофобные аминокислоты, что помогает сворачиванию спирали на поверхности фрагмента GAL4.

Мы установили, что такой гибридный белок, активирующая поверхность которого построена всего из 15 аминокислот, способен активировать гены дрожжей до уровня составляющего 20% от уровня экспрессии при активации интактным белком GAL4. Однако, если расположение тех же аминокислот сильно изменить, этот фрагмент белка не способен к активации транскрипции — это свидетельствует, что сам по себе заряд не обеспечивает активацию полностью. Вероятно, для возникновения активирующего участка требуется определенное расположение отрицательных зарядов на одной стороне α -спирали.

РАССМОТРЕННЫЕ эксперименты создали основу для дальнейшего обобщения, которое для многих оказалось неожиданным: оказалось, что GAL4 и многие его производные, активирующие транскрипцию в клетках дрожжей, могут активировать гены и в клетках млекопитающих, дрозофилы и даже растения табака. Опыты, в которых это было показано, ставятся по следующей общей схеме. Ген GAL4 или его вариант вводят в чужеродную клетку, и в ней синтезируется соответствующий белок. Затем в геном этой клетки, вблизи одного из ее собственных генов, встраивают сайт связывания GAL4. Во всех случаях — в клетках растения, насекомого или млекопитающего — дрожжевой активатор усиливает экспрессию данного гена до высокого уровня.

Мы не наблюдали активации транскрипции, если в ДНК клетки отсутствовал сайт связывания GAL4 или если в клетках синтезировался измененный вариант белка GAL4, не имеющий активирующего участка. Таким образом, молекула, содержащая активирующий участок, присоединенный к ДНК-связывающему домену, способна активировать генную экспрессию в клетках многих, а может быть, даже всех эукариот.

Если активирующий участок не утрачивает свою функцию в чужеродных клетках, сохраняет ли он также способность действовать на большом расстоянии? Для генов высших организмов характерны так называемые энхансеры (от англ. enhance — усиливать) — сайты связывания регуляторных белков, которые значительно удалены от генов. Могут ли полученные нами белки-активаторы включать транскрипцию, если они связываются с ДНК за 1000 и более пар оснований от гена? Оказалось, что да при условии, если активатор обладает очень мощным активирующим участком. Такой участок найден в регуляторном белке VP16, который закодирован в геноме вируса герпеса. Если отрицательно заряженную часть этого белка присоединить к ДНК-связывающему фрагменту GAL4 и гибридный белок будет синтезироваться в клетках млекопитающих, он активирует ген, расположенный на расстоянии более 1000 пар оснований перед UAS_G или за ним.

Мы предполагаем, что для этого сегмента VP16 характерно оптимальное сочетание структуры и заряда, благодаря чему он сильно взаимодействует с белком-мишенью. Интактный GAL4 способен функционировать только на более коротких расстояниях; вероятно, потому что его активирующий участок взаимодействует с белком-мишенью слабее.

ДО СИХ ПОР в обсуждении регуляции генов я избегал вопроса о том, как осуществляется регуляция синтеза самих регуляторных белков, чтобы они могли обеспечивать адекватную реакцию на изменения внешней среды. Ответ на этот вопрос, по меньшей мере частично, известен для GAL4. Поскольку данный белок приводит в действие гены, обеспечивающие метаболизм галактозы, важно, чтобы его ген был активен, когда в среде имеется галактоза, и не работал, когда галактозы в среде нет. Оказалось, что обычно активирующий участок GAL4 экранирован специфическим ингибиторным белком GAL80, а в присутствии галактозы сама она или один из продуктов ее превращений в клетке вызывает отделение ингибиторного белка, что обнажает активирующую поверхность.

Описанные в этой статье исследования указывают также на ряд нерешенных проблем. Во-первых, если предполагать, что активирующие участки белков, регулирующих генную экспрессию, взаимодействуют с

каким-то другим белком, участвующим в транскрипции, то что это за белок? Им может быть и сама РНК-полимераза, но мы думаем, что такую роль играет другой белок, действующий как посредник между регуляторным белком и полимеразой. Очевидно, что этот белок-мишень должен присутствовать в сходной форме в клетках многих различных (а возможно, и всех) эукариот.

Во-вторых, какова природа взаимодействия между активирующим участком и его мишенью? В молекулярной биологии принято считать, что взаимодействия между белками определяются специфическими структурами белковых молекул, однако в данном случае эффективно действуют отрицательно заряженные полипептиды с совершенно разными аминокислотными последовательностями. Наконец, важно отметить, что исследованные нами активаторы представляют, возможно, лишь один класс белков-активаторов; не исключено, что существуют и другие классы белков с такой функцией.

Наука и общество

Осторожность или перестраховка?

ФРАНЦУЗСКАЯ фирма Groupe Roussel-UCLAF добилась разрешения продавать во Франции и Китае свои таблетки, вызывающие безопасный выкидыш. Но уже через месяц продажа их была прекращена. Фирма объявила, что ее вынудили к этому «протесты общественности во Франции и других странах». Год назад компания Upjohn изъяла из производства одно из трех abortивных средств, продававшихся ею более 10 лет в США, объяснив свое решение низким спросом на этот препарат и наличием альтернативных средств. Однако, по мнению некоторых специалистов, на решения этих фирм повлияли результаты изучения риска, который таят в себе контрацептивы.

Исследования последних лет завели ученых в дебри экономических, политических и социальных проблем. Американцы упрямо отказываются использовать средства контроля за рождаемостью, много лет применяющиеся в других странах. В то же время надежды на то, что США возглавят революцию в создании новых надежных контрацептивов становятся все более призрачными.

В своей борьбе за продажу abortив-

ных средств в США компания Upjohn выдержала длительный бойкот сторонниками запрещения абортов.

В семидесятых годах Управление по контролю за качеством пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств (FDA) признало препараты, содержащие гормоны группы простагландинов, рекомендуемые для приема во второй трети беременности, безвредными и эффективными. Есть и другие показания к их применению, но эксперты по планированию семьи утверждают, что изъятый из продажи препарат компании Upjohn, вызывающий искусственный выкидыш, пользовался наибольшим спросом. Upjohn всячески подчеркивает отличие двух своих препаратов, которые она продолжает продавать в США, от abortивного средства RU-486 компании Roussel-UCLAF, рекомендованного во Франции и Китае для применения в первой трети беременности и через 12 часов после полового сношения.

Специалисты полагают, что активные сторонники «права на жизнь» попытаются помешать продаже RU-486 в США. Простагландиновые препараты фирмы Upjohn смогли проникнуть на рынок, избежав борьбы только потому, что внимание оппозиции было отвлечено ожесточенной схваткой с

инъекцируемым контрацептивом De-ro-Provera этой фирмы.

Появившиеся в семидесятых годах доказательства того, что D-P способствует образованию опухолей у собак, вызвали бурю протеста, которая «смела» просьбу компании на одобрения препарата. Последующие публикации поставили под сомнение правомерность предъявленных обвинений, но FDA осталась непреклонной. Итак, препарат D-P завяз в трясине споров в США, а между тем около 6 млн. женщин более чем в 90 странах мира используют различные инъекцируемые контрацептивы. В некоторых странах женщины пользуются имплантацией гормонов, что предотвращает беременность в течение 5 лет. По словам Ш. Сегала, директора отделения по проблемам населения при Рокфеллеровском фонде, американки используют устаревшие контрацептивы, в то время как весь мир ушел далеко вперед.

В США одним из факторов, сдерживающих разработку новых средств предотвращения беременности являются протесты общественности.

Возможных производителей контрацептивов пугают многомиллионные иски, предъявленные двум известным компаниям—производителям этих средств. FDA выдвигает значительно более строгие требования к контрацептивам, чем к другим лекарственным препаратам.

При разработке нового средства расходы на многолетние эксперименты над животными могут превысить 50 млн. долл. Каждый год, потраченный на изучение переносимости препарата обезьянами является потерянным для защиты патентных прав на рынке. Поэтому неудивительно, что разработка новых контрацептивов невыгодна фармацевтическим компаниям.

Вызывает беспокойство тот факт, что из восьми фирм, занимавшихся разработкой контрацептивов в начале семидесятых годов, продолжает исследования в этом направлении только одна. Работу семи фирм, прекративших исследования, пытаются продолжить некоммерческие организации и государственные лаборатории. Так, субсидии Национального института охраны здоровья детей и развития человека позволили изучить и одобрить в начале этого года вагинальные колпачки. Некоммерческая организация Совет по народонаселению финансирует разработку имплантируемого препарата Norplant.

В том случае, если FDA одобрит разработанные исследовательскими группами препараты, им еще предстоит разыскать фирмы, которые наладили бы производство и продажу этих средств. «Многие компании не

хотят браться за это дело, даже если вы проводите все исследования своими силами», — заявил Р. Линкольн, старший сотрудник института Алана Гаттмахера.

Он считает, что низкая рождаемость в США маскирует острые проблемы. Четвертая часть беременностей искусственно прерывается, что составляет 1,5 млн. абортс ежегодно. Этот показатель один из самых высоких среди развитых стран. «Наши методы контроля беременности безнадежно устарели», — добавил Линкольн.

Новые контрацептивы не устроят проблему нежелательной беременности, но помогут в ее решении. Весной группа ученых из Института медицины при Национальной академии наук планирует опубликовать рекомендации по мерам, способным, по их мнению, улучшить положение дел с новыми средствами предотвращения беременности. Некоторые обозреватели высказывают опасения, что рекомендации Института медицины не дадут желаемого эффекта до тех пор, пока не произойдут изменения в общественном мнении в стране.

Генетика шизофрении

В ПСИХИАТРИИ давно существует гипотеза о генетической природе шизофрении, основанная на том, что это заболевание, которое характеризуется галлюцинациями, бредом, расстройствами мышления и потерей эмоциональных реакций, часто поражает несколько поколений в одной семье. Но доказательств такая точка зрения не имела. Недавно группе исследователей удалось получить первое надежное подтверждение того, что генетическое нарушение действительно вносит вклад в развитие шизофрении.

Х. Герлинг из Медицинского колледжа Лондонского университета и Миддлсексской медицинской школы и его коллеги в Англии, Исландии и США проанализировали хромосомы по меньшей мере в трех поколениях семи английских и исландских семей, в которых часто встречалась шизофрения. В частности, они изучили наследование двух генетических маркеров, известных под общим названием полиморфизма длины рестрикционных фрагментов ДНК (ПДРФ). Эти маркеры располагаются в хромосоме 5 в области, обозначаемой 5q11-13.

ПДРФ обнаруживается путем расщепления хромосом рядом рестрикционных ферментов, которые разрезают ДНК в участках с известной последовательностью, и последующего разделения образующихся фрагмен-

тов по длине. Некоторые фрагменты у разных людей часто различаются по длине — это и есть ПДРФ; такие фрагменты соответствуют генетически переменным участкам хромосом. Если определенная картина ПДРФ, другими словами определенная длина фрагмента, постоянно наследуется вместе с данным заболеванием, это является серьезным доводом в пользу того, что ген (или гены) с нарушением, расположенные в пределах участка с ПДРФ или в непосредственной близости, играют роль в развитии заболевания. Данные по ПДРФ, полученные группой Герлинга с коллегами (они опубликованы в журнале "Nature"), доказывают четкое сцепление участка хромосомы 5 и шизофрении для двух семей и более слабое, но все же заметное сцепление для остальных семей.

Хотя эти факты подтверждают, что шизофрения имеет генетические причины, нельзя делать вывод, что хромосома 5 играет роль во всех случаях шизофрении. Действительно, в том же выпуске "Nature" описано аналогичное исследование, выполненное К. Киддом и др. из Медицинской школы Йельского университета совместно с сотрудниками Медицинской школы Стэнфордского университета и Королевского института в Стокгольме: в многочисленной шведской семье с длительной историей заболевания не удалось выявить связи между областью 5q11-13 и шизофренией.

Эти две работы, вместе взятые, подтверждают все более крепнущее представление о шизофрении как о гетерогенном расстройстве: сходные патологические явления вызываются многими различными причинами. В некоторых случаях может быть важен ген в хромосоме 5, в других случаях — другие гены или их комбинации. По словам Герлинга, не исключено, что шизофрения может и не иметь генетического компонента.

Может оказаться, что аномалия хромосомы 5 обуславливает лишь незначительную часть случаев шизофрении. Тем не менее в комментарии к двум упомянутым статьям Э. Ландер из Гарвардского университета отмечает, что работа Герлинга и др. является существенной вехой в изучении шизофрении. По его мнению, это первый шаг в использовании генетики для разделения больных на более однородные группы. Обнаружение ряда генетических и связанных с ними биохимических нарушений, которые могут иметь значение в развитии шизофрении, в итоге должно позволить для каждого случая разрабатывать оптимальное лечение, основанное на конкретных физиологических нарушениях.

Глубокие землетрясения

Хотя для их объяснения выдвинуто множество интересных идей, но в течение 60 лет, прошедших после их открытия, они все еще остаются загадкой. Каким образом породы могут разрушаться при тех температурах и давлениях, которые господствуют на глубине сотен километров?

КЛИФ ФРОЛИХ

ПРИ БОЛЬШИНСТВЕ землетрясений земная кора растрескивается подобно фарфору. Напряжения накапливаются в ней до тех пор, пока на глубине нескольких километров не образуется разрыв и проскальзывание пород по нему не снимет напряженное состояние. Однако иногда землетрясения происходят там, где среда не может испытывать хрупкого разрушения, а именно в сотнях километрах от земной поверхности, в глубинах мантии. Считается, что из-за высоких давлений породы здесь не в состоянии растрескиваться даже при таких напряжениях, которые могут деформировать их, как замазку. Как же могут происходить землетрясения на таких глубинах?

Эти таинственные глубинные явления вовсе не редки. Начиная с 1964 г. в каталог Международного сейсмологического центра (МСЦ) в Лондоне занесено уже свыше 60 000 землетрясений, происшедших на глубинах более 70 км, что составляет 22% всех сейсмических толчков, положение очагов которых удалось установить за этот период. Некоторые из них оказались разрушительными. Хотя почти все катастрофические землетрясения являются мелкофокусными и глубина их очагов не превышает 50 км, 4 марта 1977 г. толчки с центром на глубине 100 км вызвали разрушения в столице Румынии Бухаресте.

Но на что более всего «повлияли» глубокие землетрясения, так это на развитие геофизики. Анализ их распределения по земному шару дал подтверждение важнейшей теории современной геофизики — тектоники плит. Интерес к ним послужил также хорошим стимулом для сейсмических исследований глубоких недр Земли с целью расшифровки строения среды по особенностям сейсмических волн, которые распространяются от очага землетрясения через всю планету. Сейчас мы уже понемногу начинаем раскрывать секреты глубоких землетрясений. Сейсмологические наблюдения в сочетании с лабораторными

экспериментами по поведению горных пород при высоких давлениях позволили высказать предположения о механизмах их возникновения.

ДО 1927 г., когда японский сейсмолог К. Вадати убедительно продемонстрировал существование глубоких толчков, глубины всех землетрясений были предметом споров. Одни исследователи, заметив, что в некоторых случаях интенсивные сотрясения ограничиваются небольшой площадью, утверждали, что очаги землетрясений должны находиться не глубже нескольких километров от земной поверхности. Другие, пытаясь определить направление на источник землетрясения по показаниям простых сейсмографов, существовавших в ту пору, называли гораздо большие глубины — вплоть до 1200 км.

По мере расширения знаний о сейсмических волнах и особенностях их распространения дебаты обострялись. Изучая сейсмограммы, исследователи узнали о существовании нескольких видов объемных волн (т. е. волн, проходящих через внутренние области Земли, в противоположность поверхностным волнам, распространяющимся по поверхности). Первыми к приемникам подходят *P*-волны, называемые первичными, или продольными. Они представляют собой звуковые волны, распространяющиеся внутри Земли в виде чередующихся зон высокого и низкого давления. За ними следуют *S*-волны, называемые вторичными, или поперечными, в которых породы периодически смещаются влево — вправо от направления распространения волны. Сравнение времен прихода на различные приемные станции (или времен вступления) *P*- и *S*-волн от данного землетрясения показало, что их время пробега зависит как от проходного ими расстояния, так и от внутреннего строения Земли.

Следовательно, если у вас есть некоторая модель строения Земли и данные по временам вступления волн

в разных точках земного шара, вы можете определить местоположение очага землетрясения. Этот метод применил на практике Г. Тернер, возглавлявший расчетную палату сейсмологических данных, которая позднее превратилась в МСЦ. В 1922 г. он опубликовал свою весьма дискуссионную статью, стимулировавшую дальнейшие исследования. Проанализировав данные, полученные на сейсмических станциях всего мира, Тернер выдвинул предположение, что землетрясения происходят в трех диапазонах глубин: очаги «высокофокусных» толчков находятся вблизи поверхности; «нормальные» землетрясения, составляющие наиболее многочисленную группу, происходят на глубинах порядка 150 км; «глубокофокусные» толчки имеют очаги на глубинах, достигающих 650 км.

Подход Тернера был достаточно обоснованным, но использованные им данные и знания о строении глубоких недр Земли, по современным меркам, были неполными, а неточность существовавших тогда часов приводила к тому, что время вступления волн определялось с погрешностью в секунды и даже минуты. Доводы Тернера показались убедительными лишь немногим из его современников. Как отметил С. Банерджи из Бомбейской обсерватории, если основная масса землетрясений сосредоточена на глубинах 150 км и более, то интенсивные поверхностные волны должны возникать очень редко, между тем как в каталоге самого Тернера они представлены в изобилии. Г. Джеффрис из Кембриджского университета выдвинул более серьезное возражение, заявив, что на глубинах, указанных Тернером, землетрясения просто не могут происходить.

По утверждению Джеффриса, глубже примерно 50 км под действием тепла и давления вещество мантии переходит из хрупкого состояния, при котором оно способно разрушаться, в тягучее, пластическое. В качестве подтверждения своей аргументации

Джеффрис указал, что после окончания последнего ледникового периода берега Канады и Северной Европы, освободившиеся от ледового груза, поднялись, как если бы нижележащая мантия была способна течь под действием напряжений подобно исключительно вязкой жидкости. Он упоминал также лабораторные работы, свидетельствующие о том, что при высоких температурах и давлениях породы в ответ на напряжения не резко разрушаются, а медленно деформируются.

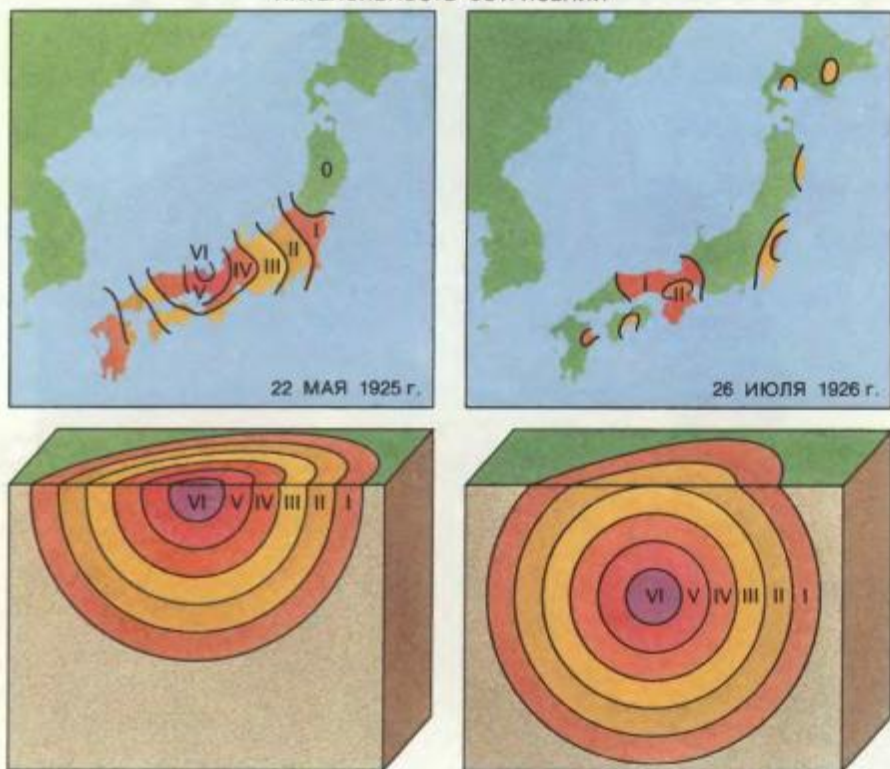
Двадцатипятилетний сотрудник Японского метеорологического управления К. Вадати не опровергал доводы Джеффриса; он просто представил убедительные доказательства того, что у некоторых землетрясений очаг находится очень глубоко. Землетрясения, которые в Японии происходят очень часто и приносят большие бедствия, заставили японское правительство создать лучшую в то время сеть сейсмографов. Данных у Вадати было в изобилии, к тому же он применил новые методы определения глубины очагов землетрясений. Он не сравнивал абсолютные времена прихода волн на разные сейсмические станции, как это делал Тернер, а опирался на разность времен, которую легко было измерить на отдельных станциях даже при невысокой точности часов: для этого он определял интервал $P-S$ между вступлениями P -волн и более медленно распространяющихся S -волн. Поскольку волны каждого из этих типов имеют достаточно постоянную скорость, интервал времени между их вступлениями возрастает пропорционально расстоянию от очага землетрясения до пункта наблюдения.

Вадати обнаружил, что для большинства землетрясений вблизи эпицентра — точки наиболее сильных сотрясений на поверхности — этот интервал очень мал. Однако при некоторых толчках задержка вступления S -волн была большой даже в эпицентре. Такую же картину наблюдал Вадати, когда анализировал данные об интенсивности сотрясений. В большинстве случаев можно было выделить небольшую область сильных сотрясений, которые быстро ослабевали с увеличением расстояния от эпицентра, но некоторые землетрясения характеризовались меньшей максимальной интенсивностью, отмечавшейся однако на более обширной территории. Как величина интервала $P-S$, так и распределение интенсивностей наводили на мысль о существовании двух типов землетрясений: мелкофокусных с очагом непосредственно под эпицентром и глубоких,

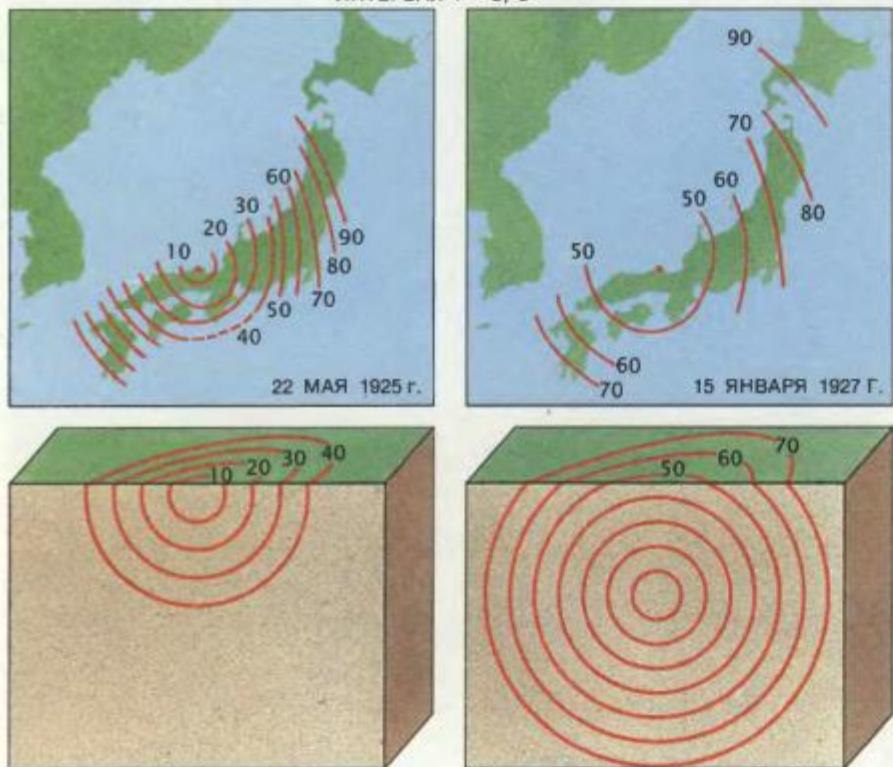


РАЗРУШИТЕЛЬНЫЕ ГЛУБОКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ — редкое явление. За последние десятилетия единственный толчок такого рода произошел 4 марта 1977 г. на глубине 150 км под Бухарестом. При этом погибло 1500 человек. На первом этаже изображенного на фотографии здания обрушились колонны, в результате чего угол его опустился на один этаж. Снимок сделан Н. Мандреску из Института физики Земли в Бухаресте.

ИНТЕНСИВНОСТЬ СОТЯСЕНИЙ



ИНТЕРВАЛ P—S, с



ПОВЕРХНОСТНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ позволяют различать мелко- и глубокофокусные толчки. Данные по интенсивности сотрясений и разности времен вступлений волн P (продольных) и S (поперечных) были собраны К. Вадати. Вблизи эпицентра сотрясения были очень сильными в 1925 г. (вверху слева) и слабыми в 1926 г. (вверху справа). Разность времен вступлений S - и P -волн в эпицентре в 1925 г. составляла менее 10 с (внизу слева); в 1927 г. минимальная величина интервала $P—S$ была больше — около 40 с (внизу справа). На основании этих данных Вадати сделал вывод, что в 1925 г. гипоцентр землетрясения располагался вблизи поверхности, а в 1926—1927 гг. — на глубинах около 400 км (разрезы).

очаг которых располагается на глубинах в несколько сотен километров.

Последователи Вадати, применив его методику к данным по землетрясениям, происшедшим в других географических районах, получили подтверждение его результатов: очаги обычных землетрясений располагались выше 50 км, однако некоторые толчки происходили на гораздо больших глубинах — около 600 км и даже глубже. Тернер ошибался в отношении глубины нормальных землетрясений, но в том, что глубокие землетрясения существуют, он был прав. Баттерджи тоже оказался прав: сейсмограммы глубоких толчков показали, что при них генерируются лишь слабые поверхностные волны.

ОДНАКО, как быть с доводом Джеффриса? Вспомним, что, по его соображениям, породы мантии на глубинах свыше 50 км слишком пластичны и потому в них не могут накапливаться напряжения, необходимые для возникновения землетрясения. Наблюдения Вадати в значительной мере предвещали, каким будет ответ на этот вопрос: в обычных мантийных породах глубокие землетрясения не происходят. В 1935 г. Вадати нанес на карту фокусы (гипоцентры) землетрясений, происшедших в районе Японии, и их глубины. Он обнаружил, что изолинии глубин фокусов приблизительно параллельны и что глубины фокусов неуклонно увеличиваются в направлении от восточного берега Японии на запад. Вадати объяснил этот факт следующим образом: «Сама возможность построения изолиний фокальных глубин позволяет предположить, что в земной коре имеется нечто вроде *ослабленной поверхности*... где, по всей вероятности, и происходят сейсмические вспышки. В коре, образующей район Японских островов, данная поверхность занимает наклонное положение».

В других районах земного шара очаги землетрясений, как указывал далее Вадати, располагаются на аналогичных наклонных поверхностях: «Глубокофокусные землетрясения возникают всегда на одной стороне, ближайшей к континенту, а мелкофокусные — на другой стороне, которая в большинстве случаев граничит с очень глубоким морем. По-видимому, эта особенность характерна для многих вулканических зон Земли».

Почти все глубокие землетрясения удовлетворяют схеме, описанной Вадати. Везде, где они случаются достаточно часто, — обычно по краям глубоких океанов — они «обрисовывают» некоторую наклонную зону, начинающуюся вблизи земной поверх-

ности и уходящую в недра Земли до глубины 600 км и более. Называемые теперь зонами Вадати — Беньоффа (по имени Вадати и американского сейсмолога Х. Беньоффа, который в 40—50-х годах нанес такие зоны на карту), эти наклонные сейсмофокальные плоскости послужили решающим доказательством новой геофизической концепции, появившейся в 60-х годах.

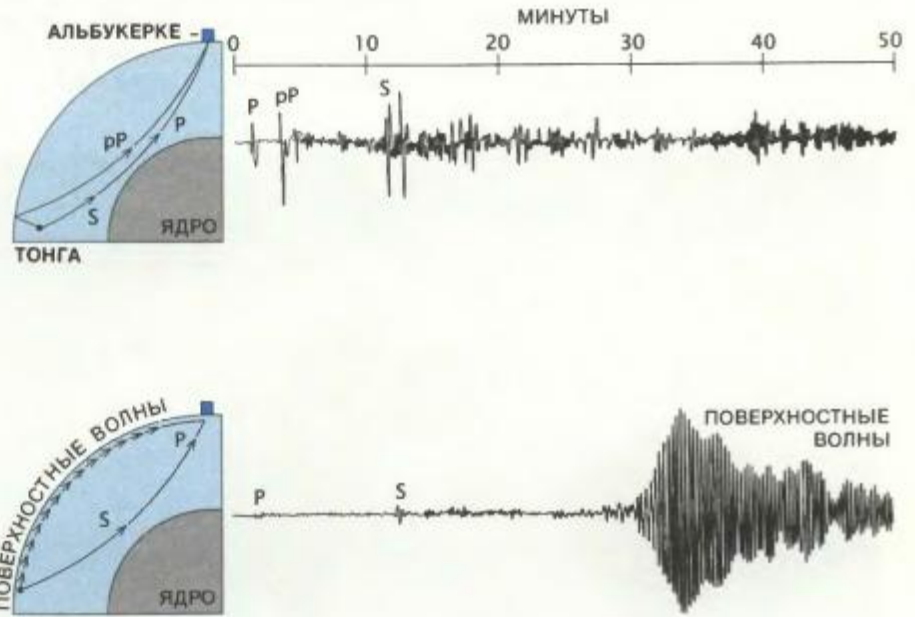
В этой концепции многие из крупных поверхностных структур Земли и большинство событий ее геологической истории объясняются движением плит, которые покрывают земную поверхность. Плиты движутся в стороны от срединно-океанических хребтов; в тех местах, где они сталкиваются, — как правило, по краям океанических бассейнов, — воздымаются горы и формируются причудливые очертания континентальных окраин. Все это и есть тектоника плит — поверхностное выражение процесса конвекции (т. е. возбуждаемой теплом циркуляции вещества) в мантии Земли. Горячий материал поднимается из глубин мантии и вблизи земной поверхности растекается в горизонтальной плоскости. Верхний примерно 50-километровый слой горизонтального потока, охлаждаясь, образует жесткие плиты, которые включают в себя земную кору и часть нижележащей мантии.

Там, где плиты сталкиваются, расположены холодные нисходящие потоки мантийного вещества. Одна плита испытывает субдукцию: она изгибается, поддвигаясь под другую плиту, и погружается обратно в мантию. Когда стало ясно, что очаги глубоких землетрясений «привязаны» к опускающемуся блоку и зона Вадати — Беньоффа отслеживает его форму, была установлена и реальность процесса субдукции. С мористой стороны к зоне Вадати — Беньоффа обычно примыкает глубоководный желоб — «глубокое море» по описанию Вадати. Здесь участвующая в субдукции плита загигается вниз. Часто образующаяся поблизости цепочка вулканов питается расплавленным материалом, поднимающимся со стороны опущенного блока. Вадати обладал проницательным умом: в своей статье 1935 г. он выдвинул предположение, что землетрясения и вулканы вблизи Японии могут быть результатом дрейфа континентов (процесса, связанного с тектоникой плит), о существовании которого за два десятка лет до этого говорил А. Вегенер.

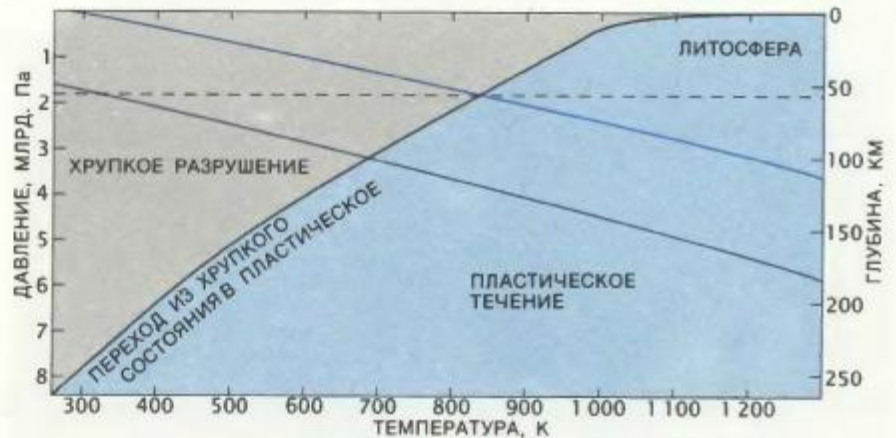
ОПИСАННЫЕ геофизические построения позволили отчасти ответить на возражение Джеффриса. Сосредоточенные в зоне Вадати — Беньоффа глубокие землетрясения

происходят в породах литосферы, на сотни градусов более холодных, чем окружающая мантия, а следовательно, и менее пластичных, т. е. более способных накапливать упругую

энергию. Но все же на распределение глубоких землетрясений, по-видимому, влияют и другие факторы. Например, их очаги размещены вдоль зоны Вадати — Беньоффа неравномерно.



СЕЙСМОГРАММЫ глубокого и мелкофокусного землетрясений, происшедших в районе желоба Тонга, были записаны в Альбукерке, шт. Нью-Мексико, т. е. на расстоянии примерно четверти пути вокруг Земли. Глубокое землетрясение (вверху) породило сильные P- и S-волны, которые проходили через недра Земли с различными скоростями. Некоторые из P-волн превратились в rP-волны: распространяясь от очага вверх до земной поверхности, они отражались от нее обратно и проходили через недра Земли. Поскольку очаг этого толчка находился на большой глубине — около 625 км, — возникло незначительное количество поверхностных волн. При мелкофокусном толчке (внизу) как P-, так и S-волны были относительно слабы; основная энергия переносилась поверхностными волнами, прибывающими последними.



ЗАГАДКА ГЛУБОКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ иллюстрируется диаграммой физических условий (давления и температуры), при которых материал горных пород переходит из хрупкого состояния, когда он под действием напряжений разрушается, в пластическое, когда в ответ на приложенные напряжения среда деформируется постепенно. Давление и температура возрастают с глубиной, так что обычно уже на глубине около 60 км породы становятся пластичными (голубая кривая). В зонах глубоких землетрясений породы имеют аномально низкие температуры, но будучи даже на 500° холоднее, чем «нормальная» мантия, они все равно должны становиться пластичными примерно к глубине 100 км (серая кривая). В действительности же землетрясения регистрируются почти до глубины 700 км.

Складывается впечатление, что изменение частоты землетрясений приходится на глубины, где изменяется кристаллическая структура слагающих мантию пород и под действием возрастающего давления они переходят в более плотные фазы.

К примеру, на глубине около 400 км, как показывают записи сейсмографов, резко увеличивается ско-

рость распространения сейсмических волн, что свидетельствует о росте плотности пород. Здесь оливин — силикатный минерал, который является главной составной частью пород мантии и погружившейся в нее плиты и содержит разнообразные примеси железа и магния, — переходит в более плотную кристаллическую фазу, называемую шпинелью. Приблизитель-

но на этой глубине число глубоких землетрясений минимально.

Ниже области первого фазового превращения некоторые зоны субдукции остаются в спокойном состоянии. Но в тех зонах, где землетрясения на этих глубинах все же происходят, наибольшая сейсмическая активность отмечается в слое от основания области фазового перехода до другой, более



КАРТА ГЛУБОКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, которые были зарегистрированы за последние 25 лет. Землетрясения различаются по глубине очага. Указаны года самых сильных толчков (с магнитудой более 7), происшедших на предельных глубинах (более 630 км). Почти все глубокие землетря-

сения происходят вблизи глубоководных желобов, для которых характерна субдукция — погружение в глубины мантии одной из подвижных жестких плит литосферы, слагающих земную кору и самую верхнюю часть мантии.



СТАТИСТИКА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ меняется с глубиной. Число землетрясений с магнитудой 5 и более в каждом 10-километровом интервале глубин (слева) достигает минимума примерно на уровне 400 км, затем снова возрастает и только на глубине около 650 км резко падает до нуля. При большинстве глубоких толчков умеренной силы афтершоки (последующие сотрясения) происходят редко, но на предельных глубинах они встречаются гораздо чаще (в се-

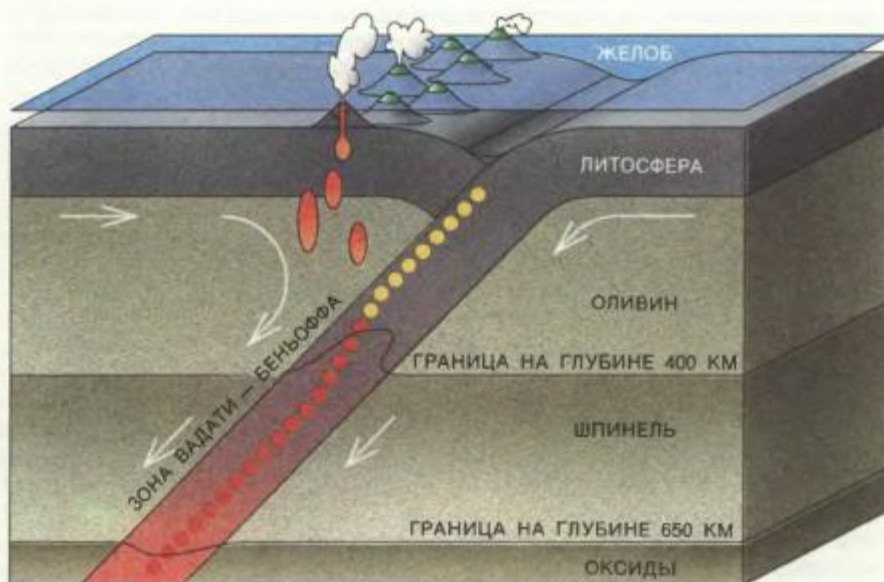
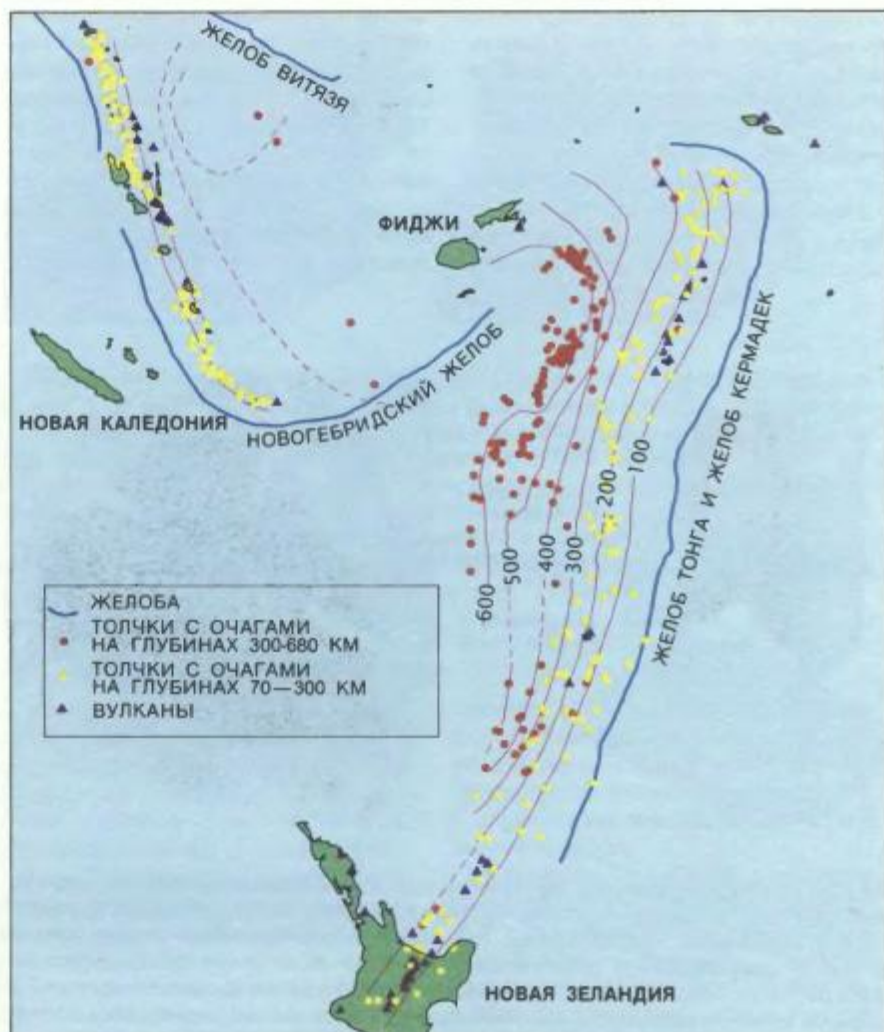
редине). Наиболее сильные землетрясения отмечаются, как правило, на малых глубинах, в более глубоких областях земных недр сила наибольших толчков меняется мало, а еще глубже сейсмическая активность совершенно прекращается (справа). Исходя из имеющихся данных, можно предполагать, что на возбуждение глубоких землетрясений могут влиять изменения кристаллической фазы мантийных пород на глубинах 400 и 650 км.

загадочной границы, располагающейся на глубине около 650 км. Этой границе также соответствует резкое возрастание скорости сейсмических волн и, следовательно, плотности вещества. Ученые еще не пришли к единому мнению о том, с чем это связано, — со вторым фазовым превращением или с изменением химического состава. Так или иначе, вблизи этой второй границы сейсмическая активность резко падает до нуля.

Чтобы определить максимальную глубину, на которой еще происходят глубокие землетрясения, Ф. Старк, работавший тогда в Техасском университете в Остине, и я применили несколько способов анализа. Среди прочего мы рассмотрели интервалы между временами вступления обычных *P*-волн и *pP*-волн (волн сжатия, которые от источника возмущения вначале идут вверх к земной поверхности, отражаются от нее и достигают удаленного сейсмографа, пройдя через недра Земли). Оказалось, что самые глубокие из зарегистрированных толчков происходили на глубинах между 680 и 690 км. Б. Рис и Э. Оукал из Северо-западного университета провели аналогичное исследование и получили похожие на наши результаты.

Прекращение сейсмической активности наступает столь резко, что не может быть связано с постепенным размягчением литосферного блока по мере его разогрева веществом окружающей мантии. Оно может означать, что погружающиеся блоки не в состоянии проникать ниже границы, находящейся на глубине около 650 км. В таком случае конвекция, возможно, происходит только в верхней мантии, выше этой границы, и материал верхней и нижней мантии никогда не смешивается. Тогда изменение скорости сейсмических волн на глубине 650 км, по всей вероятности, происходит из-за изменения состава мантии. Согласно другой интерпретации (сейчас — это один из наиболее бурно дебатированных вопросов в геофизике твердой Земли), погружающийся блок может проникать в нижнюю мантию. Тогда конвекция должна захватывать всю мантию, а граница на глубине 650 км должна отмечать фазовый переход в однородной по своему составу среде. Прекращение здесь сейсмической активности объяснялось бы в этом случае сопутствующим изменением механических свойств пород.

СПУСКАНИЕМ плиты в процессе субдукции может быть связано несколько источников напряжений, высвобождающихся при глубоких землетрясениях. Погружающаяся плита испытывает изгибы, растяже-



ЗОНА СУБДУКЦИИ — это та обстановка, в которой происходят почти все глубокие землетрясения. Гипоцентры землетрясений, происходящих в районе желоба Тонга и желоба Кермадек, располагаются вдоль параллельных контуров с возрастающими значениями глубины (*вверху*). Образованная гипоцентрами наклонная поверхность называется зоной Вадати — Беньоффа. Зона Вадати — Беньоффа отслеживает субдукцию литосферной плиты (*внизу*). Загибание плиты вниз и приводит к образованию желоба; цепочка вулканов питается расплавленным материалом, поднимающимся от плиты.

ния и сжатия; нагревание и фазовые превращения также могут создавать напряженное состояние вследствие изменения объема пород. Каким образом высвобождаются такие напряжения? Что на самом деле происходит в очаге глубокого землетрясения?

Глубокие землетрясения могут быть столь же сильными, как и все остальные, исключая разве что от-

дельные сильнейшие приповерхностные толчки. Наиболее разрушительным из глубоких землетрясений в последние годы было землетрясение 1977 г. в Румынии, имевшее магнитуду 7,2; в 1970 г. землетрясение с магнитудой 7,6 произошло в Колумбии на глубине 650 км. И все-таки механизм выделения энергии должен отличаться от хрупкого разрушения,

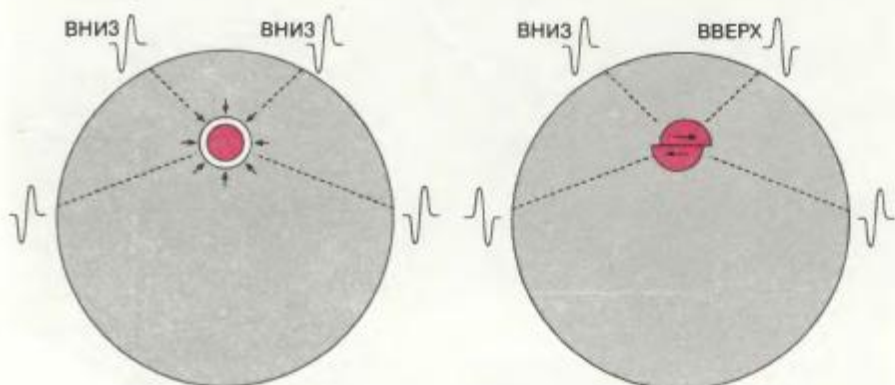
порождающего мелкофокусные землетрясения. Пусть даже материал, в котором возникают глубокие толчки, гораздо холоднее — и, следовательно, прочнее, — чем думал Джеффрис, все равно он не может разрушаться так, как породы при низких давлениях. Если бы напряжения привели к раскрытию трещины в погружившемся блоке плиты, вес вышележащей толщи пород должен был просто заставить ее снова закрыться. Если породы и могут деформироваться там, они должны испытывать пластические деформации. Возражение Джеффриса все еще остается в силе: обычные землетрясения, во время которых горные породы раскалываются и проскальзывают относительно друг друга, в мантии происходить не должны.

Проведенные недавно исследования сейсмограмм глубоких землетрясений поддерживают аргументы против общепринятого механизма. Почти все сильные неглубокие землетрясения сопровождаются многочисленными более слабыми толчками, называемыми афтершоками. Афтершоки часто возникают в той же самой плоскости, что и первоначальная подвижка, и, по-видимому, высвобождают остаточные напряжения, накопившиеся вдоль данного разрыва. При глубоких землетрясениях афтершоки наблюдаются гораздо реже. Глубокое землетрясение, происшедшее в 1970 г. под территорией Колумбии и остающееся, вероятно, сильнейшим из действительно глубоких толчков за последние 25 лет, вообще не имело афтершоков. Если глубокие землетрясения все же сопровождаются афтершоками, что чаще всего бывает при самых глубоких из таких землетрясений, то это всего-навсего один или несколько толчков.

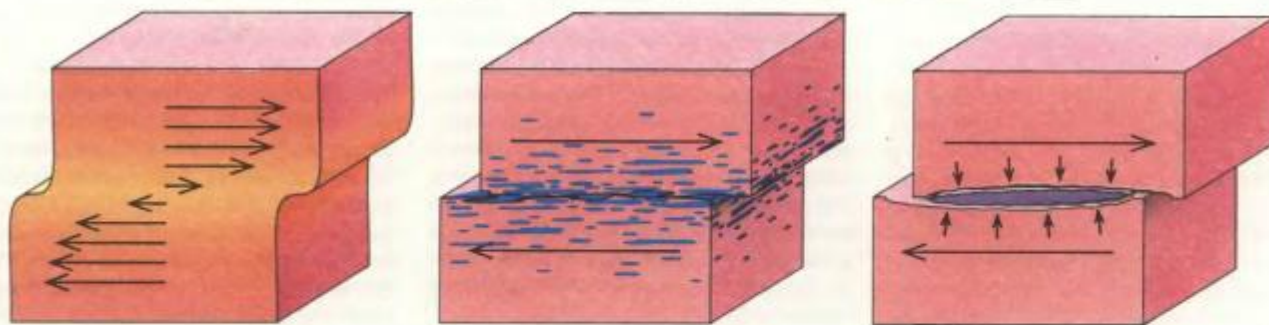
Пространственное распределение афтершоков в этих случаях заметно отличается от той картины, которая наблюдается при неглубоких землетрясениях. Недавно Р. Уиллеман, работавший в Лос-Аламосской национальной лаборатории, и я исследовали пространственные соотношения между первоначальными толчками и афтершоками глубоких землетрясений. При слабых мелкофокусных землетрясениях центр области афтершоков часто располагается сравнительно близко к очагу главного толчка. Это согласуется с идеей о том, что возникновение афтершоков свидетельствует о продолжающемся скольжении вдоль того же самого разрыва, который явился источником главного толчка. В то же время мы обнаружили, что после некоторых небольших глубоких землетрясений — с магнитудами 5,5 и меньше — афтершоки происходят на расстоянии 30 км



ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ в мантийных породах, играющие, вероятно, определенную роль в возбуждении глубоких землетрясений, можно воссоздать в аппарате с алмазными наковальнями, где образцы горных пород подвергаются сильному сжатию между двумя алмазами (слева). Благодаря прозрачности алмаза образцы можно нагревать с помощью луча лазера и фотографировать. В образце оливина (основного компонента материала мантии), который был сжат до 300 000 атм. и нагрет до 1500 °С, различные фазы образуют концентрические кольца (справа). Бледное внешнее кольцо неизмененного оливина переходит в желтоватую шпинель — такое фазовое превращение, как предполагают, происходит на глубине 400 км; в центре, где давление и температура особенно велики, располагается темная оксидная фаза, в которую, возможно, переходит шпинель на глубине 650 км. Снимок предоставлен У. Бассеттом из Корнеллского университета.



«ВЗРЫВ ВНУТРЬ» (имплозия), обусловленный внезапным переходом пород погружающегося литосферного блока в более плотную фазу, не может быть причиной глубоких землетрясений. Он проявлялся бы на записях сейсмографов всего мира как начальное движение вниз (слева). Вместо этого начальное движение, возбуждаемые глубокими землетрясениями, в некоторых точках оказываются направленными вверх, а в некоторых — вниз (справа); следовательно, их источником является движение типа сдвига в залегающих на большой глубине породах.



ТРИ МОДЕЛИ, объясняющие возможность возникновения землетрясений на очень больших глубинах, где вещество не может просто раскалываться. В одной из моделей принято, что тепло, выделяющееся вследствие трения при медленной деформации пород, возрастает, приводя к перегреву. Породы размягчаются и резко деформируются (слева). Вторая модель предполагает, что скольжение возникает под влиянием флюидов (в середине). Ниже некоторой глубины высокое давление может ослабить связь во-

ды с кристаллической структурой минералов, участвующих в субдукции; эта вода ослабляет силы, связывающие потенциальные трещины, делая возможным образование разрыва. Третья модель основана на предположении, что под действием сдвиговых напряжений может происходить фазовое изменение вещества в слое, параллельном напряжениям (справа). Из-за резкого изменения кристаллической структуры прочность породы уменьшается и в ней может произойти проскальзывание.

и более от первоначального толчка. Маловероятно, чтобы зона разрыва, ответственная за возникновение такого небольшого землетрясения, достигала в длину 30 км.

Кроме того, гипоцентры глубоких афтершоков не располагаются в одной плоскости, что характерно для мелкофокусных толчков. В отличие от этого, как можно предполагать, исходя из существующих данных, они более или менее случайно распределяются в пространстве, окружающем фокус первого толчка. Это также наводит на мысль о принципиальном различии механизмов глубоких и приповерхностных землетрясений.

ПОЧТИ сразу же после открытия глубоких землетрясений для их объяснения ученые пошли по одному привлекательному, но неверному пути. Предполагалось, что они являются прямым результатом превращения материала погружающегося в мантию блока в некоторую более плотную фазу. Если бы фазовые переходы в погружающихся на глубину породах происходили достаточно быстро, т. е. порода, по существу, «взрывалась внутрь» (процесс, называемый имплозией) при возрастании ее плотности, то при этом излучалась бы энергия в виде сейсмических волн.

На самом деле записи сейсмических волн от глубоких землетрясений по своему виду несколько не напоминают то, что должно наблюдаться в описанных выше условиях. В случае имплозии вещество перемещается внутрь, в направлении к фокусу. Поэтому можно ожидать, что во время толчка все сейсмографы (которые регистрируют как амплитуды сейсмических волн, так и их направления) от-

метят начальное смещение вниз. Кроме того, при имплозии частицы среды смещаются не в поперечном, а в радиальном направлении, поэтому должны генерироваться гораздо более интенсивные волны P -, а не S -типа.

В действительности первое движение при глубоких землетрясениях, так же как и при мелкофокусных, в одних районах направлено вниз, а в других — вверх. Движения вверх и движения вниз разделены, как будто бы одна часть Земли сдвинулась в одном направлении по плоскости скольжения, а другая часть — в противоположном направлении; точно такая же картина получается из наблюдения сейсмограмм приповерхностных толчков. Помимо этого, и при глубоких, и при мелкофокусных землетрясениях S -волны имеют гораздо большую интенсивность, чем P -волны, и это свидетельствует о том, что их источником является не имплозия, а движение типа сдвига.

Но как могут породы внезапно проскальзывать, если из-за колоссальных давлений, существующих в мантии, хрупкое разрушение там невозможно? В одной из моделей, предложенной в 60-х годах Д. Григгсом из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе и недавно детально разработанной М. Огавой из Токийского университета, постулируется нарастающая пластическая деформация с перегревом. Предполагается, что глубокое землетрясение происходит, когда в породе, деформирующейся под действием сдвиговых напряжений, тепло, образующееся в результате трения, начинает выделяться быстрее, чем оно может отводиться через окружающие породы. Это тепло размягчает и даже частично рас-

плавляет породу, ускоряя процесс деформирования. Такой механизм обратной связи мог бы вызвать взрывообразное увеличение и температуры, и скорости скольжения и привести к землетрясению.

Реальность подобного механизма землетрясений в большой степени зависит от состава и структуры пород в зоне Вадати — Беньоффа. Наиболее благоприятные для него условия создаются в том случае, если структура породы такова — например, в ней существует ослабленный слой, — что пластическое скольжение в ней концентрируется преимущественно вдоль плоскости. Однако вовсе не очевидно, что расслоение материала погружающегося блока имеет такую ориентацию, которая способствует развитию скольжения в направлениях, наиболее часто наблюдаемых при глубоких землетрясениях.

В ДРУГОЙ МОДЕЛИ скольжение в зонах глубоких землетрясений приписывается влиянию захваченных флюидов. Как показали лабораторные эксперименты, при давлениях, эквивалентных тем, которые имеются на небольших глубинах, флюиды, захваченные в поры породы, могут оказывать противодействие силам, связывающим потенциальную трещину, и поэтому разрыв может наступить при более низком сдвиговом напряжении. По крайней мере один такой случай наблюдался в Скалистых горах вблизи Денвера. Целая серия мелкофокусных землетрясений произошла там после закачки в землю жидких отходов, вероятно, понизивших давление окружающих пород в такой степени, что слои этих пород приобрели способность проскальзывать.

В 1966 г. Ч. Ралей и М. Патерсон из Австралийского национального университета высказали гипотезу о том, что в зонах глубоких землетрясений поровые флюиды могут создавать тот же эффект, в результате чего участвующий в субдукции материал может разрушаться подобно породам при более низких давлениях. Источником флюидов, по мнению Ралея и Патерсона, могла бы служить дегидратация минералов типа серпентина (богатого магнием силиката), входящих в состав материала погружающегося блока: вода, входящая в кристаллическую структуру минералов, выделяется при их нагреве окружающей мантией до температуры выше 500 °С. Ралей и Патерсон указывают и на другие возможные источники флюидов: это может быть вода, попавшая в осадки в глубоководных желобах и переносимая вниз вместе с корой, и частично расплавленные породы мантии.

Чтобы воздействовать на объемные свойства пород, такие как способность к образованию разрыва, флюиды должны иметь возможность просачиваться через них, однако мы не располагаем убедительными свидетельствами того, что мантийные породы достаточно пористы. Кроме того, дегидратация минералов, скорее всего, должна происходить при определенных температурах и давлениях, соответствующих определенным глубинам. Если поровые флюиды действительно «приводят в действие» глубокие землетрясения, то на таких глубинах и должна быть сосредоточена основная сейсмичность. Однако на самом деле частота землетрясений не очень сильно изменяется с глубиной.

Наблюдаемые изменения (спад сейсмической активности на глубине 400 км, где происходит переход оливины в структуру шпинели, и ее возобновление в более глубоких недрах) имеют, по-видимому, какую-то связь с глубинами фазовых превращений. С. Кёрби из Геологической службы США предложил механизм глубоких землетрясений, в котором главную роль играют фазовые переходы, но в отличие от более ранних гипотез сопровождаемые не имплозией, а скольжением. В качестве заменителя реальных мантийных пород Кёрби и его коллеги исследовали лед и тремолит (кальциево-магниевый силикат). Оба этих вещества переходят в более плотные фазы при давлениях, легко достижимых в лаборатории.

Когда исследователи сжимали каждый образец до давления, несколько меньшего того, при котором в нем обычно происходит фазовый переход, и создавали в нем сдвиговые напряжения, они видели, что фазовые

превращения начинали возникать вдоль тонкого слоя, ориентированного параллельно напряжениям. Резкая перестройка кристаллической структуры вдоль этого слоя, очевидно, снижает прочность материала, делая его способным к скольжению. Кёрби и его коллеги заметили, что в ходе этого процесса их образцы потрескивали и пощелкивали, иными словами, в них происходили лабораторные аналоги землетрясений.

Согласно гипотезе Кёрби, такие преждевременные фазовые изменения происходят под действием напряжений и в породах погружающегося в процессе субдукции блока, а возникающая в результате этого подвижка объясняет по крайней мере некоторые из землетрясений в зонах Вадати — Бенюффа. Эта гипотеза не противоречит тому факту, что глубокие землетрясения возникают в широком интервале глубин ниже 400-километровой границы: некоторые исследователи, в том числе У. Бассетт из Корнеллского университета, установили, что фазовые превращения в материале погружающегося блока могут происходить на самых разных глубинах в зависимости от его состава и скорости погружения блока. В то же время гипотеза Кёрби объясняет внезапное исчезновение глубоких землетрясений глубже 680 км: все известные фазовые переходы в мантии происходят до достижения породами этой глубины.

Никем еще не доказано, что сдвиговые напряжения оказывают на фазовые превращения вещества в реальной мантии такое же воздействие, как во льду и тремолите. Но даже если гипотеза Кёрби неверна, следует признать, что фазовые переходы могут играть определенную роль в возникновении глубоких землетрясений. Быть может, они просто создают напряженное состояние, которое резко снимается где-либо в другом месте в результате какого-то неизвестного способа разрушения.

Скоро мы сможем с большей уверенностью оценивать различные гипотезы. Для изучения механизмов глубоких землетрясений Р. Джинлоз и Ч. Мид из Калифорнийского университета в Беркли занимаются сейчас воссозданием в лаборатории условий, существующих в мантии. Необ-

ходимые давления получают при помощи пресса размером с кулак (называемого аппаратом с алмазными наковальнями), сдавливая микроскопический образец породы между кончиками двух алмазов. Образец можно нагревать, облучая его светом лазера, проходящим через одну из наковален, фазовые превращения и другие изменения в породе можно наблюдать через другой алмаз, тогда как акустические датчики обнаруживают любые происходящие в породе «землетрясения». Проведены лишь предварительные опыты, но их результаты позволяют предположить, что при высоких давлениях оливин может разрушаться, только если он содержит также и серпентин, — результат, свидетельствующий в пользу дегидратационного механизма Ралея и Патерсона.

ВАДАТИ И ДЖЕФФРИС, продемонстрировавшие — первый — реальность глубоких землетрясений, а второй — их «невозможность», — поставили задачу, над решением которой геофизики бьются еще и в настоящее время. (Сейчас, по прошествии более чем 60 лет оба этих ученых благополучно здравствуют.) В рамках теорий тектоники плит и мантийной конвекции, становлению которых помогло изучение глубоких землетрясений, возникли и новые загадки.

Первая касается прекращения землетрясений на глубине 680 км: фиксирует ли она нижнюю границу области конвекции в мантии или же изменение механических свойств мантии в условиях, когда конвекция продолжается и на больших глубинах? Другая загадка состоит в том, что иногда глубокие землетрясения происходят в районах, где, насколько мы знаем, отсутствуют зоны субдукции. Глубокие землетрясения в ряде таких районов — Румынии и Гиндукуше, — возможно, свидетельствуют о существовании в них древних зон субдукции, замаскированных более поздними тектоническими событиями. Подобное объяснение, однако, не очень подходит для сейсмических толчков, идущих иногда из глубин под Северной Африкой и Испанией. И тут возникает вопрос: каким образом глубокие землетрясения иногда происходят при полном отсутствии субдукции?

Наука и общество

Упреждающий удар

ОДНА из давних задач медицинских исследований — найти способ частично «выключать» иммун-

ный ответ так, чтобы остальная иммунная система не затрагивалась. В настоящее время пересадка органов и тканей сопровождается введением препаратов (например, циклоспори-

на А), подавляющих иммунную систему, чтобы предотвратить отторжение трансплантата. Однако принимать иммунодепрессанты оперированному обычно приходится всю жизнь, а поскольку угнетение иммунной системы такими препаратами общее, подавляется иммунный ответ не только на пересаженную чужеродную ткань, но и на инфекции. Возможно ли научить иммунную систему воспринимать трансплантат как «свое» и не реагировать на него точно так же, как она в норме не реагирует на собственные ткани организма? Этот путь испробован в клинических испытаниях и первые результаты обнадеживают.

Дж. Купик-Веглински и его коллеги в Медицинской школе Гарвардского университета и Больнице Brigham & Women в Бостоне использовали моноклональные антитела к мишеням, обнаруживающимся на ряде клеток иммунной системы, только когда они активированы чужеродным агентом. Эти клетки — Т-лимфоциты, играющие важнейшую роль в реакции отторжения трансплантата. Мишенями моноклональных антител на активированных Т-лимфоцитах являются рецепторы интерлейкина-2, стимулирующего их пролиферацию.

Этот подход подразумевает, что моноклональные антитела, блокируя рецепторы интерлейкина-2 на активированных Т-клетках, предотвратят их пролиферацию. А те Т-клетки, которые активно не участвуют в данном иммунном ответе, — т. е. те, которые не распознают трансплантат как чужеродный, — должны будут остаться незатронутыми, готовыми сослужить свою службу. По существу, такой подход имитирует процесс, путем которого иммунная система в некоторых случаях научается воспринимать трансплантат как «свое».

Описанный подход испытан на животных. У крыс, которым ввели антитела к рецепторам интерлейкина-2, трансплантат сердечной ткани не отторгался. В недавно проведенных экспериментах подтвердилось, что у таких животных активированные Т-лимфоциты не размножаются. При этом число Т-клеток, называемых супрессорами, которые подавляют иммунный ответ, возрастало. Кроме того, если вводить антитела к рецепторам интерлейкина-2 вместе с циклоспорином А, то его эффект, заключающийся в подавлении отторжения трансплантата, усиливается.

В 1986 г. Ж.-П. Суллилу и И. Жак из Национального института здоровья и медицинских исследований в Нанте (Франция) впервые применили этот подход в порядке эксперимента на людях. По их сообщению, после пересадки почки у пациентов, полу-

чавших антитела к рецепторам интерлейкина-2 наряду с иммунодепрессантами, отторжение трансплантата наблюдалось реже, чем у тех, кто принимал только иммунодепрессанты. По последним данным Купик-Веглински и его коллег, сочетание препаратов, подавляющих иммунный ответ, с антителами задерживает реакцию отторжения трансплантата и снижает частоту таких явлений.

С. Стробер и его коллеги в Медицинской школе Станфордского университета для избирательного воздействия на Т-клетки перед трансплантацией вместо обработки антителами применяли облучение. По их методу облучаются те участки организма, где находятся зрелые Т-лимфоциты (это главным образом лимфатические узлы), а костный мозг, в котором заключены стволовые клетки, постоянно восполняющие элементы иммунной системы, защищается. Цель процедуры в том, чтобы вывести из строя те Т-клетки, которые могут реагировать на трансплантат, но не разрушать иммунную систему. После того как трансплантат проживет в организме-хозяине несколько недель, иммунная система реципиента принимает его как «свое». Стробер заявил, что после такой подготовки к пересадке почки в трех случаях трансплантаты прижились надолго и не было нужды в иммунодепрессантах, а остальным пациентам требовались гораздо более низкие, чем обычно, дозы этих препаратов.

Судя по результатам другой работы, подавление специфического иммунного ответа может быть достигнуто при помощи генетической терапии. В 1987 г. появилось сообщение Дж. Мадсена, К. Вуд и их коллег из Больницы Джона Радклифа в Оксфорде о том, что у мышей при пересадке сердечной ткани можно вызвать специфическую толерантность к трансплантатам, если животным перед операцией ввести фибробласты (клетки соединительной ткани), предварительно изъятые у них и генетически модифицированные. Модификация состояла в том, что в геном клетки включали гены гистосовместимости донора. Гены гистосовместимости кодируют белки клеточной поверхности, служащие важными маркерами для иммунной системы при распознавании «своего» и «чужого». Мадсен и Вуд полагают, что, когда в организме реципиента присутствуют такие генетически модифицированные клетки, его иммунная система научается воспринимать новые белки гистосовместимости как «свое» и потому впоследствии не реагирует на эти же белки, находящиеся на клетках трансплантата.

Интересно, что один определенный донорский ген гистосовместимости способен сам по себе обеспечить задержку реакции отторжения трансплантата, даже если клетки пересаженной ткани несут другие белки гистосовместимости. Высказывалось предположение, что существует иерархия маркеров: при толерантности к одному «доминантному» маркеру имеет место толерантность и к ряду родственных белков той же клетки. Вуд с коллегами надеются идентифицировать доминантные маркеры клеток человека и в конце концов испытать метод на людях.

Вниманию читателей!

Журнал «ТИИЭР»

(перевод журнала
Proceedings of the IEEE)

готовится к печати
малый тематический выпуск

(ТИИЭР, т. 76, № 11, ноябрь
1988)

РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В МИКРОСХЕМАХ В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

В выпуск включены пять обзорных статей по следующим проблемам: особенности работы радиоэлектронной аппаратуры в космическом пространстве, основные физические эффекты воздействия космического излучения на материалы и устройства, проектирование и изготовление (в том числе на основе системного подхода) радиационно-стойких микросхем, методы испытаний полупроводниковых устройств, предназначенных для работы на космических аппаратах. Объем выпуска 19 авт. л.

Вне рамок малого тематического выпуска в номере публикуется обзор «ЕМКОСТЬ СЛОЕВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗАРЯДА В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СОЕДИНЕНИЯХ p-n-ТИПА»

Цена номера 3 р. 30 к.

Предварительные заказы можно направлять до 15 апреля 1989 г. по адресу: 129820, ГСП, Москва, И-110, 1-й Рижский пер., 2, издательство «Мир», редакция ТИИЭР.



Перемешивание жидкостей

Простое двумерное периодическое движение вязкой жидкости может стать хаотическим, что приведет к эффективному перемешиванию. Эксперименты и компьютерное моделирование проясняют механизм этого явления

ДЖУЛИО М. ОТТИНО

ЧТО ОБЩЕГО между катастрофическим извержением вулкана Кракатау, изготовлением слоеного теста и яркостью звезд? Везде в той или иной степени присутствует перемешивание. Интенсивное перемешивание магмы могло инициировать извержение Кракатау; разминание и вытягивание — операции, лежащие в основе любого перемешивания, — производятся при замесе слоеного теста, а перемешивание вещества внутри звезды определяет ее химический состав и яркость. Примеры перемешивания можно обнаружить буквально всюду во Вселенной. Временные и пространственные масштабы этих явлений меняются в огромных пределах. Газ, попадающий в атмосферу, смешивается с окружающим воздухом за считанные секунды, тогда как процессы перемешивания в мантии Земли длятся несколько сотен миллионов лет и даже больше.

Перемешивание имеет также решающее значение в современной технологии. Оно позволяет химикам контролировать химические реакции для производства полимерных материалов с уникальными свойствами и распределять добавки, уменьшающие вязкое трение в трубопроводах. Однако, несмотря на вездесущность как в природе, так и в производстве, процесс перемешивания до сих пор остается до конца не ясным. Исследователи в разных областях не могут пока даже установить общую терминологию для него и используют разные названия.

Несомненно одно — процесс перемешивания является чрезвычайно сложным и обнаруживается в самых разнообразных системах. При создании теории перемешивания приходится рассматривать, например, растворимые и частично растворимые, химически активные и инертные жидкости, медленные ламинарные потоки, а также быстрые турбулентные потоки. Поэтому неудивительно, что не существует единой теории, способной детально объяснить процесс перемешивания в жидкостях, и что прямыми

вычислениями невозможно охватить все важные аспекты этого явления.

Тем не менее определенная информация о процессе перемешивания может быть получена как с помощью физических экспериментов, так и с использованием компьютерного моделирования. В течение последних лет мои сотрудники и я пытались использовать оба подхода для изучения различных аспектов этого процесса, особенно перемешивания в медленных потоках и вязких, маслоподобных жидкостях.

Хорошим примером служит смешивание двух масляных красок. Буквально через несколько секунд получается красочная картина вытянутых и искривленных полос. (Иногда такой «мраморный» рисунок используют для украшения обложек и последних страниц книг.) Если же их целенаправленно не перемешивать, то между узорами из полос могут остаться несмешанные «островки» чистых красок. При перемешивании вязких жидкостей могут получаться не только необычно сложные, но и в некоторой степени регулярные и когерентные структуры.

Вместе со студентами Массачусетского университета в Амхерсте мы проводили исследования для выяснения характеристик потоков, в которых возникают подобные структуры. Они включали эксперименты и компьютерное моделирование процессов, напоминающих перемешивание двух красок. В некоторых экспериментах в бесцветный глицерин, находящийся в глубокой полости, вводились капли окрашенного глицерина. Когда стенки полости приводились в периодическое движение, в такой вязкой жидкости возникали сдвиговые силы, которые могли весьма причудливым образом вытягивать и изгибать окрашенную каплю. Довольно скоро внутри полости появлялась сложная картина складок, которые в свою очередь образуют складки. Однако такая же капля в точно такой же прямоугольной полости могла почти не испытывать вытягивания, а лишь смещаться

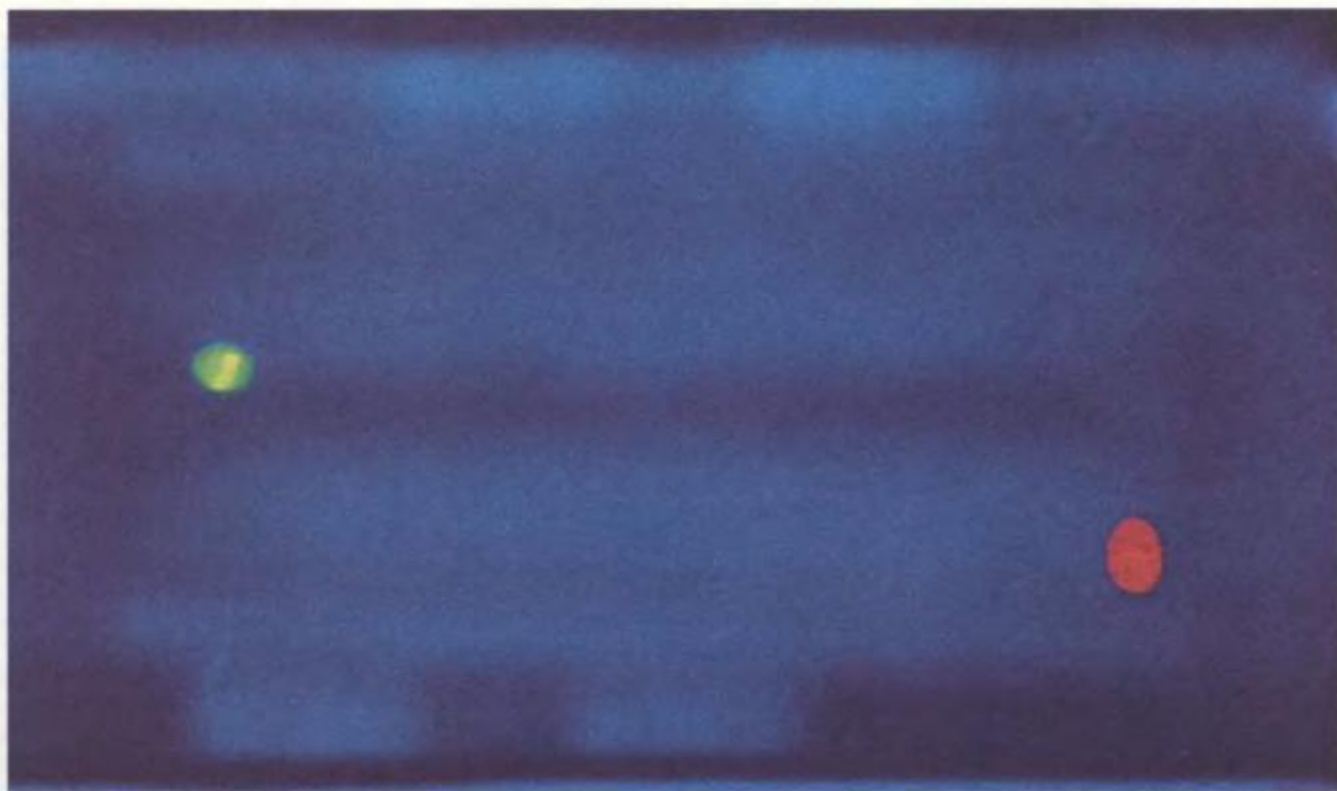
и поворачиваться, но при этом периодически возвращаться в первоначальное положение. В чем причина такого разного поведения?

Основы механики жидкостей

Ключом к пониманию основных аспектов смешивания является концепция «движения» — идея, восходящая к XVIII в. и связанная с именем известного математика Леонарда Эйлера. «Движение» жидкости описывается математическим выражением, показывающим, в какой точке пространства будет находиться каждый элемент жидкости в любой момент времени в будущем. Если «движение» для данного потока известно, то в принципе можно узнать почти все и о перемешивании, которое этот поток может произвести. Например, можно вычислить силы и полную энергию, необходимую для достижения нужной степени перемешивания в системе.

В прошлом веке такой подход сменился описанием через поле скоростей жидкости, когда задается выражение для скорости в каждой точке потока в любой момент времени. Однако, зная «движение», можно легко вычислить поле скоростей, тогда как знание поля скоростей не позволяет явно вычислить «движение». Поскольку описание потока через «движение» жидкости является более фундаментальным, мои сотрудники и я предпочитаем работать, придерживаясь этой концепции, хотя многие могут считать ее устаревшей.

В основе описания через «движение» лежит так называемое точечное преобразование — математическая операция, переводящая каждую данную частицу жидкости в определенную точку пространства в некоторый момент времени в будущем. Таким образом, с помощью этого преобразования каждая частица переводится в новое положение. Частицы, первоначально находящиеся в разных точках, никогда не могут одновременно занимать одно и то же положение, и одна части-



ХАОТИЧЕСКИЙ И НЕХАОТИЧЕСКИЙ потоки. Снимки получены К. Ленгом и автором статьи в Массачусетском университете в Амхерсте. Полость прямоугольной формы заполнена глицерином, непосредственно под поверхность которого были введены две пробные капли, флуоресцирующие красным и зеленым светом (*вверху*). Каждая стенка полости может независимо от других перемещаться параллельно самой себе. В этом эксперименте верхняя и нижняя стенки совершали периодическое прерывистое движение.

Верхняя стенка в течение некоторого времени двигалась слева направо и затем останавливалась. В этот момент нижняя стенка начинала двигаться с той же скоростью справа налево и двигалась столько же времени, сколько верхняя, завершая один период. После 10 периодов (*внизу*) красная капля вытянулась и многократно изогнулась, образовав складки: она попала в область хаотического перемешивания. Зеленая капля лишь несколько вытянулась — это «остров» нехаотического перемешивания.

ца никогда не может одновременно занять два положения (раздвоиться). Хотя теоретически такие точечные преобразования существуют для любых перемешивающих потоков, явно найти их можно только для простейших систем. Поэтому многое из того, что известно о перемешивании, ограничено случаями весьма простых потоков, таких как прямолинейные потоки, в которых след пробной частицы остается прямым. Потоки такого типа не могут приводить к процессам, обеспечивающим эффективное перемешивание, поскольку оно обусловлено именно криволинейностью траекторий частиц жидкости. Чтобы получить представление об этих процессах, необходимо рассмотреть стационарные двумерные потоки.

Двумерные потоки

Все двумерные потоки построены из одинаковых «блоков», связанных с гиперболическими (седловыми) и эллиптическими точками (см. рисунок на с. 39). К гиперболической точке жидкость движется в одном направлении, от нее — в другом, а эллипти-

ческую точку жидкость обтекает. (Следует упомянуть также точки третьего типа, которые называют параболическими. В этих точках происходит сдвиговое, или тангенциальное, течение, подобное, например, течению жидкости вдоль твердой стенки. При описании механизма перемешивания в двумерных потоках параболическими точками можно пренебречь.) Как можно было ожидать, перемешивание в стационарном двумерном потоке менее эффективно по сравнению с перемешиванием в трехмерных потоках, особенно если последние нестационарны во времени. Действительно, в стационарном ограниченном двумерном потоке есть только две возможности: частицы жидкости либо периодически проходят один и тот же путь, называемый линией тока, либо не двигаются совсем.

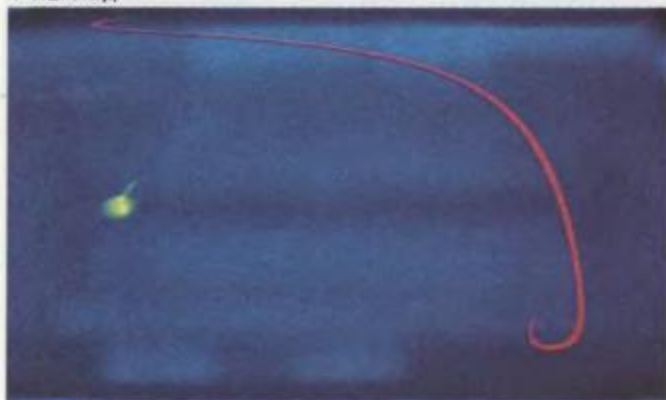
Поскольку в стационарном потоке линии тока фиксированы и траектории частиц жидкости никогда не пересекаются, они не могут войти в контакт друг с другом, т. е. перемешаться. Существует ли какой-нибудь способ избежать ограничений, связанных с необходимостью двигаться периодически по одному и тому же пути

вдоль линии тока? Такой способ есть. Для этого надо заставить поток меняться со временем так, чтобы линии тока, соответствующие картинкам течения в разные моменты времени, пересекались.

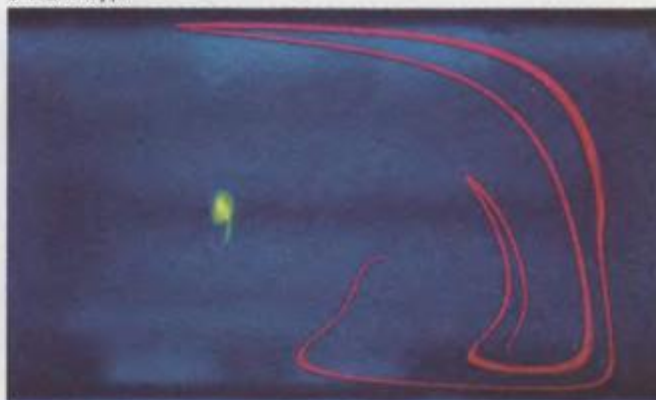
Наиболее просто этого можно добиться (и произвести теоретический анализ), если поток будет периодически меняться во времени. Чтобы такой поток приводил к эффективному перемешиванию, необходимы периодически повторяющиеся вытягивания и изгибы участков жидкости и возврат их в первоначальное положение. Процедура вытягивания и образования складок соответствует так называемой подковообразной структуре, описанной С. Смейлом из Калифорнийского университета в Беркли.

То, что для достижения более эффективного перемешивания материала необходимо часть его возвращать в первоначальное положение, противоречит обычным представлениям. Тем не менее, если смешивание проводится в ограниченной системе, альтернативы не существует. Если, например, периодически пускать стрелы в цель, со временем какая-нибудь из них случайно попадает очень близко к дру-

1 ПЕРИОД



3 ПЕРИОДА



8¼ ПЕРИОДА



8½ ПЕРИОДА



ВЫТЯГИВАНИЕ И ОБРАЗОВАНИЕ СКЛАДОК при хаотическом перемешивании. Наблюдение ведется с помощью последовательного фотографирования изменений формы пробной капли красного цвета. Условия эксперимента те же, что в опытах, показанных на с. 35. Вытянуто-склад-

чатая структура отчетливо видна уже после трех периодов движения. Зеленый «остров», указывающий на область в основном нехаотического перемешивания, и складки, соответствующие участкам хаотического перемешивания, движутся относительно стенок полости, возвращаясь в

гой — просто по той причине, что площадь мишени ограничена. Точно так же при многократном повторении вытягиваний и изгибов участков жидкости в замкнутой полости некоторые частицы в определенный момент времени обязательно окажутся сколь угодно близко к своему первоначальному положению.

Если через некоторое время в периодически меняющемся потоке частица возвращается точно в свое первоначальное положение, то она определяет так называемую периодическую точку. В зависимости от числа периодов, необходимых для возврата частицы в первоначальное положение, эти точки называют периодическими с периодом один, два и т. д. Их можно классифицировать так же, как эллиптические и гиперболические в зависимости от направления потока в непосредственной близости от них.

Поскольку эллиптическая периодическая точка циклически движется по замкнутой траектории, частицы жидкости вблизи этой точки не только циркулируют вокруг нее (как это было бы в случае неподвижной эллиптической точки), но и перемещаются вместе с ней. Однако, несмотря на то,

что в этой области частицы жидкости совершают вращательное и поступательное движения, перемещения вещества в остальную часть жидкости не происходит. Такие области видны как «островки»; перемешивание в них идет медленно. Поскольку вещество не может ни войти, ни покинуть окрестность эллиптической периодической точки, такие точки представляют собой препятствия для эффективного перемешивания.

Подобным образом при циклическом движении гиперболической периодической точки окружающее ее вещество, движущееся вместе с этой точкой, испытывает сокращение в одном направлении и вытягивание в другом. При этом точка как бы выталкивает наружу вытянутые участки в одном направлении и втягивает вещество с другого направления. (Если считать жидкость несжимаемой, вытягивания и сокращения должны компенсировать друг друга.)

Следы хаоса

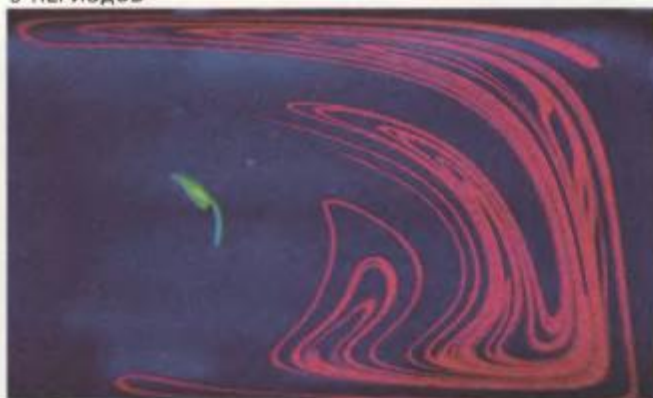
Куда уходит вещество от гиперболической периодической точки? Откуда оно приходит? Одна из возможно-

стей состоит в том, что втекающий поток непрерывно переходит в вытекающий, т. е. материал, вышедший из гиперболической точки, приходит обратно к ней или к другой гиперболической точке. Именно такой механизм осуществляется в стационарных потоках (когда гиперболические точки фиксированы и не являются периодическими), поэтому эффективного вытягивания и образования складок не происходит.

Нестационарные двумерные потоки могут приводить к эффективному перемешиванию, поскольку в этом случае отток, связанный с одной гиперболической периодической точкой, может пересекать область вытекающего потока этой же или какой-либо другой гиперболической точки. Точку, в которой пересекаются втекающий и вытекающие потоки, связанные с одной гиперболической точкой, называют трансверсальной гомоклинической точкой. Если эти пересекающиеся потоки связаны с двумя разными гиперболическими точками, то точку пересечения потоков называют трансверсальной гетероклинической точкой.

Гомоклинические и гетероклинические пересечения — характерные следы хаоса

5 ПЕРИОДОВ



8 ПЕРИОДОВ



8 1/2 ПЕРИОДА

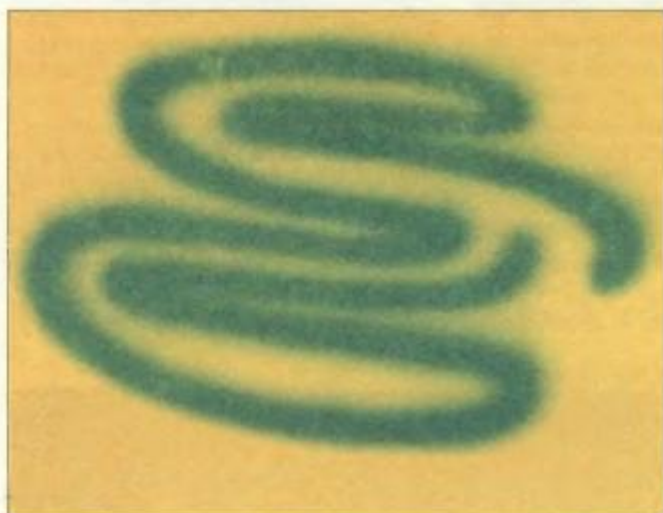
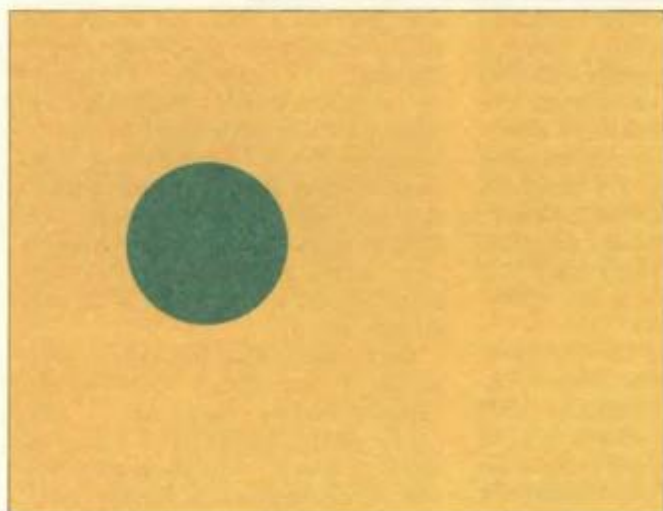


9 ПЕРИОДОВ



первоначальное положение (в некоторой степени деформированными) после каждого периода. Небольшой отросток, образовавшийся у зеленой капли, показывает, что она совершает сложное вращение. Если провести эксперимент в обратном порядке, то зеленая капля практически

восстановит форму и возвратится в начальное положение, поскольку ошибка в описании ее движения при обратном прохождении увеличивается линейно. Обратное восстановление красной капли совершенно невозможно, поскольку в этом случае ошибка растет экспоненциально.



ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ЖИДКОСТЕЙ в природных явлениях и производственных процессах происходит как в результате вытягивания и образования складок, так и под влиянием диффузии и разрушения капель. Только в идеальном случае окрашенная капля (*слева сверху*) может бесконечно вытягиваться и складываться, не испытывая разрывов и не диффундируя в соседние области (*вверху справа*). Интересно, что в такой гипотетической ситуации для достижения эффективного перемешивания часть такой проб-

ной капли должна вернуться в исходное положение. Процессы молекулярной диффузии (без которых невозможно эффективное перемешивание) обычно приводят к размыванию границ между двумя растворимыми жидкостями (*слева внизу*). В случае нерастворимых жидкостей пробная капля может разрушиться на множество брызг, которые затем сливаются в капли меньшего размера, чем исходная (*справа внизу*).

са. С математической точки зрения система, в которой могут возникать подковообразные структуры или трансверсальные гомо- или гетероклинные пересечения, может считаться хаотической. Оказывается, что в потоке, описываемом подковообразной структурой, обязательно должны присутствовать трансверсальные гомоклинные точки; точно так же наличие хотя бы одной такой точки означает, что поток описывается подковообразной структурой.

Оказывается, даже единственное пересечение втекающего и вытекающего потоков с неизбежностью приводит к появлению трансверсальных гомоклинных точек и что подобные пересечения могут возникать даже в таких «хороших» системах, как систе-

мы, описываемые законами движения Ньютона. Этот факт впервые был открыт в XIX в. французским математиком Анри Пуанкаре. Однако сложность анализа течения жидкости при наличии такого пересечения (подобное состояние системы сейчас называют хаосом) поразила Пуанкаре, и он решил больше не заниматься этой проблемой.

Если перемешивание может быть представлено детерминированным точечным преобразованием, оно должно быть кинематически обратимым. Иными словами, совершив все движения в обратном порядке, можно было бы разделить смешанные жидкости (если пренебречь молекулярной диффузией). Однако повседневный опыт показывает, что сме-

шивание необратимо. Даже если теоретически система детерминирована, движения, приводящие к повторяющимся вытягиваниям и образованию складок, не могут быть обращены во времени.

Подобная ситуация встречается и в других физических системах. Примером может служить изученная Пуанкаре система, состоящая из большого числа частиц, относительное движение которых описывается детерминированными уравнениями (так называемыми гамильтоновыми уравнениями). Выдающийся американский физик XIX в. Дж. Уиллард Гиббс пришел к выводу, что даже гамильтоновым системам присущи необратимость и непредсказуемость. Показательно в этом отношении, что для ил-

люстрации необратимости им был предложен гипотетический эксперимент, в котором рассматривалось перемешивание. По-видимому, вывод Гиббса оставался незамеченным до тех пор, пока в 1955 г. в одном из журналов не была опубликована статья шведского океанолога П. Велландера.

Хаос в потоках жидкости

Значение вытягивания и изгиба в процессе перемешивания стало понятно специалистам по химической технологии еще в 50-х годах, после того как была опубликована первая работа на эту тему Р. Спенсера и Р. Уайли из Dow Chemical Company и У. Мора с сотрудниками из E.I. du Pont de Nemours & Company, Inc. Результат этой работы — доказательство существования подковоидных контурных диаграмм и гомоклиных и гетероклиных точек — оставался не оцененным в полной мере до недавнего времени.

Первым, кто указал на прямую связь между хаосом и потоками жидкости, был советский математик В.И. Арнольд. В 1965 г. Арнольд предположил, что в жидкостно-механических системах траектории частиц могут быть хаотическими. Французский астроном из Обсерватории в Ницце М. Эно развил идею Арнольда и в статье объемом всего три страницы с одним рисунком смог показать, что стационарный трехмерный поток жидкости, не обладающей вязкостью, может сформировать хаотические линии тока.

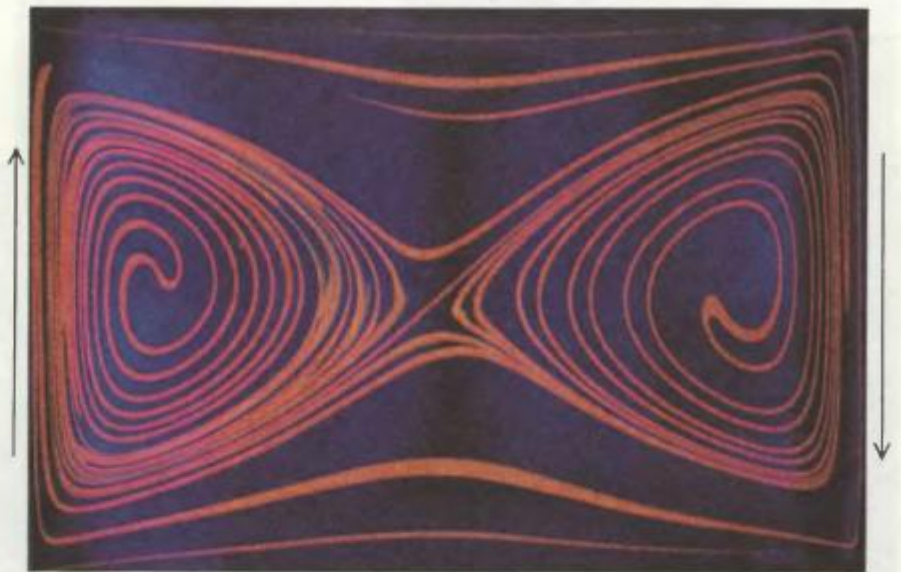
В 1984 г. Х. Ареф из Университета Брауна обнаружил, что уравнения, описывающие траектории частиц жидкости в двумерном потоке, формально идентичны уравнениям, описывающим гамильтоновы системы. Развивая это наблюдение путем компьютерного моделирования, он доказал, что в гамильтоновой системе под действием периодически меняющихся сил может происходить эффективное перемешивание.

Если в трехмерном случае прямой связи между перемешиванием и гамильтоновой системой не существует, для двумерных систем эта связь однозначна: перемешивание жидкости можно рассматривать как наглядное проявление хаотического поведения гамильтоновой системы. Работа Арефа и простота лабораторного изучения двумерных систем по сравнению с трехмерными вдохновили меня на эксперименты по наблюдению признаков хаоса. Мы использовали специальный прибор для изучения потоков в замкнутой полости, который был сконструирован в 1983 г. совместно с моими студентами в Амхерсте.

Фотографирование

Студенту-дипломнику К. Ленгу и мне удалось определить приблизительное расположение нескольких периодических точек и крупномасштабных структур в двумерном потоке с помощью фиксирования стробоско-

пических изображений исследуемой системы. (Поскольку нас интересовало быстрое перемешивание, основное внимание уделялось поведению периодических точек низкого порядка, т. е. с периодом один, два, три; точки более высокого порядка участвуют в процессе намного реже.) В типичном



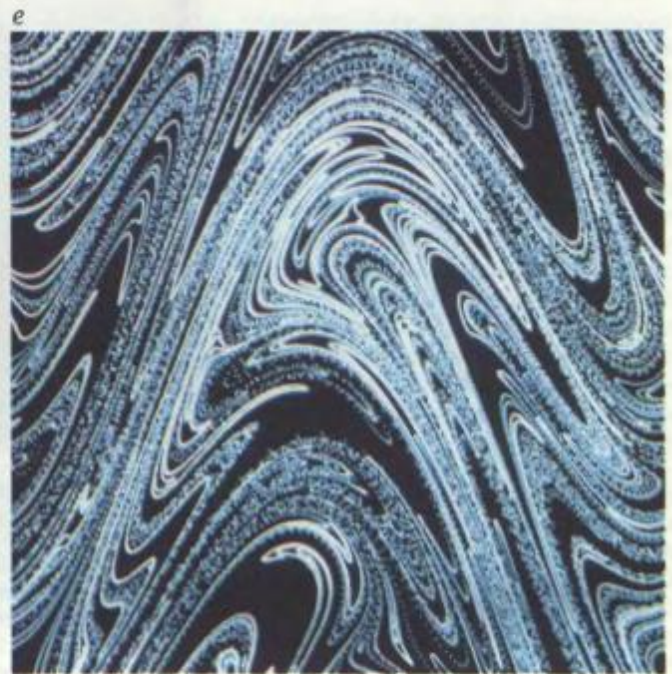
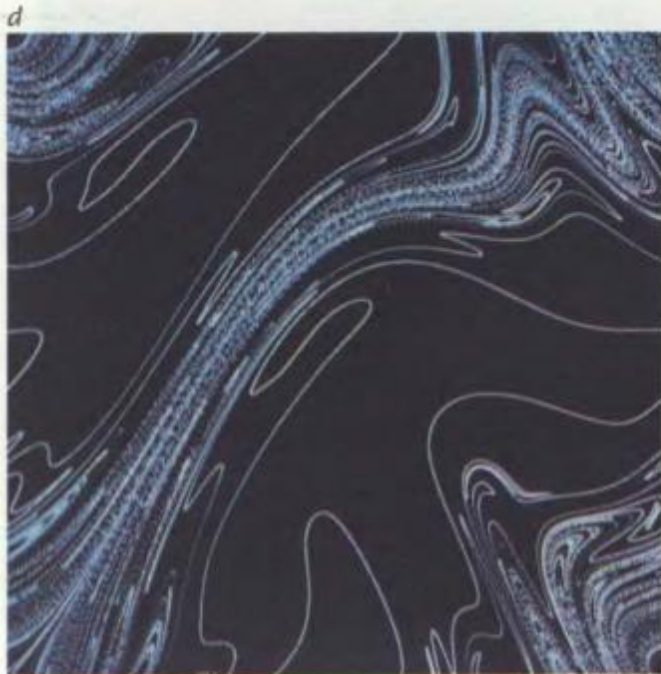
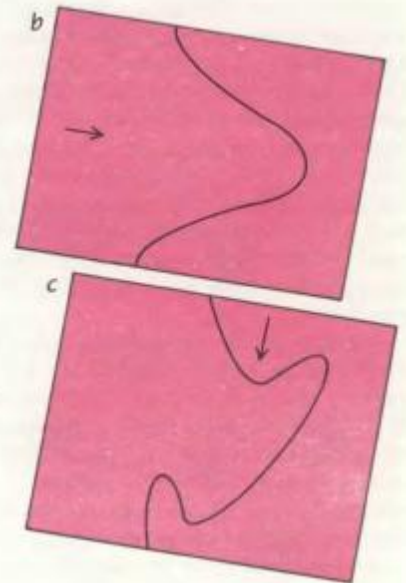
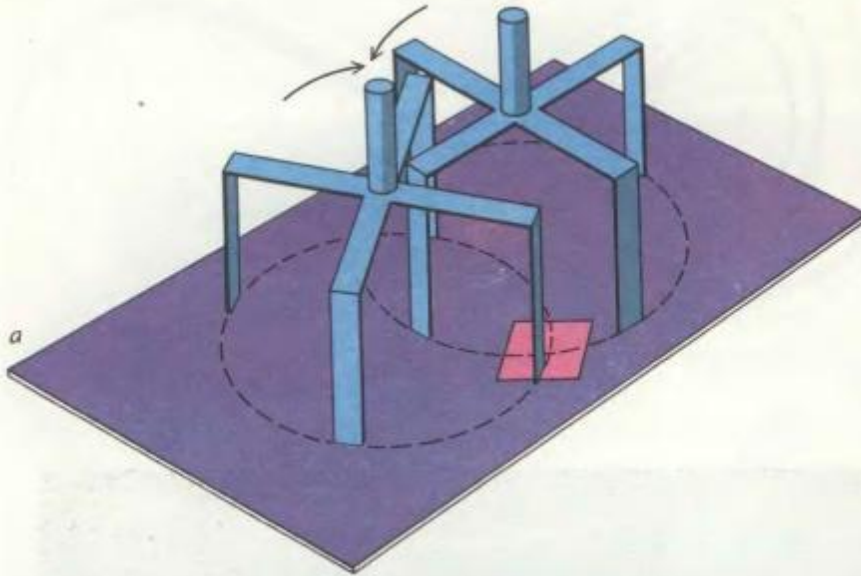
ЭЛЛИПТИЧЕСКИЕ И ГИПЕРБОЛИЧЕСКИЕ ТОЧКИ типичны для медленных двумерных потоков. Такой поток показан на снимке внизу, сделанном Ленгом и автором статьи. Поток глицерина в прямоугольной полости инициировался движением двух ее боковых стенок в противоположных направлениях с постоянной скоростью. Оранжевые полосы пробной жидкости (располагавшейся в начальный момент времени по диагонали от нижнего левого угла до верхнего правого угла полости) почти соответствуют линиям тока, т. е. линиям, по которым движутся частицы жидкости в стационарном потоке. На фотографии потока видны три фиксированные точки: центральная гиперболическая и две эллиптические по обе стороны от нее. Вокруг каждой эллиптической точки (вверху) образуются водовороты, вращающиеся по часовой стрелке. При движении вокруг этих точек длина оранжевой полосы растет пропорционально времени. К гиперболической точке жидкость течет в одном направлении, а от нее — в другом. Поскольку жидкость не может пересекать линии тока, подобные стационарные потоки неэффективны для перемешивания. Однако, если поток изменять во времени, оранжевый след пробной жидкости не будет успевать подстраиваться за меняющимися линиями тока, и на нем быстро образуются складки при изменении направления потока.

эксперименте пробные капли флуоресцирующего красителя вводились в определенные места прямоугольной полости, которая освещалась ультрафиолетовым излучением; стенки полости приводились в заданное движение и затем положения капель и искажение их формы фотографировались через равные промежутки времени. Если перемешивание шло эффективно, то окрашенные частицы распространялись по большому участку системы, если нет — краситель переходил

из капли в остальную часть системы медленно или сами пробные капли оставались вблизи эллиптических периодических точек.

В другой серии экспериментов, которые мы выполнили со студентом-дипломником П. Свенсоном, основное внимание было сконцентрировано на потоках, для которых существуют точные аналитические решения уравнений движения жидкости. Это давало наилучшую возможность сравнить экспериментальные резуль-

таты с предсказаниями теории. К сожалению, число систем, для которых получены точные аналитические решения, довольно невелико, и многие из них настолько сильно идеализированы, что воспроизвести их в условиях лабораторного эксперимента невозможно. Одна из систем, допускающая точное решение и пригодная для эксперимента, представляет собой поток между двумя вращающимися эксцентрическими цилиндрами. Такая система исследовалась также



МОДЕЛЬ МИКСЕРА, разработанная Дж. Франьоном и автором статьи, иллюстрирует основной процесс перемешивания — вытягивание и образование складок (а). Линия, нарисованная на плоской ячейке жидкости, вытягивается и изгибается, образуя складки, когда нож миксера пересекает ее сначала в направлении перпендикулярном ей (b), а затем — параллельном ей (c). Линия вытягивается не разрываясь. Любой ее участок, покидающий ячейку, возвра-

щается с противоположной стороны. Перемешивание в такой системе может быть смоделировано на компьютере. Внизу показаны компьютерные изображения линии, состоящей из 100 000 точек после 16 циклов перемешивания в разных условиях. Перемешивание может быть ограничено отдельными участками ячейки (d) или может охватить всю ячейку (e) в зависимости от того, насколько «энергично» оно проводилось.

Арефом (сейчас он работает в Калифорнийском университете в Сан-Диего) и М. Тейбором и Р. Шевре из Колумбийского университета.

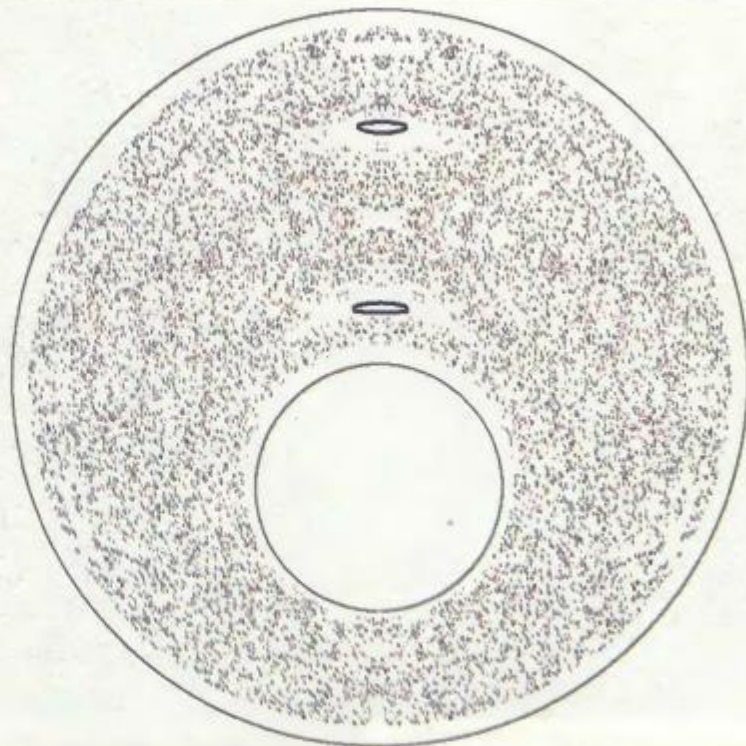
Многочисленные эксперименты с двумерными хаотическими потоками показали, что крупномасштабные структуры в перемешиваемой жидкости (такие как положения и формы «островов» и крупных складок) хорошо воспроизводимы; более мелкие детали этой вытянуто-складчатой структуры невоспроизводимы. Причина заключается в том, что небольшой разброс начальных положений окрашенных капель быстро растет на хаотических участках потока. Так и должно быть: точное воспроизведение рассматриваемого процесса перемешивания невозможно. В конце концов перемешивание приводит к полной хаотичности. Именно это и достигается с помощью процедуры вытягивания и образования складок, которая применялась в наших экспериментах.

Интересно также, как в таком потоке могут сосуществовать хаос и симметрия, связанная с периодическими точками. Систематически исключая симметрию из хаотического потока, нам удалось повысить эффективность перемешивания.

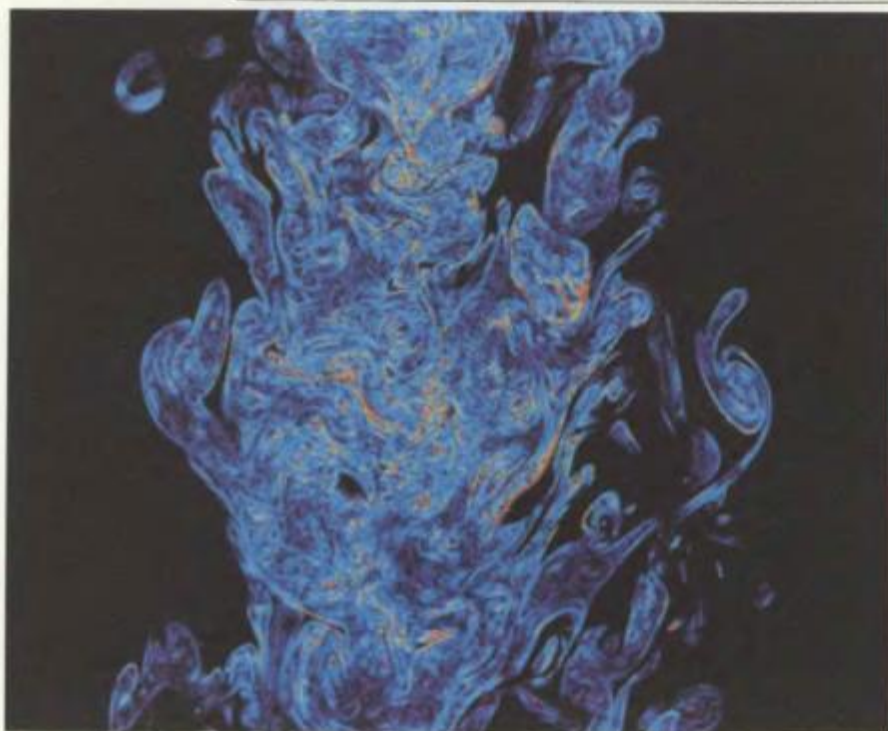
Сравнение результатов экспериментов и компьютерного моделирования

Достаточно простую экспериментальную систему (для которой можно вычислить поле скоростей) легко смоделировать на компьютере. Типичная программа заключается в том, что некоторое число пробных точек помещают в моделируемое поле скоростей. Вычисленные положения точек после около 1000 периодов дают хорошую общую картину поведения системы по истечении длительного времени. Изображение, полученное в результате такого моделирования, называют сечением Пуанкаре. Если сечение Пуанкаре выглядит достаточно сложно, его считают доказательством наступления хаоса (см. верхний рисунок справа). Компьютерное моделирование процесса перемешивания обнаруживает также черты необратимости, но в этом случае невоспроизводимость обусловлена экспоненциальным ростом ошибки, вносимой компьютером, поскольку он может обрабатывать числа только с конечным количеством знаков.

Если возможно компьютерное моделирование перемешивания, то зачем утруждать себя физическими экспериментами? Не следует забывать



ВЯЗКИЙ ПОТОК в подшипнике скольжения, т. е. поток в зазоре между двумя вращающимися эксцентрическими цилиндрами тоже может быть смоделирован на компьютере. При периодическом вращении цилиндров в противоположных направлениях поток жидкости приводит к хаотическому перемешиванию. Это видно на сечении Пуанкаре для системы после 1000 периодов (*вверху*) и по картине растяжений после 10 периодов (*внизу*). Сечение Пуанкаре получено путем введения нескольких окрашенных «частиц» в моделируемый поток перемешиваемой жидкости. После каждого периода частицы переводились в новое, вычисленное на компьютере положение. На картине растяжений видны белые области — это участки жидкости, вытянутые моделируемым потоком. Цветные области — участки, где растяжение незначительно. Приведенная картина растяжений очень похожа на структуру, создаваемую реальным потоком (см. рисунок на обложке журнала). Снимки сделаны П. Свэнсоном и автором статьи в Амхерсте.



ТУРБУЛЕНТНЫЙ ПОТОК создает структуры, полностью отличающиеся от структур, создаваемых медленными вязкими потоками. Изображение, полученное К. Шринивасаном из Йельского университета, представляет собой компьютерную реконструкцию фотографии струи воды, впрыснутой через круглое сопло в неподвижную воду. Во впрыскиваемой воде была растворена флуоресцентная краска, и фотографирование проводилось при освещении лазерным лучом, направленным вдоль оси сопла. Интенсивность флуоресценции пропорциональна градиенту концентрации красителя в воде. При компьютерной реконструкции она была закодирована в цвете, который в зависимости от градиента концентрации меняется от темно-синего до красного. Такой турбулентный поток представляет собой наложение фрактальных структур и нескольких вихрей.

основное: при компьютерном моделировании этого процесса разрешение по скорости должно быть намного выше, чем при моделировании многих других задач гидродинамики. Даже весьма простые поля скоростей способны создать чрезвычайно сложные структуры (см. рисунки на с. 36 и 37); в некоторых задачах о перемешивании желательно, чтобы выявлялись самые тонкие детали образующейся структуры.

Например, при моделировании потока в прямоугольной полости поле скоростей, вычисленное обычным образом, может оказаться слишком неточным для выявления деталей вытянуто-складчатой структуры. Оно оказывается практически бесполезным для точного нахождения координат периодических точек, определяющих сложное поведение хаотических потоков. Кроме того, если для большинства задач гидродинамики вычисление поля скоростей служит конечной целью, в задаче о перемешивании — это только начальная стадия.

По этой причине исследование процесса перемешивания проводилось в основном на весьма схематичных по-

токах (описываемых уравнениями, которые в некоторых случаях могут быть решены точно), а не на более близких к реальности системах, для которых может быть получено лишь приближительное решение. Действительно, численные методы, с помощью которых получают приближительные решения гидродинамических уравнений, часто служат источником ложных эффектов, отсутствующих в реальной задаче о перемешивании жидкостей.

Даже компьютерное моделирование простых потоков, которые мы проводили, часто приводило к непреодолимым трудностям. Компьютер представляет жидкость как совокупность дискретных элементов. При этом окрашенная капля может состоять из сотен тысяч элементов, и число операций, выполняемых компьютером в процессе слежения за ее хаотическим поведением при перемешивании, может быть огромным.

Чтобы проследить за поведением всех полос в областях хаотического перемешивания даже в случае простого примера (показанного на с. 36, 37), потребовалось бы 300 лет машинного

времени на компьютере с быстродействием миллион операций в секунду в режиме с плавающей точкой. Несомненно, можно оспаривать необходимость детального слежения за отдельными элементами структуры, считая более оправданным рассматривать структуру статистически. Но не будет ли это означать признание поражения? Если поле скоростей (или «движение») точно известно, то зачем обращаться к статистическим методам?

Таким образом, новые теоретические исследования нуждаются в объединении с хорошо поставленными экспериментами, поскольку, вероятнее всего, прямые вычисления не могут дать ответ на многие вопросы, касающиеся хаотических потоков. Например, каким образом должны двигаться стенки полости с жидкостью для того, чтобы размеры «островов» (включая и вновь образующиеся) стали меньше некоторой заданной величины? Ответ на этот вопрос позволил бы в будущем создать весьма тонкую систему, которая могла бы анализировать структуру смешивающейся жидкости, обнаруживать «острова» и менять поток так, чтобы они смешивались с остальной жидкостью.

Ограничения и трудности

Однако до создания такой тонкой системы предстоит еще многое узнать о свойствах реальных потоков. Хотя описанные выше эксперименты и компьютерное моделирование дают представление об общих свойствах процесса перемешивания (таких как экспоненциальный рост площади контакта двух жидкостей), они представляют собой примеры лишь идеальных систем. Рассмотренные здесь потоки, например, не обладают инерцией. Иными словами, поток останавливается сразу же, как перестают двигаться стенки полости. В результате в таком потоке не происходят характерные процессы, наблюдаемые при турбулентном течении.

В наших экспериментах число Рейнольдса (отношение инерционных и вязкостных сил) было мало. Потоки, характеризуемые малыми числами Рейнольдса (так называемые ламинарные потоки), упорядочены, тогда как при больших числах Рейнольдса образуется сложное нестационарное поле скоростей, приводящее к быстрому перемешиванию. В любом фиксированном месте нашей экспериментальной камеры наблюдатель скорее увидел бы одно и то же периодически повторяющееся поле скоростей вместо непериодического и непредсказуемого распределения скоростей, которое порождается турбулентным по-

током. Однако именно турбулентность делает перемешивание сливок в кофе с помощью ложки (система с относительно большим числом Рейнольдса) более легким, чем смешивание двух красок шпателем (система с малым числом Рейнольдса).

Хотя я намеренно не рассматривал в этой статье наиболее эффективные для перемешивания потоки (турбулентные), есть основания полагать, что некоторые из представленных здесь идей были бы полезны при их изу-

чении. Например, несколько разлив подход к двумерным хаотическим потокам, можно получить неперiodическое изменение скорости в фиксированной точке. Однако очевидно, что много предстоит еще сделать, чтобы турбулентные потоки были бы изучены в такой же степени, как ламинарные.

Для упрощения предполагалось также, что диффузия незначительна при перемешивании. В действительности это не так. Учесть влияние диффузии на процесс перемешивания

можно, если использовать простую модель, в которой предполагается, что скорость диффузии между соседними слоями двух перемешиваемых материалов определяется тем, насколько быстро эти слои «сжимаются» и становятся тоньше, что в свою очередь зависит от величины компоненты скорости, перпендикулярной им. В этом случае перемешивание приводит к двум эффектам, ускоряющим диффузию: оно увеличивает площадь контакта жидкостей, одновременно уменьшая расстояние, на которое должно продиффундировать вещество, и дополнительно увеличивает градиенты концентрации. Эту модель можно развить и использовать при изучении влияния перемешивания на такие химические реакции, как реакции горения.

Еще один распространенный процесс, который для упрощения здесь не рассматривался, — диспергирование капель нерастворимой жидкости, явление, действительно, очень сложное. Существуют два предельных случая: слабвязкая жидкость диспергирована внутри очень вязкой, и наоборот — очень вязкая диспергирована в жидкости с малой вязкостью. Оба случая трудно анализировать, но по разным причинам. В первом случае все сдвиговые нагрузки приходятся на слабвязкую компоненту, поскольку она не может передавать сдвиговые напряжения на капли очень вязкой жидкости. Действительно, в таком потоке сдвиговые силы не могут разбивать капли жидкости, вязкость которой примерно в 4 раза выше вязкости диспергированной жидкости. В этом отношении более эффективными оказываются потоки, в которых величина скорости увеличивается вдоль линий тока, а сама трубка тока сужается и вытягивается, а не потоки, в которых величина скорости растет в направлении, перпендикулярном линиям тока из-за действия сдвиговых напряжений. Во втором же случае, когда капли жидкости с малой вязкостью рассеяны в очень вязкой среде, потоки с вытягивающимися трубками тока могут оказаться практически «бесполезными», так как для разрыва капельки необходимо очень сильно ее растянуть.

Мы изучали перемешивание двух жидкостей с разной вязкостью, используя экспериментальную установку, созданную нами в Амхерсте. Как и ожидалось, разрыв капель происходил намного реже внутри «островов», чем в областях хаотического движения. Однако слишком сильное перемешивание могло вызывать слияние капель. Этот процесс продолжался при столкновении между ними



ПОЛОСЧАТОСТЬ, характерная для перемешивания в вязких потоках, видна на куске магматической породы из вулканической цепи Инио в восточной Калифорнии. Камень образовался в результате перемешивания двух различных видов магмы, один из которых (образовавший светлые полосы) включает небольшие пузырьки летучих веществ. Диффузия через такие магматические полосы происходит чрезвычайно медленно. Время, необходимое для того, чтобы диффузия размыла полосу шириной порядка сантиметра, превышает возраст Земли. Фотография сделана И. Сигиока и Б. Стьютевант из Калифорнийского технологического института.

и заканчивался полным разделением перемешанных жидкостей. С помощью несложной компьютерной модели мы смогли предсказывать кинетику такой коагуляции в простых хаотических потоках.

И последнее. Наши эксперименты до сих пор проводились только с двумерными потоками, тогда как реальные объекты трехмерны. Только недавно совместно со студентами мы построили установку, с помощью которой можно проводить контролируемые эксперименты с трехмерными потоками. С процессом перемешивания медленных трехмерных потоков связано много нерешенных фундаментальных проблем, и, к сожалению, интуитивный опыт, приобретенный в экспериментах с двумерными потоками, не всегда можно распространять на случай трех измерений.

Первый шаг далекого путешествия

Список задач о перемешивании отнюдь не исчерпывается рассмотренными в статье. Очень мало известно о процессе перемешивания вязкоэластичных жидкостей (таких, которые восстанавливают свою первоначальную форму после деформации). Это очень сложная задача, известно только, что этот процесс играет определяющую роль при получении высокомолекулярных полимеров. В биотехнологии большое значение имеет смешивание нестабильных жидкостей, структура которых разрушается при высоких поперечных перепадах скоростей потока. Для геофизиков, изучающих перемешивание магмы в земной мантии, большой интерес представляет процесс смешивания вязких жидкостей при тепловой конвекции.

Несмотря на необыкновенную сложность процессов перемешивания как в природных явлениях, так и в производственных процессах, есть надежда, что они будут изучены и эти знания будут плодотворно использоваться на химических предприятиях и в лабораториях. Кроме того, поскольку в относительно простых экспериментах может быть смоделировано хаотическое поведение, они могли бы прояснить некоторые общие фундаментальные проблемы, касающиеся хаотических систем. Описанные в данной статье эксперименты — первый шаг в этом направлении. До сих пор лишь небольшая часть этих идей нашла применение, остается еще много возможностей как для научных исследований, так и для использования их в различных технологиях.

Техас одержал победу, но...

ТЕХАС ликует и полон восторга: министерство энергетики США наконец-то объявило о своем намерении построить крупнейший в мире ускоритель частиц SSC (сверхпроводящий суперколлайдер) в 25 милях от столицы штата Далласа. Однако победа Техаса над шестью другими штатами, претендовавшими на размещение этого престижного объекта на своей территории, может оказаться не более чем пустым звуком.

Идея о строительстве суперколлайдера пользовалась широкой поддержкой два года назад, когда администрация Рейгана, наконец, официально одобрила этот проект. Новая установка будет иметь протяженность по окружности 53 мили; на территории внутри такого кольца уместилась бы

большая часть города Нью-Йорка. В коллайдере должны сталкиваться ускоренные до 40 триллионов электрон-вольт (40 ТэВ) протоны, что в 20 раз превышает энергию, достигаемую на самом мощном в мире современном ускорителе «Теватрон» в Батавии (шт. Иллинойс), принадлежащем национальной ускорительной Лаборатории им. Ферми.

Возможно, что к середине 90-х годов появятся другие более мощные ускорители по сравнению с «Теватроном». Так, в СССР в настоящее время осуществляется строительство коллайдера, рассчитанного на ускорение протонов до 3 ТэВ, а Европейская организация ядерных исследований (ЦЕРН) в Швейцарии рассматривает вопрос о строительстве коллайдера на 18 ТэВ. Однако мощности этих коллайдеров могут оказаться недо-



ОСТРОВ МАНХАТТАН и прилегающие к нему районы Нью-Йорка вполне уместились бы внутри замкнутого кольца сверхпроводящего суперколлайдера. Гигантский ускоритель, который министерство энергетики действительно надеется построить, но не в Нью-Йорке, а в небольшом местечке Воксахачи в шт. Техас, примерно в 25 милях к югу от Далласа, будет представлять собой замкнутый туннель протяженностью 53 мили. Система из 10 тыс. сверхпроводящих магнитов будет разгонять протоны до скоростей, близких к скорости света, и сталкивать их с силой, сравнимой с силой Большого взрыва.

статочными для открытия загадочных бозонов Хиггса, вызывающих в последнее время большой интерес у физиков. Обнаружение этой частицы позволило бы ученым проникнуть в тайну происхождения материи и, возможно, привело к созданию единой теории сил, действующих в природе. Сторонники строительства нового суперколлайдера заявляют, что лишь столь мощный ускоритель помог бы установить, существуют ли нет бозоны Хиггса, и тем самым решить давний спор об этих частицах, что указало бы путь к разработке новой теории.

Нет сомнения и в том, что суперколлайдер обеспечил бы Техасу некоторые экономические выгоды. Министерство энергетики предполагает в следующие 8 лет выделить более 5 млрд. долл. на строительство SSC; когда он будет введен в действие, его штат составит 2,5 тыс. человек научного и технического персонала, не считая 500 приглашенных ученых, а его годовой бюджет будет равен 270 млн. долл. Не удивительно поэтому, что 25 штатов быстро откликнулись на призыв о содействии проекту, с которым министерство энергетики обратилось в апреле 1987 г. В том же году министерство назвало семь штатов, «вышедших в финал»: помимо Техаса ими оказались Аризона, Колорадо, Иллинойс, Мичиган, Сев. Каролина и Теннесси.

Вполне естественно, что как только число претендентов уменьшилось, политическое противодействие осуществлению проекта возросло. Министерство энергетики запросило на 1989 г. 363 млн. долл. на то, чтобы приступить к осуществлению проекта, что в 10 раз больше по сравнению с расходами в прошлом году на исследовательские цели. Летом 1988 г. после многократного рассмотрения вопроса о строительстве суперколлайдера конгресс выделил только 100 млн. долл. на продолжение работ по проектированию и заявил, что строительство не будет начато по крайней мере раньше чем через год. Эта задержка позволит новой администрации пересмотреть проект.

Ожидается, что вновь избранный президент Буш поддержит предложенный министерством энергетики бюджет на предстоящие 8 лет, но даже при его поддержке не исключается вероятность того, что строительство коллайдера будет вновь отложено или вообще заморожено конгрессом. Некоторые члены конгресса поддались влиянию нарастающих голосов против проекта; среди тех, кто выступает за отказ от реализации проекта, такие видные физики, как Арно Пен-

зис из AT & T Bell Laboratories и Филип Андерсон из Принстонского университета, которые утверждают, что строительство суперколлайдера отрицательно скажется на финансировании и обеспечении кадрами других менее масштабных, но все же весьма важных физических исследований. Противники строительства коллайдера не желают даже признавать претензии физиков-ядерщиков на их господствующее положение в науке, утверждая, что никакие мыслимые экстраполяции физиков, занимающихся изучением элементарных частиц, не могут помочь в объяснении поведения таких крупномасштабных систем, как, скажем, бактерии.

Имеются и другие, более глобальные, проблемы, которые заботят конгресс. Одна из них связана с созданием мощных сверхпроводящих магнитов для коллайдера. Для ускорения и фокусировки протонов на их траектории по замкнутому овалному туннелю потребуется около 10 тыс. таких магнитов. По оценкам министерства энергетики, изготовление каждого магнита обойдется в 100 тыс. долл. Однако первые опытные образцы магнитов оказались не совсем качественными, и хотя в последнее время многие трудности, стоящие на пути создания магнитов с требуемыми параметрами, удалось преодолеть, некоторые специалисты считают, что из-за ряда технических сложностей производство магнитов может обойтись гораздо дороже.

Превышение стоимости, однако, может оказаться катастрофичным. Конгресс намерен снизить дефицит бюджета, и в этих условиях суперколлайдер становится конкурентом ряду других крупных исследовательских проектов, таких как вывод на земную орбиту космической станции и создание аэрокосмического самолета. Невозможно доказать, что эти проекты дадут ощутимые результаты; кроме того, их реализация не ограничивается территорией одного штата, и поэтому можно рассчитывать на более широкую политическую поддержку этих проектов. Министерство энергетики надеется снизить издержки США на создание коллайдера путем привлечения к участию в его строительстве на правах пайщиков других стран, таких как Канада, Великобритания и Япония, но эти страны вряд ли возьмут на себя какие-либо серьезные обязательства до тех пор, пока сами США не примут окончательного решения.

Неудовлетворенность штатов, которые потерпели неудачу в борьбе за право разместить SSC на своей территории, может усугубить и без того сложное положение министерства

энергетики. Официальные представители шт. Иллинойс (который был самым серьезным соперником шт. Техас) и других штатов, чьи надежды на победу не оправдались, потребовали расследования процедуры принятия решения о месте строительства коллайдера. Министерство энергетики заверяет, что в штате Техас имеется наиболее подходящая комбинация геологических условий и «местных источников», к которым относятся система энергообеспечения, университеты и промышленная база; кроме того, этот штат предложил внести в бюджет проекта 1 млрд. долл. собственных средств, больше чем какой-либо другой из штатов-претендентов. Некоторые обозреватели считают к тому же, что Техасу было отдано предпочтение по той причине, что это — единственный из всех семи штатов, вошедших в число финалистов, который оказал достаточно сильное политическое влияние на положительное решение вопроса о строительстве коллайдера. И, наконец, Дж. Райт, спикер палаты представителей, Л. Бентсен, который, несмотря на свое поражение в выборах на пост вице-президента, все же остается достаточно влиятельной фигурой в американском сенате, да и сам вновь избранный президент Буш — все они считают Техас своим родным домом.

Внимание читателей!

Журнал «ТИИЭР»

(перевод журнала
Proceedings of the IEEE)

готовится к печати
малый тематический выпуск

(ТИИЭР, т. 76, № 11, ноябрь
1988)

**РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В
МИКРОСХЕМАХ В УСЛОВИЯХ
КОСМИЧЕСКОГО
ПРОСТРАНСТВА**

Цена номера 3 р. 30 к.

Предварительные заказы можно
направлять до 15 апреля 1989 г.
по адресу: 129820, ГСП, Москва,
И-110, 1-й Рижский пер., 2, изда-
тельство «Мир», редакция ТИИЭР.



Углеводы и депрессия

В последние десять лет выявлено несколько связанных между собой типов поведенческих расстройств, сопровождающихся нарушением аппетита и настроения. Наиболее известно из них сезонное аффективное расстройство

РИЧАРД ДЖ. ВУРТМАН, ДЖУДИТ ДЖ. ВУРТМАН

В 1898 г. 16 мая бесстрашный исследователь Арктики Фредерик Э. Кук сделал в своем журнале следующую запись: «Медленно, но неотвратимо завладевают нами тьма и зима... Мысли и настроения моих товарищей нетрудно прочесть по выражениям их лиц... Черная пелена и ледяное запустение, поглотившие все вокруг, проникли и в наши души. Печальные и подавленные сидят за столом мужчины, погруженные в меланхолические раздумья, которые изредка кто-нибудь безуспешно пытается прервать вспышкой искусственного оживления. Одни стараются хоть на короткий миг побороть хандру сказанной в пятидесятый раз шуткой. Другие тщетно ищут облегчения в философском взгляде на жизнь. Но все усилия вселить в окружающих радужные надежды неизменно проваливаются».

Теперь ясно, что участники экспедиции Кука страдали классическими симптомами зимней депрессии — состояния, подобного психиатрическому заболеванию, недавно описанному под названием «сезонное аффективное расстройство» (САР). Как видно из записи в журнале Кука, связь между депрессией и началом зимы — не вновь открытый феномен. В последние годы значительно оживился интерес к САР и двум другим поведенческим нарушениям, имеющим некоторые общие с ним симптомы — ожирению, связанному с непреодолимой тягой к углеводам (ОНТУ), и предменструальному синдрому (ПМС). Эти симптомы включают депрессию, вялость и неспособность сосредоточиться, сопровождающиеся эпизодическими «приступами» переживания и чрезмерной прибавкой веса; их развитие обычно носит циклический характер и приурочено к определенному времени суток (при ОНТУ, как правило, к предвечерним или вечерним часам), месяца (при ПМС — к периоду непосредственно предшествующему началу менструации) или года (при САР, как правило, к осени или зиме).

За последнее десятилетие получена

богатая информация, проливающая свет не только на клинические проявления этой группы расстройств, но и на вызывающие их нарушения биохимических процессов. В настоящее время складывается впечатление, что все эти заболевания обусловлены биохимическими нарушениями в двух обособленных биологических системах. Первая связана с гормоном мелатонином, влияющим на настроение и «энергию» человека; вторая — с нейромедиатором серотонином, регулирующим аппетит к пище, богатой углеводами. Активность обеих этих систем зависит от фотопериода (т. е. суточного цикла смены света и темноты), что, по всей вероятности, и является основной причиной цикличности всех трех расстройств.

В ВЫСОКИХ широтах Северного и Южного полушарий симптомы САР появляются поздней осенью или в начале зимы и сохраняются до весны. Эти симптомы имеют тенденцию, раз возникнув, из года в год рецидивировать, если человек не переселится в местность, где продолжительность дня осенью и зимой уменьшается не слишком сильно. Люди жалуются на эпизодические приступы депрессии, сочетающиеся с непреодолимой тягой к пище, богатой углеводами. Они рано ложатся спать и в отличие от больных несезонной депрессией, которые мучаются бессонницей, проводят в постели по 9—10 часов. Сон у них, однако, часто прерывается и не дает полного отдыха; в дневные же часы они зачастую испытывают сонливость и не могут ни на чем сосредоточиться. С наступлением весны больные САР преисполнены энергии и творческих сил; в это время они испытывают прямо-таки безумный интерес к жизни. Одновременно ослабевает и тяга к углеводам, и большинство из них сбавляют накопленный за зиму вес.

Типичным примером САР может служить следующая история болезни. Больная М., 53-летняя учительница, при росте 163 см весила 81,5 кг. Она

тяжело переживала этот факт и долгие годы тратила массу денег на диеты с целью похудеть. «Я знаю, что все мое несчастье — в углеводах: когда я сижу на диете и не ем хлеб, картофель и сладости, я всегда худею. Но когда не придерживаюсь диеты, обычно к полудню начинаю беспокоиться и нервничать и не могу сосредоточиться на своих занятиях. При этом мне хочется что-нибудь съесть, чтобы успокоиться, вот я и покупаю печенье или жареные орешки. Дома я иногда не перестаю есть, пока не лягу спать». Вскоре после Дня Благодарения* больную М. месяца на два охватывало чувство усталости и подавленности. «Я просила мужа оставить меня в покое, а ученикам, чтобы не разговаривать с ними в школе, задавала большие самостоятельные задания. В доме царил неразбериха. Кроме мучного, я ничего не ела, и все-таки прибавляла в весе. Наконец, с приходом весны мне становилось лучше — быть может, оттого, что заканчивался учебный год и приближалось лето».

Симптомы, описанные больной М., практически не отличаются от симптомов ОНТУ и ПМС с той лишь разницей, что тяга к углеводам при САР одолевает ежедневно обычно в предвечерние и ранние вечерние часы, а симптомы ПМС развиваются ежемесячно во время фазы желтого тела овариального цикла, длящейся две недели до начала менструации.

Интерес к сезонным нарушениям психического состояния особенно обострился в начале 1980-х годов, когда П. Мюллер из Национального института психического здоровья (США) опубликовал историю болезни 29-летней женщины, которую он лечил по поводу циклических приступов зимней депрессии. На протяжении нескольких лет пациентка неоднократно меняла место жительства. Мюллер, который все время поддерживал с ней контакт, заметил, что чем севернее

* В США День Благодарения празднуется в четвертый четверг ноября. — Прим. ред.

она жила, тем раньше осенью появлялись симптомы депрессии и тем дольше они держались весной. Дважды, когда женщина в середине зимы переезжала на Ямайку, депрессия у нее через пару дней после приезда исчезала.

Мюллер предположил, что состояние пациентки каким-то образом зависит от режима солнечного освещения, и решил попробовать лечить ее методом фототерапии, ранее с успехом применявшегося при желтухе у детей и псориазе. Каждое утро он подвергал больную дополнительному облучению светом полного спектра с интенсивностью 2500 люкс. Не прошло и недели, как депрессия исчезла.

Данные Мюллера привлекли внимание сотрудников того же института Н. Розенталя, Э. Уэра и Э. Льюи, интересовавшихся различными проявлениями клинической депрессии. Эти ученые провели подробное исследование природы зимней депрессии с привлечением для наблюдения и лечения большого числа добровольных испытуемых. Результаты открыли много нового и заставили задуматься. Они подтвердили лечебный эффект дополнительного светового облучения при фототерапии зимней депрессии. Кроме того, полученные

данные впервые продемонстрировали связь между зимней депрессией и непреодолимой тягой к углеводам.

Позже в работе, выполненной С. Поткином, Д. Крипке и У. Банни с сотрудниками в Калифорнийском университете в Ирвине, были получены более полные сведения относительно корреляции между распространенностью САР и географической широтой в США. Опросник, опубликованный в марте 1985 г. в газете "USA Today", включал подробное описание САР, но не содержал никаких пунктов, которые могли бы указать на его связь с продолжительностью дня. Читателям предлагали ответить «да» или «нет» на 15 вопросов, характеризующих это заболевание. Тех, кто ответил положительно на 8 или более вопросов (и, таким образом, предположительно страдал САР), просили выслать заполненный опросник его авторам; это сделали 723 человека. Распространенность САР в данном штате определялась путем деления числа лиц, приславших опросник, на среднее число покупателей газеты в штате. Результаты показали, что в северных районах США из каждых 100 тыс. населения 100 человек страдают САР; на юге САР встречается не более чем в

6 случаях на каждые 100 тыс. населения. Однако эти показатели, несомненно, ниже, чем на самом деле, так как люди, страдающие САР, менее склонны читать газеты и заполнять опросники, чем здоровые.

ПРИМЕРНО в то же время мы в Центре клинических исследований, который представляет собой стационар, расположенный на территории студенческого городка, при Массачусетском технологическом институте, приступили к изучению нарушений питания у человека. Типичное исследование, посвященное ОНТУ, состояло в том, что в течение двух недель наблюдали за питанием, в первую очередь потреблением углеводов, 20 испытуемых разных весовых групп: умеренно тучных людей (с массой тела на 20—39% превышающей нормальную) и тучных (с массой тела, превышающей нормальную на 40—80%).

В нашей работе велось тщательное наблюдение за питанием испытуемых как во время регулярных основных приемов пищи «по расписанию», так и в промежутках между ними. Оценка дополнительного потребления пищи делалась с помощью снабженного



*«Да, сейчас у меня некоторый упадок сил,
но учитывая время года, я, пожалуй, вполне счастлив»*

ОСВЕДОМЛЕННОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ о сезонном аффективном расстройстве в последние годы значительно увеличи-

лась. Суть расстройства удачно передал Р. Манкофф в этом рисунке из журнала "New Yorker" от 10 декабря 1984 г.

компьютером торгового автомата (по конструкции Дж. Силверстона из Медицинского колледжа при больнице св. Варфоломея в Лондоне), функционировавшего круглосуточно и предлагавшего испытуемым разнообразные закуски — от богатых углеводами выпечных изделий до богатых белком сардин. Все блюда содержали примерно одинаковое количество жиров (к примеру, 6 г) и калорий (около 110 ккал). Чтобы получить еду, нужно было набрать определенное число на пульте, соединенном с компьютером, который непрерывно регистрировал количество и тип блюд, выбравшихся каждым испытуемым. Участникам эксперимента предлагалось питаться привычным для каждого образом и не следить за своим потреблением калорий; большинство испытуемых придерживались этих инструкций, полагая, что результаты исследования в конце концов помогут им справиться с лишним весом.

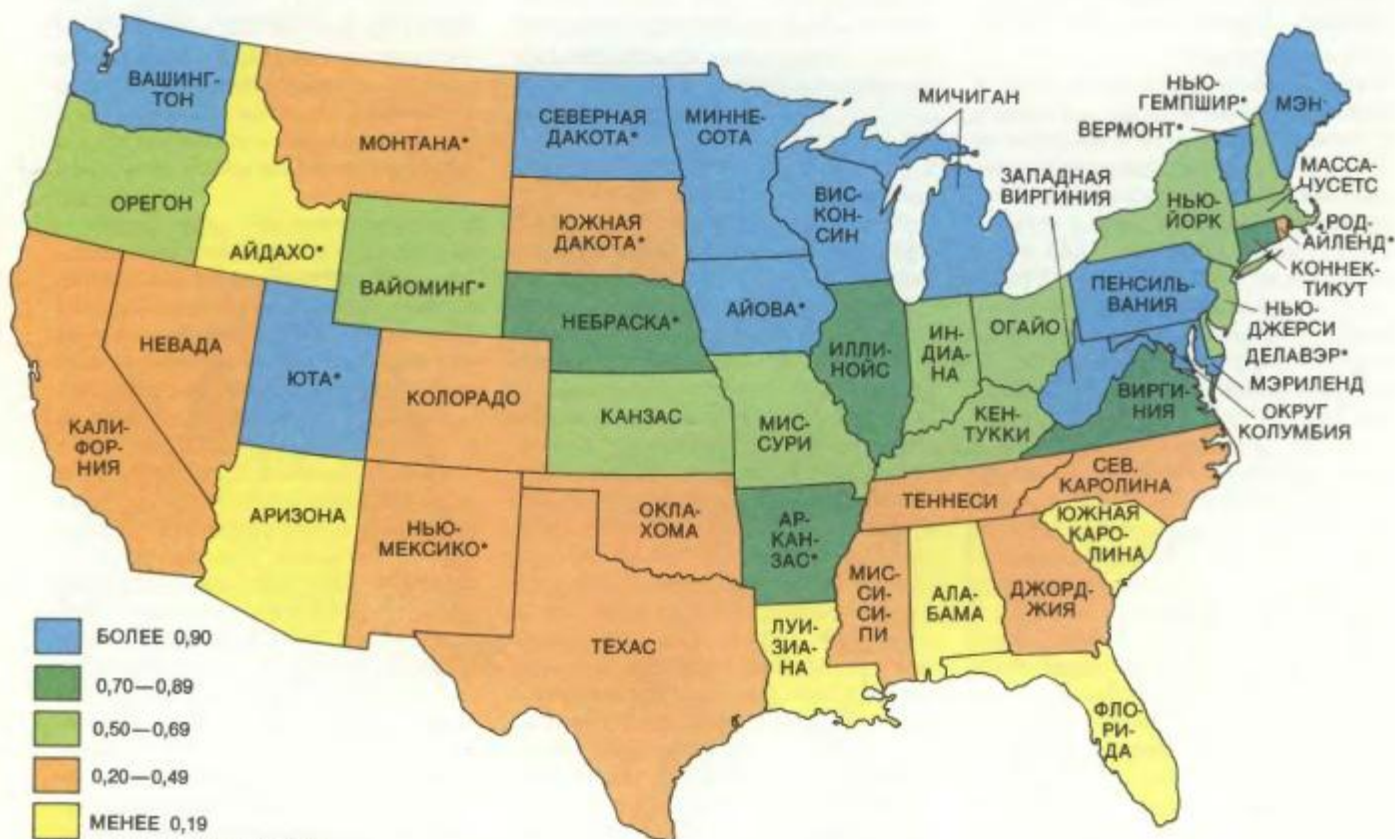
Потребление пищи во время основных трапез оценивалось после того, как испытуемый кончал есть: за сто-

лом каждому предоставлялась возможность брать в неограниченном количестве любые блюда, которые находились в предварительно взвешенных и маркированных контейнерах. Как и в торговом автомате, блюда, предлагавшиеся испытуемым во время основных приемов пищи, различались по содержанию белков и углеводов, но были одинаковыми по жировому составу и калорийности. По окончании трапезы контейнеры (с остатками продуктов) взвешивались и определялось количество и тип съеденной каждым испытуемым пищи.

Эти наши исследования позволили проверить и развеять несколько мифов о тучности, в частности тучности, связанной с пристрастием к углеводистой пище. Самым распространенным из них, вероятно, является представление, что толстяки при любой возможности объедаются всем, что вкусно. Однако выяснилось, что люди страдающие непреодолимой тягой к углеводам, переедают только углеводы, да и то лишь в определен-

ное время суток. В основные приемы пищи они едят, как все нормальные люди, потребляя в общей сложности примерно 1940 ккал в сутки. (В среднем взрослая женщина потребляет 1500—2000 ккал в сутки, взрослый мужчина — 2200—2700 ккал). Однако в предвечерние часы или ранним вечером эти люди начинают прибегать к закускам, что зачастую приводит к дополнительному потреблению в среднем более 800 ккал в сутки. Такой же характер питания был обнаружен у женщин с ПМС: с закусками они потребляли примерно на 460 ккал в сутки больше, чем нормальные женщины на той же стадии менструального цикла.

Любопытен и тот факт (выявленный с помощью компьютеризованного торгового автомата), что почти все испытуемые, сообщая о своем потреблении закусок, преуменьшали его. Похоже, когда еда «перехватывается на ходу», она как бы не идет в счет, и сам факт легко забывается. А ведь тот, кто озабочен своим весом, должен учитывать всю потреб-



РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ сезонного аффективного расстройства (САР) в США зависит от географической широты местности. В шт. Миннесота, расположенном на севере, страдает САР каждый 10-й человек, а во Флориде — менее 6 человек на 100 тыс. жителей. Звездочками отмечены вы-

борки населения, результатам обследования которых из-за их малочисленности нельзя дать надежную статистическую оценку. (Данные С. Поткина и его сотрудников из Калифорнийского университета в Ирвине.)

ляемую пищу. Иногда «на ходу» потребляется более 30% общего количества калорий.

Было обнаружено также, что в большинстве случаев пациенты с ОНТУ и ПМС съедали в качестве дополнительных закусок углеводные продукты. Фактически более половины испытуемых с ОНТУ никогда не выбирали белковые закуски, хотя во время основных приемов пищи большинство из них ели белки охотно. Возможное (но еще не доказанное) объяснение такому избирательному пищевому поведению состоит в том, что у тех, кто испытывает непреодолимую тягу к углеводам, в предвечерние или ранние вечерние часы способность к регуляции потребления пищи нарушается. У нормальных людей желание съесть «что-нибудь сладкое» возникает нечасто, не носит циклического характера и легко проходит после того, как человек, к примеру, съедает булочку-другую; а у страдающего непреодолимой тягой к углеводам это желание может не исчезать и после того, как он съест 9—10 булочек. Можно предполагать, что в таких случаях нарушен механизм обратной связи, благодаря которому мозг узнает о потреблении углеводов. Другое возможное объяснение заключается в том, что человек с пристрастием к углеводам закусывает дополнительно не по причине голода, а потому, что богатые углеводами пищевые продукты улучшают его настроение.

Неясно, почему при ОНТУ потребность «закусить» возникает в определенное время суток; циклический характер переедания при ПМС (месячный) и при САР (сезонный) может отражать влияние гормонов яичников или мелатонина на мозг, однако такой связи при ОНТУ выявлено не было. Во всяком случае, ясно, что углеводные закуски способствуют развитию тучности, потому что зачастую содержат много жиров и, следовательно, высококалорийны.

По всей вероятности, непреодолимая тяга к углеводам — расстройство, обусловленное многими факторами. Среди тучных людей 2/3 испытывают непреодолимую тягу к углеводам. Но не все, кто страдает этим расстройством, имеют избыточный вес, многие из них регулируют массу тела с помощью физических упражнений, низкокалорийных диет или же удовлетворяют свое пристрастие такими углеводными продуктами с низким содержанием жира, как воздушная кукуруза, или такими сладостями, как бобовое желе. Но и тучность далеко не всегда связана с избыточным потреблением углеводов. Некоторые тучные люди не проявляют никакого

предпочтения к углеводам, а другие переедают главным образом во время основных приемов пищи, лишь изредка закусывая в промежутках.

В СВОЕЙ РАБОТЕ мы обращали внимание также на изменения настроения у лиц, страдающих непреодолимым пристрастием к углеводам. И с помощью стандартных психологических тестов, основанных на собеседовании с больными (шкала Гамильтона), и путем письменного

опроса (опросник Бека для выявления депрессии) была обнаружена высокая подверженность этих людей клинической депрессии. На вопрос, почему они уступают желанию съесть пищу, которая, как им хорошо известно, лишь способствует ожирению, они отвечали примерно так же, как и больные САР. В качестве причины почти никогда не назывались голод или вкус пищи; большинство пациентов говорили, что едят для того, чтобы избавиться от напряжения, трево-



ТОРГОВЫЙ АВТОМАТ, с помощью которого сотрудники Центра клинических исследований при Массачусетском технологическом институте изучали, какую пищу предпочитают люди, страдающие непреодолимой тягой к углеводам, и здоровые. В автомате находятся закуски, одинаковые по калорийности и жирности, но различающиеся по относительному содержанию белков и углеводов. Чтобы получить порцию желаемой пищи, испытуемый должен набрать определенный код. Автомат соединен с компьютером, который регистрирует, какие закуски, когда и в каком количестве получал каждый испытуемый.

ги или умственной усталости и что после еды беспокойство проходит, а голова проясняется. В этой связи возник вопрос, не является ли чрезмерное потребление углеводистой пищи, приводящее к сильному ожирению, своего рода наркоманией, при которой потребность в углеводах из-за их успокаивающего и антидепрессивного действия доводится до крайности, когда человек за свои желания расплачивается здоровьем и внешним видом?

Вместе с Х. Либерманом и Б. Чью из Массачусетского технологического института один из авторов статьи, а именно Дж. Вуртман, приступила к изучению связи между потреблением углеводной пищи и настроением. Группе добровольцев из 46 человек, в том числе здоровым людям и страдающим непреодолимой тягой к углеводам, предъявлялись стандартные психологические тесты до и после потребления богатой углеводами безбелковой пищи. После еды у лиц с непреодолимой тягой к углеводам подавленность значительно ослабевала, а нормальные испытуемые чувствовали усталость и сонливость. На основании полученных данных можно предположить, что точно так же, как некоторые здоровые люди, чувствуя упадок сил или ослабление внимания, выпивают чашку кофе, для той же цели при непреодолимой тяге к углеводам дополнительно потребляются продукты, содержащие большое количество углеводов.

Тот факт, что непреодолимая тяга к углеводам, подобно САР, имеет четко выраженный периодический характер, навел нас на мысль, что фотопе-

риод, может быть как-то связан с циклическими проявлениями расстройства аппетита и настроения. Около 25 лет назад было установлено, что секреция мелатонина подчиняется четкому циркадианному ритму, сопряженному с суточными и сезонными изменениями освещенности. Этот ритм в общих чертах соответствовал ритму развития основных симптомов САР.

Мелатонин был открыт в 1958 г. А. Лернером и его коллегами в Медицинской школе Йельского университета; они выделили это вещество из шишковидной железы крупного рогатого скота и обнаружили, что оно вызывает осветление кусочков кожи головастика. Спустя 5 лет Дж. Аксельрод и один из авторов данной статьи (Р. Вуртман, работавший тогда в Национальном институте психического здоровья) предположили, что мелатонин является у млекопитающих гормоном, так как у крыс он подавляет функции половых желез. Впоследствии мы показали, что синтез мелатонина у крыс на свету ослабевает и что этот эффект опосредуется взаимодействием сетчатки глаза, мозга и особых симпатических нервов, иннервирующих шишковидную железу (см. статью: R. Wurtman, J. Axelrod. The Pineal Gland, "Scientific American", July, 1965.).

В эти же годы У. Куэй из Калифорнийского университета в Беркли выявил суточный ритм колебаний уровня мелатонина в шишковидной железе крысы: ночью он снижается, а днем повышается. Несколько позже Р. Пэллем и его сотрудники из Питтсбургского университета сообщили о похожих

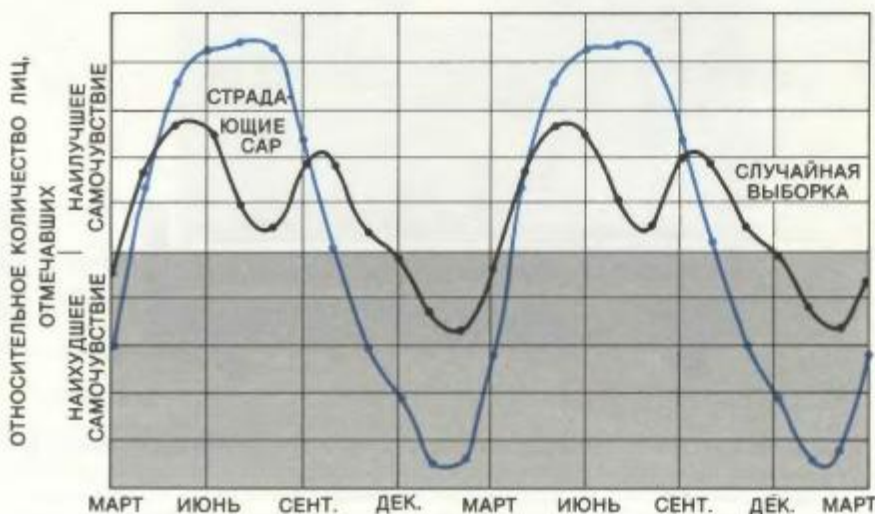
колебаниях уровня мелатонина в плазме крови у человека. Вскоре после этого Р. Вуртман и Г. Линч из Массачусетского технологического института показали, что в пробах мочи, взятых у одного и того же человека, уровень мелатонина существенно колеблется в зависимости от времени суток: ночью он по меньшей мере в 5 раз выше, чем днем.

ЧТОБЫ выявить влияние суточного цикла освещенности на временные параметры мелатонинового ритма у человека, Д. Джимерсон из Национального института психического здоровья, Г. Линч и Р. Вуртман изучали физиологические эффекты внезапного изменения фотопериода. У нескольких добровольных испытуемых определяли ритм колебаний содержания мелатонина в плазме крови и моче, а затем изменяли привычный для них фотопериод. В день опыта в помещении, откуда испытуемые не выходили, свет горел до 11 часов утра, а потом отключался до 7 часов вечера, т. е. период темноты смещался на 12 часов по сравнению с привычной сменой дня и ночи.

Оказалось, что через 4—5 суток происходила физиологическая адаптация испытуемых к новому световому режиму, сопровождавшаяся сдвигом мелатонинового ритма: гормон выделялся в темноте, а на свету его секреция подавлялась. Таким образом было показано, что секреция мелатонина у человека, как и у других млекопитающих, подчиняется циркадианному ритму, что мелатониновый ритм имеет эндогенную природу (т. е. генерируется неким «часовым механизмом» в мозгу) и что он зависит от цикла смены светлого и темного времени суток.

Однако ни нам, ни другим исследователям не удалось обнаружить у человека феномен, который более 10 лет назад Аксельрод и Р. Вуртман открыли у крыс, а именно что при облучении светом в темную фазу суточного цикла секреция мелатонина подавляется. За неимением лучшего объяснения мы поспешили заключить, что шишковидная железа человека неизвестно почему не чувствительна к действию света.

ТОЛЬКО в 1980 г. Люои показал, что и у человека можно резко подавить секрецию мелатонина светом достаточной интенсивности. В его исследовании испытуемых будили в 2 ч ночи и в течение полутора часов облучали светом интенсивностью 2500 люкс, в результате чего уровень мелатонина в плазме крови существенно падал. Таким образом, у людей, как и



СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАСТРОЕНИЯ отмечаются у многих жителей Нью-Йорка (и вообще в северных широтах), но у тех, кому поставлен диагноз САР, они выражены сильно. (Данные М. Термэна из Института психиатрии шт. Нью-Йорк.)

у крыс, свет влияет на мелатониновый ритм двояко: он либо изменяет его параметры (как было в наших экспериментах, когда искусственно меняли местами светлое и темное время суток), либо подавляет секрецию мелатонина полностью (если темновая фаза светового цикла отсутствует). Какой-то из этих эффектов или оба вместе, возможно, лежат в основе лечебного действия света при САР.

В работе Мюллера, Розенталя и др. было показано, что дополнительное облучение больных САР интенсивным светом по несколько часов каждое утро может привести через несколько дней к исчезновению депрессии и непреодолимой тяги к углеводам. Попытки лечить тучных людей с непреодолимым пристрастием к углеводам методом фототерапии еще не предпринимались, но, судя по предварительным данным Б. Парри из Национального института психического здоровья, дополнительное облучение светом может быть эффективным для женщин с ПМС, у которых симптомы заболевания усугубляются зимой.

По данным М. Термэна из Колумбийского университета, примерно у половины пациентов с САР в результате облучения светом интенсивностью 2500 люкс в течение 2 ч по утрам всего через несколько дней полностью ликвидируются симптомы как депрессии, так и пристрастия к углеводам. У большинства остальных пациентов отмечается некоторое улучшение состояния, не достигающее, однако, полной ремиссии. Хотя его исследование еще не завершено, Термэн полагает, что эффективность лечения можно повысить, увеличивая длительность или интенсивность облучения, скажем, до 10 000 люкс, что больше соответствует солнечному свету, интенсивность которого варьирует от 10 000 люкс (в облачный день на севере Европы) до 80 000 люкс (в ясный день в экваториальных широтах).

По мнению некоторых исследователей, при лечении САР важна продолжительность фототерапии, а не ее приуроченность к тому или иному времени суток. Как бы то ни было, ясно, что интенсивность света не должна быть меньше 2 500 люкс; при обычном уровне освещенности в помещении, которая составляет от 250 до 500 люкс, не подавляются ни симптомы САР, ни синтез мелатонина.

В ряде работ было установлено, что фототерапия эффективнее, если проводится утром, чем в более поздние часы. По мнению Льюи, Термэна и др., этот факт указывает на то, что свет сдвигает циркадианный ритм и сокращает темновую фазу цикла секреции мелатонина. Термэн и его со-



ФОТОТЕРАПИЯ — эффективный метод облегчения депрессии и ослабления непреодолимой тяги к углеводам при САР. В результате облучения интенсивным светом в течение 45—60 мин по утрам состояние улучшается уже через 2—3 суток.

трудники заметили, что снижение уровня мелатонина в плазме крови, в норме происходящее ранним утром, у больных САР начинается примерно на 2 ч позже. Быть может, при облучении светом высокой интенсивности по утрам клиническая ремиссия развивается вследствие сокращения на несколько часов суточного периода секреции мелатонина.

Обусловлен ли САР нарушением секреции мелатонина — слишком интенсивной либо слишком длительной? Или же мелатонин — всего лишь показатель какого-то иного процесса, лежащего в основе заболевания? Ответа на этот вопрос пока нет, но некоторые косвенные данные свидетельствуют о прямой связи между ме-

латонином и САР. Либерман, Линч и Р. Вуртман обнаружили, что у здоровых людей введение достаточно высоких доз мелатонина вызывает сонливость, ослабляет внимание и увеличивает время реакции. Возможно, начало секреции мелатонина вечером способствует наступлению сна, повышая чувствительность мозга к другим гипногенным факторам. Этим, в частности, можно объяснить, почему зимой, когда темное время суток почти в два раза превышает светлое, больные САР испытывают сильную сонливость. На связь между мелатонином и настроением указывает также то, что у пациентов, принимающих мелатонин, может усугубляться депрессия; к сожалению, пока нет пре-

паратов, которые избирательно блокировали бы образование мелатонина или его действие.

ПОЧЕМУ ЖЕ все-таки при САР, ОНТУ и ПМС отмечается, как

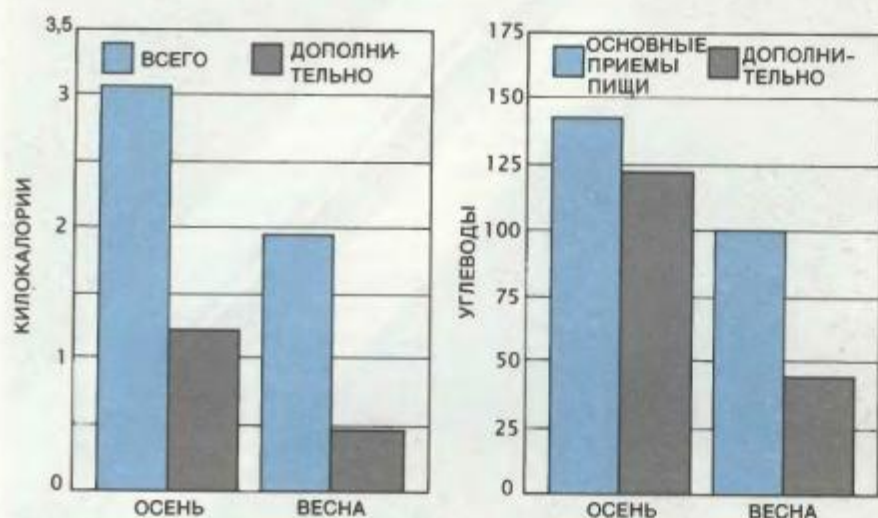
правило, непреодолимая тяга к углеводной пище? Почему ОНТУ подвержены лишь некоторые люди? И каким образом мозг здорового человека узнает, что углеводы поступили в организм, или решает, что им нужно ту-

да поступить? В развитых странах обычно 12—14% энергии пищевого рациона приходится на белки и примерно в 3—4 раза больше на углеводы. Даже медведь при случае откажется от меда ради рыбы. Как регулируется потребление пищи? В настоящее время известно, что важную роль здесь играет серотонин — один из нейромедиаторов (так называют вещества, выделяющиеся из нейрона во время его разряда и передающие нервный импульс через синапс следующему нейрону).

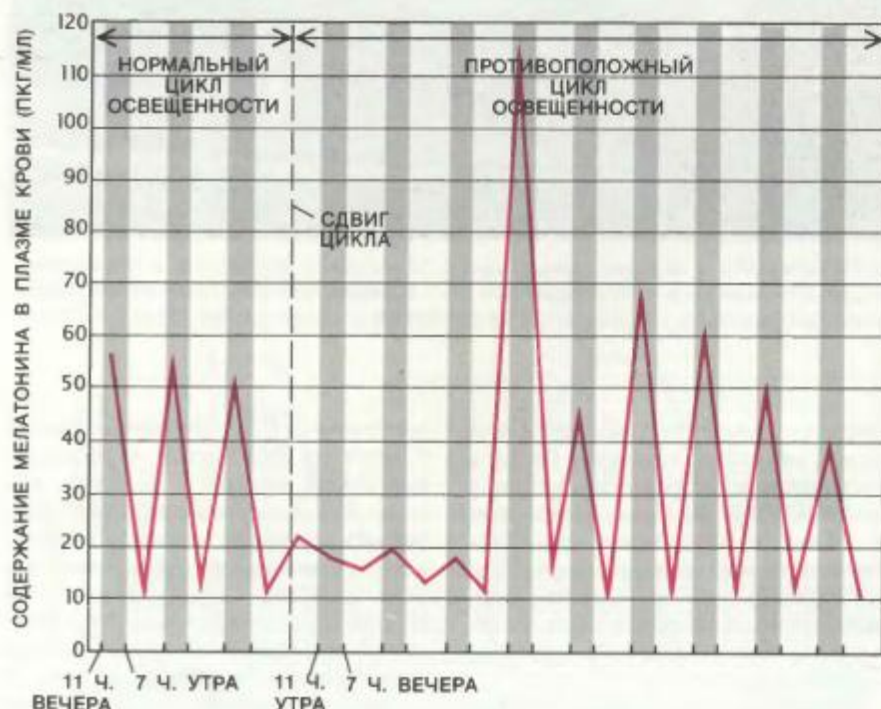
Серотонин представляет собой производное аминокислоты триптофана, которая у здоровых людей присутствует в крови в небольших количествах. Скорость превращения триптофана в серотонин зависит от относительного содержания в рационе углеводов. Углеводы стимулируют секрецию инсулина, который способствует поступлению большинства аминокислот в периферические ткани (например, в мышцы). Уровень же триптофана в крови от инсулина не зависит, поэтому при потреблении углеводов содержание в крови триптофана относительно других аминокислот увеличивается. Поскольку триптофан конкурирует с другими аминокислотами в процессе перехода через гематоэнцефалический барьер, секреция инсулина ускоряет поступление триптофана в центральную нервную систему, где он, помимо прочих нервных клеток, попадает в группу специализированных нейронов, известных под названием ядра шва. Здесь триптофан превращается в серотонин.

Уровень серотонина в свою очередь является одним из звеньев обратной связи, определяющей, какое количество углеводов съест человек (см. статью: Вуртман Р. Питательные вещества, влияющие на функции мозга, «В мире науки», 1983, № 1). Если механизмы этой обратной связи нарушаются, что, на наш взгляд, и происходит периодически при САР, ОНТУ и ПМС, мозг на потребление углеводов не реагирует, и, следовательно, тяга к ним сохраняется у человека дольше, чем это нужно организму.

Серотонин участвует и в регуляции таких аспектов поведения, как настроение и желание спать. Б. Спринг (в настоящее время работает в Медицинской школе Чикагского университета здравоохранения) обнаружила, что женщины, не страдающие непреодолимой тягой к углеводам, после потребления богатой углеводами пищи (которая должна увеличивать уровень серотонина в мозгу), испытывают сонливость и, как правило, совершают больше ошибок при выполнении



ОТНОСИТЕЛЬНОЕ КОЛИЧЕСТВО КАЛОРИЙ И УГЛЕВОДОВ, потребляемых пациентами с САР дополнительно, помимо основных приемов пищи, зависит от времени года. Осенью их общий суточный рацион содержит более 3000 ккал, из которых около 1200 ккал приходится на дополнительные закуски; весной общая калорийность рациона не превышает 2000 ккал, причем как дополнение потребляется не более 500 ккал (слева). Потребление углеводов носит такой же сезонный характер: осенью на дополнительные закуски приходится почти 50% всех потребляемых за сутки углеводов, а весной — примерно 30% (справа).



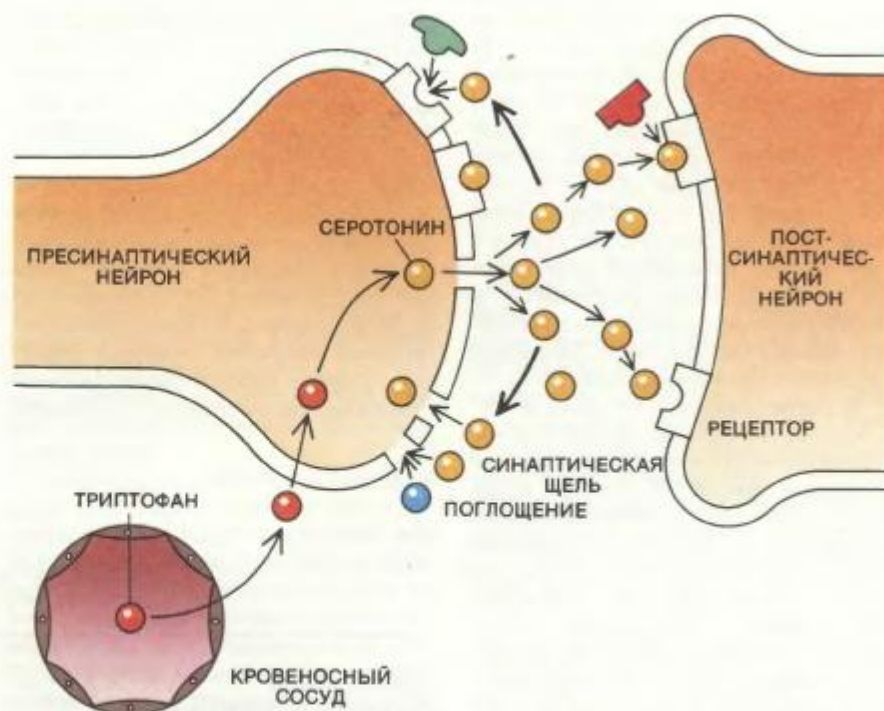
СЕКРЕЦИЯ МЕЛАТОНИНА у человека, как и у других млекопитающих, подчиняется суточному ритму. Днем (светлые вертикальные полосы) секреция этого гормона подавляется и его уровень в плазме крови падает. Ночью (темные вертикальные полосы) мелатонин поступает из шишковидной железы, где он образуется, в кровь и его уровень в плазме увеличивается. Если суточный цикл освещенности резко сдвинуть на 12 ч, так что темновая фаза будет продолжаться не с 11 ч вечера до 7 ч утра, а с 11 ч утра до 7 ч вечера, то через несколько дней мелатониновый цикл сдвигается в соответствии с новым фотопериодом.

тестовых заданий. Такие же реакции на потребление углеводной пищи наблюдали Либерман и Дж. Вуртман у тучных людей, не страдающих неодолимой тягой к углеводам. Те же, кто страдает этим расстройством, после приема пищи, богатой углеводами, ощущали бодрость и прилив сил.

Механизмы, определяющие относительное содержание углеводов и белков в рационе, особенно отчетливо проступают при нарушении звеньев рассмотренной выше обратной связи, когда, к примеру, в организм вводятся препараты, влияющие на нервную передачу, опосредованную серотонином. Если нормальным крысам предложить на выбор два или несколько типов синтетической пищи с разным относительным содержанием углеводов и белков, то они будут чередовать их в своем рационе. Если же животным ввести серотонин непосредственно (в мозг) или дать препараты, которые усиливают действие серотонина, способствуя его освобождению в синапсах, продлевая его активность или стимулируя его рецепторы, потребление животными углеводов избирательно подавляется.

Фармакологические исследования на людях показывают, что аналог серотонина, *d*-фенфторамин (это вещество стимулирует освобождение серотонина в синапсах мозга и продлевает его действие, блокируя обратное поступление серотонина в пресинаптический нейрон), вызывает такой же эффект, избирательно подавляя потребление углеводов у пациентов, страдающих ОНТУ. Совместно с Д. О'Рурком из Массачусетской больницы общего типа мы обнаружили, что *d*-фенфторамин эффективен при САР: он снижает потребление углеводной пищи (и связанную с ним прибавку веса), одновременно ослабляя симптомы депрессии. Позднее при участии А. Бжезински из Медицинской школы Хадасса Еврейского университета в Иерусалиме нами была выявлена эффективность *d*-фенфторамин и при ПМС. У 12 и 17 пациенток введение этого препарата в течение 6 мес приводило к ослаблению депрессии и тяги к углеводам.

С серотонином (и, следовательно, с САР, ОНТУ и ПМС) связано, на наш взгляд, еще одно расстройство — форма булимии (неутолимого голода), характеризующаяся потреблением ненормально большого количества пищи, зачастую высокоуглеводной, которое, однако, не сопровождается или почти не сопровождается рвотой. Большинство страдающих этим расстройством — умеренно тучные женщины; многие из них подвержены глубокой депрессии и происходят из семей, в которых частота де-



СЕРОТОНИН регулирует потребление углеводов. Этот процесс начинается с аминокислоты триптофана (оранжевая), которая поступает в мозг с кровью. Там, в нейронах так называемых ядер шва триптофан превращается в серотонин (желтый). Когда через синапс (контакт двух нейронов) передается нервный импульс, серотонин выделяется в синаптическую щель — пространство, разделяющее пресинаптический и постсинаптический нейроны. Молекулы серотонина связываются со специфическими рецепторами на поверхности постсинаптического нейрона. В ответ на потребление углеводов уровень серотонина увеличивается и синаптическая передача с его участием активизируется, что в свою очередь приводит в действие механизм обратной связи. Если концентрация серотонина высока, он связывается с рецепторами пресинаптического нейрона и освобождение оттуда серотонина подавляется. Препараты, способствующие освобождению серотонина (зеленые) или блокирующие его поступление обратно в нейрон (синие), увеличивают интенсивность синаптической передачи и тем самым вызывают снижение потребления углеводов. Препараты, блокирующие постсинаптические рецепторы серотонина (красные), усиливают аппетит, в особенности тягу к углеводной пище.

прессии и алкоголизма повышена. Судя по предварительным данным Дж. Расселла из Лондонского университета и А. Блуина из Оттавского университета, в таких случаях может быть эффективен *d*-фенфторамин; у тех, кто положительно реагирует на антидепрессивное действие этого препарата, скорее всего снизится и аппетит.

В общем мы обнаружили, что препараты, избирательно способствующие передаче нервных импульсов, опосредованной серотонином (*d*-фенфторамин, фемокситин, флуоксетин, зимелидин и флувоксамин), приводят, как правило, к снижению веса пациентов, а препараты, ее блокирующие, антидепрессанты, взаимодействующие с другими нейромедиаторами, оказывают противоположное действие, зачастую порождая тягу к углеводам и последующую прибавку веса.

БЫЛО БЫ неразумно считать симптомы САР, ОНТУ или ПМС несущественными и случайными явлениями. Длительные периоды глубокой депрессии и раздражительности могут серьезно повлиять на способность человека поддерживать нормальные отношения с другими людьми. Однако нет ничего патологического в том, что осенью человек чувствует ухудшение настроения, что иногда ему хочется съесть шоколадку или булочку, что за зиму он несколько прибавляет в весе, или что некоторые женщины становятся раздражительными во время менструаций.

В самом деле, здоровые люди так же подвержены сезонным изменениям поведения, как и страдающие САР. Из 200 жителей Нью-Йорка, выбранных наугад по телефонному справочнику и опрошенных Термэном с сотрудниками, половина сообщила, что осенью и зимой испытывают спад

«энергии», 47% в этот период прибавляют в весе, 31% больше спят и 31% меньше участвуют в социальной жизни. Из тех, кто отмечал у себя в то или иное время года спад «энергии», 50% ответили, что это происходило осенью или зимой, и только 12% — летом. Термэн сделал вывод, что значительная часть населения Нью-Йорка страдает САР в слабо выраженной форме; как мы полагаем, этому расстройству в равной мере подвержены и жители других северных городов, таких, например, как Бостон или Миннеаполис.

В расположенном на широте 69° г. Тромсё (Норвегия), солнце над которым не показывается с 20 ноября до 20 января, зимней бессонницей страдает, по-видимому, 24% населения. По данным Ч. Маллина из Академии военно-морских сил США, среди ученых и военнослужащих, вынужденных зимовать в Антарктике, часты случаи бессонницы, раздражительности, снижения умственных способностей и прибавки в весе до 9—13,5 кг. Тот факт, что среди населения Южного полушария (где зима тогда, когда на севере лето) САР чаще всего регистрируется в июне и июле, говорит, между прочим, о том, что это — не просто «праздничная хандра» или результат меланхолических раздумий о том, что еще один год прожит.

НЕ ЯВЛЯЕТСЯ ЛИ САР лишь чрезмерным выражением нормальной реакции человека на осенне-зимнее снижение уровня освещенности? Быть может, САР — аналог зимней спячки животных? По всей вероятности, нет. Во время спячки у животных, как правило, снижается температура тела, прекращается половая активность, и всю зиму они охвачены глубоким сном. Ничего подобного у людей, страдающих САР, не наблюдается; более того, судя по электроэнцефалограммам, время, приходящееся на долю глубокого сна, у них даже сокращается.

Риск сезонной депрессии, возможно, увеличивается из-за современного стиля жизни, когда человек меньше находится на солнечном свете. Д. Крипке с сотрудниками определяли, сколько времени ежесуточно здоровые взрослые жители г. Сан-Диего (расположенного в районе с весьма благоприятным климатом) подвергаются воздействию солнечных лучей. К удивлению исследователей, оказалось, что мужчины проводят на солнце только 75 мин в сутки, а женщины — 20 мин. Не обязательно всем непременно жить в Калифорнии, но, наверное, многим следует все-таки больше времени бывать на солнечном свете — как это делали наши предки. Быть

может, позаботиться об адекватном световом облучении особенно нужно людям, работающим в помещениях, ведь занимаемся же мы спортом, чтобы компенсировать недостаток физической активности.

О расстройствах настроения и аппетита, а также о связи между серотонином и мелатонином еще многое неизвестно. Почему, к примеру, человек, страдающий САР, одинаково хорошо реагирует и на дополнительное световое облучение, лечебное действие которого предположительно опосредовано мелатонином, и на препа-

раты, стимулирующие освобождение серотонина? На какие звенья патофизиологического процесса, обуславливающего САР, влияют эти терапевтические подходы? Прежде чем ответить на такие вопросы, полезно было бы выяснить, оказывает ли свет или мелатонин прямое действие на нейроны, выделяющие серотонин. А пока за неимением лучшего остается лишь с удовлетворением констатировать, что описанные расстройства эффективно поддаются лечению новыми методами, пусть даже механизмы их действия еще не понятны.

Наука и общество

Нашествие программ-вирусов

В НАЧАЛЕ ноября прошлого года почти весь мир облетело неожиданное известие о том, что несколько программ, получивших название «вирус» или «червяк» и изобретенных молодым «энтузиастом», на какое-то время парализовали сеть Internet, которая объединяет тысячи ЭВМ, принадлежащих научно-исследовательским центрам в различных городах США. Эти программы, подобно электронным лягушкам, перескакивали из одной машины в другую, размножаясь во все больших количествах и вытесняя другие, полезные программы. Хотя национальной безопасности на этот раз ничто не угрожало (участие Пентагона в сети Internet ограничивается лишь финансированием линий связи с университетскими вычислительными центрами и исследовательскими группами), это событие насторожило и вызвало тревогу за безопасность других, более важных сетей, таких, например, по которым ежедневно между различными банками осуществляются трансфертные операции на сумму около 700 млрд. долл.

По словам Ч. Уилка из Управления по научно-технической оценке при конгрессе, перед разработчиками сетей всегда стоял вопрос: «Как сделать интерфейс, чтобы он был дружелюбным пользователям и недружелюбным — по отношению к недружелюбным?»

Создатели сети Internet «сознательно пошли на то, чтобы максимально расширить функциональные возможности системы, понимая, что в определенной степени она будет уязви-

мой», говорит Р. Фрэнк, ведущий специалист по компьютерным системам в Мичиганском университете. На самом деле лазейки в сети Internet, которыми воспользовался «вирус», были хорошо известны специалистам, но лишь немногие из них не пожалели времени на то, чтобы закрыть их.

Сочетание свойств, позволивших так легко парализовать сеть Internet, — это ее доступность для любого пользователя — от любого студента до корпораций, производящих микросхемы, — ее чрезвычайно высокое быстродействие и относительно открытая архитектура. Эти же свойства, разумеется, обусловили и ее эффективность. Например, возможность использовать программу любой машины в сети на любой другой машине дополняется наличием распределенных файловых систем, разнообразных справочных каталогов и электронной почты, а также многими другими свойствами. Локальные сети, для которых также характерно сочетание высокой пропускной способности с простым доступом и низкой защищенностью (правда, у них нет связей в масштабах всей страны), вполне могут стать следующей жертвой какого-нибудь энтузиаста-злоумышленника, отмечает Ю. Спаффорд из Университета Пардю. Хотя в некоторых локальных сетях для связи между машинами используются шифрованные пароли, большинство сетей вполне доступно для любого, кто располагает персональным компьютером и соединителем с коаксиальным кабелем сети.

Обычно защищенность системы находится в обратной зависимости от ее гибкости и производительности. Так, сеть UUCP (от UNIX to UNIX Copy,

что означает возможность соединения компьютеров, работающих с операционной системой UNIX) также доступна любому пользователю, но она передает данные по стандартным телефонным линиям связи со скоростью несколько тысяч бит в секунду, в отличие от сети Internet, передающей от 50 тыс. до 3 млн. бит в секунду. Хотя аналогичный «вирус» мог бы поразить и UUCP, как говорит Спаффорд, он успел бы распространиться всего на несколько машин за день-два, в течение которых был бы обнаружен. Сеть Fedwire, ежедневно осуществляющая трансфертные операции на общую сумму около 700 млрд. долл. между различными финансовыми учреждениями в пределах США, является менее уязвимой, однако ее консультант по вопросам обеспечения защиты Р. Куртни считает, что она работает немногим «быстрее железнодорожного экспресса». Но и эта сеть часто становится жертвой махинаций, которые ежегодно обходятся ее пользователям в несколько сот миллионов долларов.

В то же время пользователи потеряют больше, изолировав себя от внешнего мира, чем приобретут за счет обеспечения большей безопасности. Но как же в таком случае сделать сеть менее уязвимой? Ответ, если, конечно, он существует, наверное, представляет собой военную тайну, но несомненно, что важная роль здесь отводится шифрованию информации. Не только пароли, но и сама передаваемая информация должны быть представлены в закодированной форме. Однако подобное кодирование снижает производительность сети, требует дополнительной аппаратуры, материальных и временных затрат, связанных с распределением ключей среди пользователей.

Но даже кодирование не гарантирует полной безопасности. Пользователи могут случайно раскрыть ключи, а компьютерные атаки становятся все более изощренными. Вирус, поразивший Internet, проник в сеть, раскрыв пароли, хранящиеся в закодированном виде, путем последовательной подстановки имеющихся в собственном списке часто встречающихся паролей. Специалисты подсчитали, что кодирование словаря, содержащего 50 тыс. слов, и сопоставление с ним паролей может быть произведено менее чем за час работы компьютера. (Теперь в сеть Internet в качестве паролей вводятся бессмысленные буквосочетания, а файлы, содержащие пароли, становятся недоступными.)

Тем не менее для некоторых сетей усилия, затраченные на кодирование, по-видимому, не пропали бы даром.

В качестве примера Куртни приводит сеть, которой пользуется корпорация IBM: в Европе она базируется на линиях связи, принадлежащих государственным телефонным компаниям, причем несколько частично или полностью государственных компаний, занимающихся производством вычислительной техники, являются главными европейскими конкурентами IBM. Никто не осмелился бы воспользоваться сетью, не прибегая к шифровке сообщений, говорит Куртни. То же самое относится к сети Milnet, которой пользуется министерство обороны для передачи секретной информации.

Однако что касается сети Internet и других подобных сетей, то для их защиты едва ли будут предложены или предприняты какие-либо новые радикальные меры. Никто не передает по этим каналам секретные данные, говорит Куртни. И отключение от сети будет стоить пользователям гораздо дороже, чем получаемые от нее выгоды с учетом потерь. Во всяком случае, многие пользователи сетей больше

всего опасаются не злоумышленников, а случайных аварий, таких, например, как случившийся в прошлом году пожар, в результате которого сгорел коммутирующий компьютер фирмы Bell в Иллинойсе. По некоторым оценкам, пожар обошелся абонентам телефонной сети и местным властям более чем в 500 млн. долл.

Куртни считает, что случай, имевший место в сети Internet, был «безмерно раздут». Пользователи компьютеров должны были бы уже привыкнуть к мысли, что время от времени по тем или иным причинам на их машинах случаются сбои, и соответствующим образом предусмотреть такую возможность. К сожалению, до сих пор господствует миф о неуязвимости вычислительной техники. В качестве положительного примера Куртни приводит аварийный план, составленный для компьютерной системы министерства обороны, обслуживающей более 3,5 тыс. человек. Этот план, по мнению специалистов, не допускает вмешательства в работу системы даже господ Бога.

Вниманию читателей!

ГОТОВИТСЯ К ПЕЧАТИ
переводной журнал ТИИЭР, т. 76, № 10
(октябрь 1988)

В номере помещены обзорные статьи:

ЖУРНАЛ PROCEEDINGS OF THE IEEE Э. К. Гэнетт

Прослеживается история журнала Proceedings of the IEEE. Приводится перечень тематических выпусков, вышедших в разные годы.

ТЕХНОЛОГИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ: ИЗБРАННЫЕ ПРИМЕРЫ Дж. Франклин и др.

Рассматриваются вопросы применения экспертных систем к решению сложных военных задач. Кратко излагаются требования к подобным систе-

мам. Описываются методы решения задач в условиях неопределенной информации и плохо структурированных процедур на основе байесовского подхода и теории нечетких множеств.

Имеется также дополнительный тематический библиографический список.

ЭВОЛЮЦИЯ МОП-ТРАНЗИСТОРА: ОТ ИДЕИ ДО СБИС С.-Т. Са

Подробно рассмотрена история создания, технология изготовления и конструктивное оформление МОП-транзистора, а также СБИС на МОП-структурах.

Цена номера 3 р. 30 к.

Предварительные заказы можно направлять до 15 апреля 1989 г. по адресу: 129820, ГСП, Москва, И-110, 1-й Рижский пер., 2, издательство «Мир», редакция ТИИЭР. Телефон 286-84-83.



Охота за проконсулом

Проконсул — ископаемая обезьяна, остатки которой обнаружены 60 лет назад, в настоящее время считается последним общим предком крупных человекообразных обезьян и человека

А. УОКЕР, М. ТИФОРД

ИСКОПАЕМАЯ обезьяна *Proconsul* (проконсул) ныне является наиболее известным нашим предком, хотя ее путь к «славе» — из темного раскопа в Африке на авансцену науки — был полон перипетий и неожиданных событий. Описывая этот путь, приходится говорить о невероятном, когда отдельные части важных находок, будучи извлеченными на поверхность, разъединялись и отправлялись в различные страны, чтобы потом воссоединиться вновь лишь спустя несколько десятилетий. Наше повествование имеет счастливый конец: в недавних экспедициях к местам прежних раскопок было открыто почти 800 новых особей гоминидов — представителей надсемейства приматов, куда входят три семейства: гиббоновые, или малые человекообразные, понгиды, или крупные человекообразные, и собственно люди. Благодаря этим находкам существенно увеличилась выборка ископаемых остатков представителей рода *Proconsul* и стало возможным использовать проконсула в качестве модели последнего общего предка для понгид и человека.

История открытия самого проконсула такова. В 1927 г. Г.Л. Гордон, поселившийся в Западной Кении, обнаружил в каменоломне, где он добывал известняк, ископаемые остатки животного. Находка была отправлена в Британский музей палеонтологу А. Тинделлу Хопвуду. Один из фрагментов представлял собой всего лишь единственный зуб, торчавший из камня величиной с ладонь. Однако после удаления скальной породы была обнаружена скрытая в ней левая верхне-челюстная кость гоминоида. Судя по другим ископаемым остаткам, найденным в каменоломне, их отложения относятся к нижнему миоцену и датируются примерно 18 млн. лет.

В 20-е годы ископаемые человекообразные обезьяны если и были известны, то не столь древние, поэтому новая находка представлялась исключительно важной. Тем не менее Хопвуд решил не публиковать материалов о ней до тех пор, пока не получит

дополнительных доказательств того, что он открыл нового примата. Добыв денег для организации экспедиции, он отправился в 1931 г. в Кению, где ему удалось найти еще несколько ископаемых остатков гоминидов. Спустя два года Хопвуд опубликовал материал о своих находках, выразив убеждение, что челюстная кость, обнаруженная Гордоном, принадлежала представителю нового рода приматов — предков шимпанзе.

В то время в Лондоне, в одном из известных варьете выступал шимпанзе по кличке Консул, который носил костюм и шляпу, ездил на велосипеде и курил трубку. По странной прихоти Хопвуда новая человекообразная обезьяна была названа в честь этого шимпанзе *Proconsul africanus*.

Поиски ископаемых остатков представителей рода *Proconsul* продолжались. Важную главу в историю этих поисков вписали Луис и Мэри Лики, которые в 1940-х — начале 1950-х гг. организовали ряд экспедиций в Западную Кению. На острове Русинга (оз. Виктория) М. Лики сделала в 1948 г. самую известную из всех находок, относящихся к проконсулу: на склоне оврага в мягкой осадочной породе ею был обнаружен череп одного из представителей этого рода. К сожалению, боковой отдел черепа и затылочный, вышедший на поверхность, сохранились не полностью и были представлены отдельными фрагментами, обнаруженными ниже по склону оврага. Передний же отдел и челюсти сохранились почти полностью.

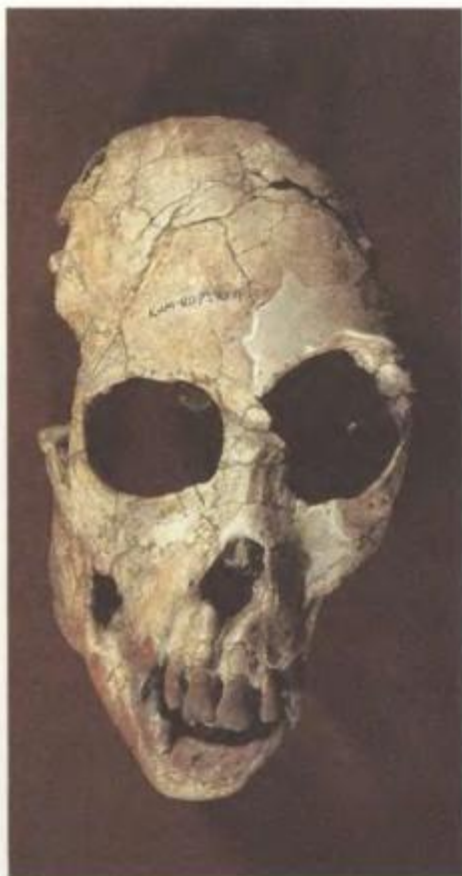
Этот череп предположительно отнесли к тому же виду, что и челюстную кость, найденную Гордоном и описанную Хопвудом. Однако другие открытия четы Лики свидетельствовали в пользу существования на острове Русинга и близлежащем острове Мфангано двух видов проконсула: крупного, величиной с шимпанзе *Proconsul nyanzae*, и более мелкого *Proconsul africanus*, который был представлен челюстной костью, обнаруженной Хопвудом, и черепом «1948».

Следующая важная находка была сделана в 1951 г. геологом Т. Уит-

вортом, проводившим изыскания в районе Киаканга на острове Русинга. В вертикальной трубообразной полости, заполненной зеленокаменными породами и окруженной серыми осадочными породами, не содержащими ископаемых остатков, им был обнаружен скелет свиньи и другие кости. Среди фрагментов костей, с трудом отделенных от очень твердой породы, были части черепа, большая часть костей передней конечности и кисти, фрагменты костей стопы, — все это принадлежало одному и тому же представителю рода *Proconsul*, не вполне взрослому, скорее даже «подростку».

Исследователи предположили тогда, что трубообразная полость, заполненная зеленокаменными породами, включавшими крупнозернистый вулканический пепел, некогда нанесенный водой, представляет собой большой, вырытый рекой «колодец», куда вода заносила остатки животных и где они впоследствии fossilizировались. При этом возникали две проблемы. Во-первых, поскольку остатки животных могли быть принесены из любого места, расположенного выше по течению реки, набор костей, найденных в полости, мог не соответствовать тому сообществу животных, в котором жил проконсул. Во-вторых, «колодец» образовался в уже существовавших плотных отложениях, поэтому он мог заполниться значительно позже, чем произошло отложение окружающих пород, возраст которых составляет 18 млн. лет.

НАХОДКИ, сделанные в 1948 и 1951 гг., недавно вновь оказались в центре внимания исследователей. Поводом к этому послужила запись в полевом дневнике Л. Лики за 1947 г., на которую обратил внимание Мартин Пикфорд из Института палеонтологии в Париже. В ней говорилось о фрагментах черепа, принадлежавшего, вероятно, примату, которые были найдены на том же месте, где М. Лики спустя год обнаружила череп проконсула. Пикфорд предположил, что то могли быть также



ЧЕРЕП *PROCONSUL AFRICANUS* (вверху) в профиль и анфас. Он был найден (без нескольких фрагментов) в 1948 г. Мэри Лики на острове Русинга (оз. Виктория). Недостающие фрагменты были добавлены в 1981 г. М. Пикфордом и одним из авторов статьи (Уокером), которые обнаружили их среди фрагментов костей черепов. Коричневые кости

кисти (внизу слева) и стопы проконсула (справа) найдены на острове Русинга в 1951 г. группой исследователей, которую возглавлял Луис Лики. Белые кости найдены 30 лет спустя в коллекциях Национальных музеев Кении. Разница в цвете связана с использованием различных консервантов.

фрагменты затылочного отдела черепа проконсула, т. е. той его части, которая вышла на поверхность и разрушилась в результате эрозии. После длительных поисков ему все же удалось найти эти фрагменты в коллекции костей черепах, хранящихся в Национальном музее в Найроби. Это действительно оказались недостающие фрагменты затылочного отдела черепа проконсула.

Пикфорд и один из авторов статьи (Уокер) смогли почти полностью восстановить череп — от его носовой и верхней части до большого затылочного отверстия.

Теперь, располагая более полным черепом, у нас появилась возможность ответить на вопрос, представляющий особый интерес для биологов-эволюционистов: насколько «мозговитым» был проконсул, или какова была степень его энцефализации. Этот показатель рассчитывается по отношению объема мозга к весу тела. Обычно емкость черепа оценивается по объему воды, вытесняемой слепком внутренней полости черепа. Очевидно, что для подобной процедуры необходим неповрежденный экземпляр, череп же проконсула был несколько сплюснен и смят.

Пикфорд, Дин Фок из Нью-Йоркского университета в Олбани, Ричард Дж. Смит из Вашингтонского университета и один из нас (Уокер) изобрели простой способ определения емкости черепа. Поскольку кость — неэластичный материал, длины дуг на внутренней поверхности черепа проконсула не изменились. Более того, по своей

форме мозг проконсула схож с мозгом узконосых обезьян, или обезьян Старого Света. Мы располагали целым рядом слепков внутренней полости черепа низших узконосых обезьян и, измеряя черепные дуги, установили статистическую связь между длиной дуги и емкостью черепа для этих представителей отряда приматов. Далее мы смогли измерить длину черепной дуги у проконсула от лобных долей мозга до заднего края большого затылочного отверстия. Предположив, что для проконсула характерны те же соотношения, что и для узконосых обезьян, мы оценили емкость его черепа в $154-180 \text{ см}^3$ (в среднем 167 см^3).

Что касается веса тела, то его можно определить по различным измерениям костей конечностей. Путем расчетов, основанных на измерениях костей конечностей, найденных в 1951 г., а также ряда других находок, которыми мы располагали, было сделано заключение, что *Proconsul africanus* обладал большим объемом мозга по сравнению с современными обезьянами примерно такого же размера. Мы предполагаем, что выраженная энцефализация — характерная черта современных понгид, или крупных человекообразных обезьян, хотя этого нельзя утверждать со всей определенностью. Современные понгиды — орангутан, шимпанзе, горилла — гораздо крупнее вымерших человекообразных обезьян и хотя абсолютные размеры мозга увеличиваются по мере увеличения размеров тела, относительные его размеры уменьшаются. Если, однако, энцефализация — это особенность круп-

ных человекообразных обезьян, она проявляется на очень ранних стадиях их эволюции.

По черепу проконсула, обнаруженному в 1948 г., недавно было установлено еще одно сходство между современными и древними приматами. Уилфрид Ле Гро Кларк, впервые описавший череп проконсула, отметил, что в нем имеются лобные пазухи, или воздушные пространства, внутри лобной кости. Это важная особенность, так как лобные пазухи есть у человека и африканских человекообразных обезьян, но отсутствуют у орангутанов, низших узконосых и представителей семейства гиббоновых (сиаманги и гиббоны). Примерно 3 года назад Стивен К. Уорд из Кентского университета, анализируя размеры и форму лицевых пазух у высших приматов, еще раз изучил череп проконсула. К сожалению, область лобных пазух была залита гипсом, и их можно было увидеть только с помощью рентгеновских лучей. Из-за своеобразной фоссилизации отложений на острове Русинга на рентгенограммах нельзя было отличить скальную породу, заполнявшую пазухи, от кости и гипса, Уорд не смог подтвердить наблюдения Ле Гро Кларка.

Недавно один из нас (Уокер) сумел удалить гипс, после чего открылись необычно крупные, заполненные каменной породой лобные пазухи, распространявшиеся далеко в заднем направлении. Тем самым было показано, что эти миоценовые гоминоиды имели по крайней мере некоторые черты сходства с современными крупными человекообразными обезьянами в противоположность малым человекообразным и низшим узконосым.

ЕЩЕ БОЛЕЕ запутанной оказалась судьба находки 1951 г. Обнаруженные в Кении, в местонахождении, названном R114, ископаемые кости были извлечены из зеленокаменных пород и отправлены Ле Гро Кларку, который передал их Джону Р. Нейпье. Нейпье и его коллега Питер Р. Дэвис — оба из Королевской бесплатной больницы в Лондоне — использовали кости для воссоздания основных этапов эволюции конечностей и кисти у приматов, написав на эту тему классический труд. В 1964 г. Нейпье вернул кости в Кению.

Их воссоединение с костями проконсула произошло благодаря счастливому стечению обстоятельств. В начале 1980-х гг. коллекция остатков миоценовых ископаемых свиней, которая была взята для исследования одним палеонтологом, возвратилась в Национальные музеи Кении. Коллекция состояла из скелета иско-



НА ОСТРОВЕ РУСИНГА найдены многие остатки представителей рода *Proconsul africanus*. Мэри Лики обнаружила в 1948 г. череп проконсула в местонахождении R106. Важная находка была сделана в 1951 г. Т. Уитвортом в местонахождении R114. На том же острове в районе Касванга, обследованном во время первой экспедиции авторов, обнаружены сотни ископаемых остатков приматов, в том числе как минимум 9 скелетов проконсула.



ЭВОЛЮЦИОННОЕ ДРЕВО ГОМИНОИДОВ — надсемейства приматов, включающих три семейства: гиббоновых, или малых человекообразных обезьян (гиббоны и сиаманги); понгид, или крупных человекообразных обезьян (шимпанзе, гориллы и орангутаны), и людей. Проконсул жил 18 млн.

лет назад в эпоху нижнего миоцена. Хотя его и объединяют некоторые черты сходства с современными гориллами и шимпанзе, большинство этих черт носит неспециализированный характер; это говорит о том, что проконсул является последним общим предком всех понгид и человека.

пасмой свиньи, а также блока зеленокаменных пород, в котором видны были кости, по предположению также принадлежавшие свиньям. Однако это предположение не разделял специалист по ископаемым свиньям, который и отделил эти кости от остальных.

Во время посещения Национальных музеев Кении в 1980 г. Уокер изучил кости, обнаруженные в зеленокаменных породах, и пришел к выводу, что они представляют собой кости нижней конечности и стопы той особи проконсула, которую описали Нейпье и Дэвис. Идентификация костей облегчалась тем, что они принадлежали еще не совсем взрослому индивидууму: многие эпифизы — концевые части растущей кости, отделенные хрящевыми зонами роста от тела кости, — еще не срослись с самой костью. Результаты анализа этих костей позволили впервые оценить пропорции кисти и стопы проконсула, которые характеризовались чертами, присущими как человекообразным, так и низшим узконосым обезьянам; кроме того, судя по этим результатам, проконсул был медленно передвигавшимся четвероногим существом.

Пикфорду и Уокеру пришла в голову мысль, что другие кости проконсула также могли находиться среди остатков ископаемых свиней, хранимых в Национальных музеях Кении.

Действительно, пересмотрев каждую кость из названного местонахождения, они нашли много новых фрагментов скелета проконсула: лопатку, части плечевой кости, еще несколько костей кисти, локтевые и большеберцовые кости, фрагменты обеих бедренных костей. Благодаря этой находке можно было определить пропорции конечностей животного, которые опять-таки обнаруживали черты, свойственные как высшим, человекообразным (передняя конечность), так и низшим узконосым (задняя конечность) обезьянам.

Если кости обезьяны и ископаемой свиньи можно было перепутать в музейных коллекциях, то же самое могло случиться и во время раскопок. Поэтому Пикфорд и Уокер отправились на поиски не замеченных ранее костей проконсула к местонахождению R114, где все оставалось так же, как и в 1951 г., лишь заросло травой. Исследователи нашли место раскопок, но из-за отсутствия времени не смогли начать работы. Мы занялись этим в 1984 г. и были вознаграждены находками верхней челюсти, половинки ключицы, клыка, кости стопы, костей правой кисти, сцементированной скальной породой, не говоря уже о костях других млекопитающих. Так, через 30 с лишним лет различные фрагменты скелета *Proconsul africanus*, оставшиеся на прежнем месте в

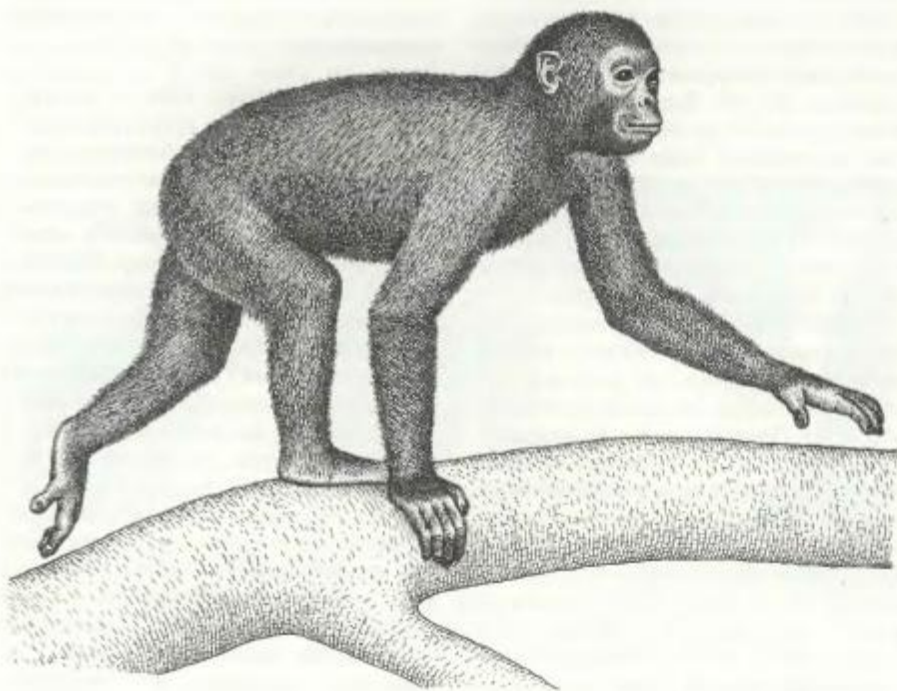
«колодце» или хранившиеся под другими названиями в музее, были наконец воссоединены, и сейчас скелет «1951» является наиболее полным из всех скелетов крупных миоценовых гоминоидов.

В ЭКСПЕДИЦИИ 1984 г. многое удалось узнать о структуре самого «колодца», что в свою очередь имело большое значение для понимания палеоэкологии проконсула. Несколько недель с трудом пробиваясь через осадочную скальную породу, окружающую «колодец», исследователи установили, что его глубина составляет по меньшей мере 4 м. Отдельные слои отложений располагались не симметрично вокруг «колодца», а были неровными, как если бы они откладывались вокруг какого-то вертикального круглого предмета. Небольшие геологические разломы с каждой стороны «колодца» подтверждали это предположение: что-то было на пути несомого водой ила, что-то мешало его отложению и в конце концов обрушилось, образовав разломы в осадочных породах. Эта гипотеза объясняла и асимметричность отложений: слой галек и гравия был толще с той стороны, которая находилась выше по течению.

Вскоре стало ясно, как образовался «колодец». На этом месте 18 млн. лет назад стояло большое дерево, кото-



СКЕЛЕТ ПРОКОНСУЛА, реконструкция которого заняла 30 лет. Части, первоначально обнаруженные Уитвортом, закрашены серым; найденные в коллекциях Национальных музеев Кении в 1984 г. Пикфордом и Уокером — голубым; обнаруженные авторами в местонахождении R114 в 1984 г. — красным.



ПРОКОНСУЛ — так он мог выглядеть 18 млн. лет назад. Меньший из двух видов, обитавших на острове Русинга, был величиной с самку павиана, с передними и задними конечностями примерно одинаковой длины. Он двигался довольно медленно и, вероятно, не обладал морфологическими специализациями, которые позволяли бы ему прыгать, раскачиваться на руках, перемещаться, опираясь на суставы пальцев верхних конечностей, и вести наземный образ жизни. Представители более крупного вида весили почти в 4 раза больше, чем мелкого.

рое постепенно заносилось илом и песком. Со временем дерево погибло, его ствол изнутри сделался полым и в нем стали селиться вараны, питоны, летучие мыши и мелкие хищники. Остатки этих животных и их жертв оставались в стволе. Один из хищников, вероятно, поймал проконсула и принес его в дупло, чтобы съесть. Действительно, на некоторых суставных поверхностях костей проконсула видны следы зубов. Постепенно ствол дерева заполнился смесью из костей и речных отложений, которые в конце концов затвердели, образовав столб породы, дошедший до нашего времени.

Раскрыв тайну образования «колодца», мы решили две основные проблемы. Во-первых, теперь уже несомненно, что зеленые заполняющие породы и встречающиеся в отложениях окаменелости имеют одинаковый возраст с окружающими «колодец» наносами пород и песка; так как выше и ниже наносов находились слои лавы, датировку которых можно было осуществить с помощью калий-аргонового метода, возраст наносов был определен в 18 млн. лет. Во-вторых, поскольку ствол дерева содержал окаменевшие кости животных, использовавших его для ночлега или в качестве убежища, совокупность фаунистических остатков характеризует местное сообщество животных, в котором жил проконсул.

Во время раскопок местонахождения R114 были сделаны, хотя и случайно, другие важные находки. После одной из гроз — частого явления над озером Виктория — место раскопа оказалось до краев заполнено водой. Группа исследователей из Национальных музеев Кении, которую возглавлял Камоя Кимеу, воспользовавшись вынужденным перерывом в работе, решила обследовать близлежащие районы острова. Путешествие оказалось на редкость удачным: было обнаружено новое местонахождение, принесшее с тех пор сотни целых костей и тысячи костных фрагментов и получившее название «приматологического местонахождения Касванга». Его залежи оказались настолько богатыми, что мы решили договориться с местными властями, что территория местонахождения не будет возделываться под посевы маиса в течение 5 лет.

Находки включали по меньшей мере 9 целых или частично сохранившихся скелетов проконсула, смытых в небольшую лошину, находившуюся на древней миоценовой террасе. Эти скелеты принадлежали человекообразным обезьянам разного возраста — от маленьких детенышей до взрослых особей, вероятно, как мужского,

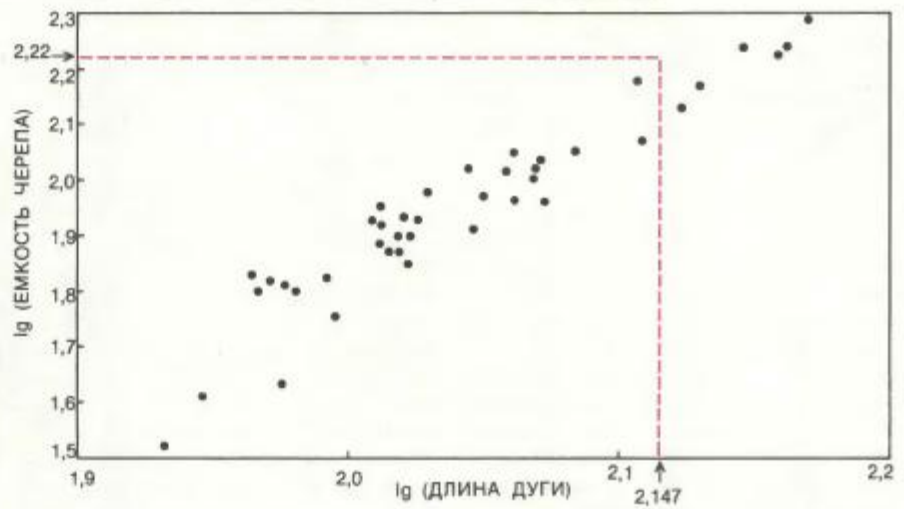
так и женского пола. К настоящему времени известны практически все части скелета проконсула от одного или нескольких индивидуумов.

К сожалению, большая часть костей из местонахождения Касванга была расколота или расщеплена корнями растений или в результате набухания глинистых или илистых отложений, в которых залежали ископаемые остатки. Мы были вынуждены заняться восстановлением костей и их склеиванием, причем эта работа продолжается по сей день. Хотя крупные кости проблем не представляют, отличить небольшие цилиндрические фрагменты длинных костей конечностей детеныша от костей пальцев кисти и стопы молодой и взрослой особи довольно затруднительно.

Ископаемые остатки из Касванга позволили вычислить пропорции кисти, стопы и конечностей проконсула. Когда кости будут восстановлены, мы сможем проследить различные стадии развития проконсула. Поскольку анализ вновь найденных костей займет несколько лет, мы решили сконцентрировать внимание в первую очередь на тех костях, которые были объектом предыдущих исследований. При этом нам сразу же удалось разрешить противоречие относительно особенностей функциональной анатомии лучезапястного сустава проконсула и его эволюционного значения.

Строение запястья у человекообразных обезьян и человека отлично от такового большинства млекопитающих, в том числе и низших узконосых обезьян: в нем не происходит должного сочленения между одной из костей предплечья — локтевой — и собственно запястьем. У низших узконосых обезьян, напротив, небольшой костный вырост локтевой кости входит во впадину, образуемую двумя косточками запястья — гороховидной и трехгранной.

В скелете проконсула «1951» сохранились кости левой кисти, что послужило материалом для написания ряда статей, не говоря о нескольких докторских диссертациях. Трехгранная кость, однако, была сильно повреждена, и это привело к разногласиям относительно строения лучезапястного сустава проконсула. Раскопки в Касванге дали целый набор новых образцов гороховидной и трехгранной костей. Работая с К. Кристофером Бирдом из Университета Джонса Гопкинса, мы смогли установить сходство между строением лучезапястного сустава проконсула и низших узконосых обезьян в том отношении, что у них существует прямое сочленение между запястьем и локтевой костью. Несмотря на эту примитив-

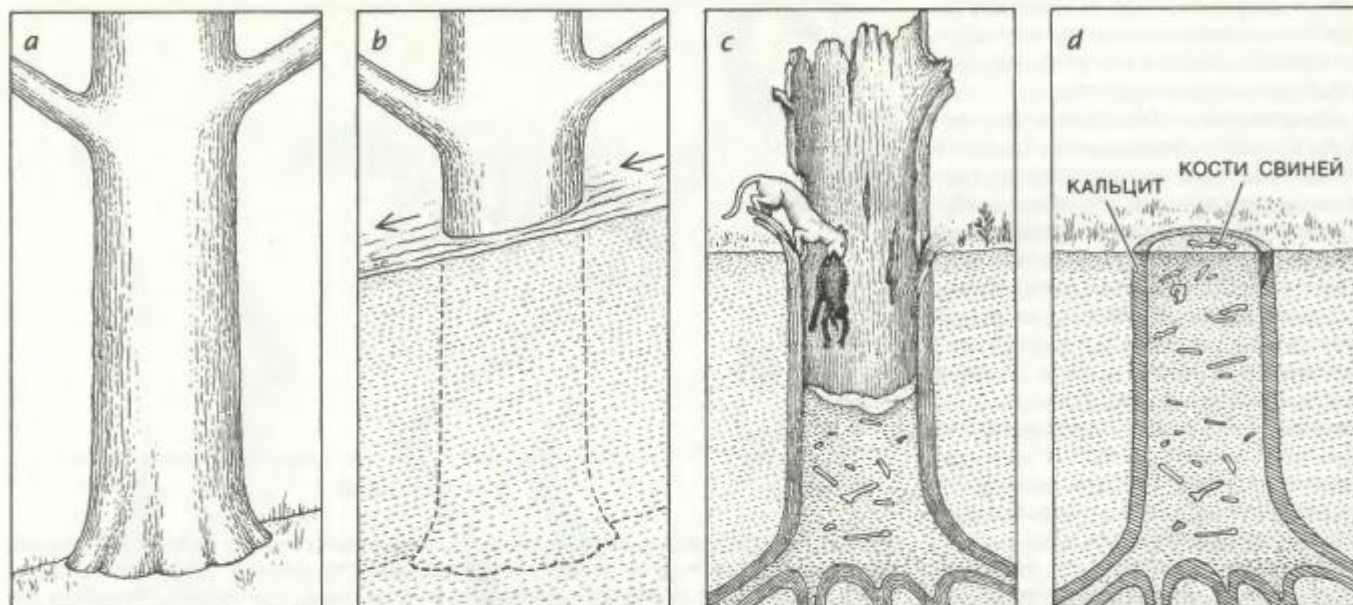


ЕМКОСТЬ ЧЕРЕПА современных низших узконосых обезьян в соотношении (логарифмическом) с длиной дуги черепа. Провести прямые измерения объема мозга проконсула оказалось невозможно из-за того, что череп «1948» был деформирован (см. рис. на с. 57). Длины дуг вдоль черепа остались, однако, неизменными. Поскольку мозг проконсула по форме сходен с таковым низших узконосых обезьян, можно предположить, что для него сохраняются те же соотношения между длиной дуги и емкостью черепа. Длина внутренней дуги черепа «1948» от лобной части до большого затылочного отверстия составляет около 140 мм. Отметив десятичный логарифм этой величины на горизонтальной оси (2,147), найдем логарифм емкости черепа, равный 2,22. Следовательно, сама емкость черепа составляет 167 см³.

ную черту, другие особенности строения запястья проконсула «предвещали» большую функциональную подвижность сустава, характерную для современных гоминидов.

«Гибридный», или мозаичный, тип строения часто наблюдается при анализе миоценовых гоминидов. Как заметил Майкл Д. Роуз из Университета медицины и стоматологии в Нью-Арке (шт. Нью-Джерси), миоценовые гоминиды не похожи ни на низших узконосых, ни на человекообразных обезьян — они похожи на миоценовых гоминидов. Уникальное сочетание признаков делает функциональную интерпретацию ископаемых остатков проконсула затруднительной как из-за отсутствия анатомических моделей у современных животных, так и потому, что каждый из анатомических комплексов проконсула характеризуется неповторимой комбинацией особенностей. Например, некоторые из костей стопы (таранная и другие) более тонки и похожи на соответствующие кости низших обезьян, но кости большого пальца массивны и напоминают таковые человекообразных. Таким же «гибридным» характером отличается и строение таза проконсула: подвздошная кость (верхняя часть таза) сходна по своему строению с соответствующей костью низших обезьян, а вертлужная впадина (место сочленения с головкой бедренной кости) широкая и неглубокая, как у человекообразных обезьян.

На основании ряда свидетельств ученые начинают понимать, что предки низших узконосых обезьян на некоторой ступени эволюции проводили на земле больше времени, нежели их ныне живущие потомки. Это в свою очередь наводит на мысль, что многие черты сходства между проконсулом и современными понгидами являются попросту примитивными особенностями, сохранившимися у понгид в течение миллионов лет. Такие неспециализированные черты не являются признаками близкого эволюционного сходства. (В конце концов и у человека, и у опоссума по пять пальцев.) Строение таза проконсула, например, свидетельствует, что у этого существа не было седалистных мозолей — ороговевших разрастаний на ягодицах, на которых сидят гиббоны и низшие узконосые обезьяны. Однако отсутствие седалистных мозолей — это примитивная особенность, а их наличие — специализированная черта, объединяющая гиббоновых с низшими узконосыми. Отсутствие седалистных мозолей не связывает проконсула с шимпанзе, также не имеющей их. Шимпанзе просто сохраняет предковую особенность, идущую от более ранних эволюционных этапов, чем стадия проконсула. С другой стороны, лобная пазуха имеется у проконсула, человека и понгид, но не у гиббоновых и низших узконосых обезьян. Такое распределение специализированных черт указывает, что проконсул ближе стоит к современным



«КОЛОДЕЦ», в котором найден скелет проконсула «1951», образовался в результате отложений пород вокруг ствола дерева. В эпоху нижнего миоцена дерево стояло возле реки (а) и постепенно заносилось серыми осадочными породами (б). Со временем ствол сгнил изнутри и сделался полым (с), и животные начали использовать его в качестве

жилища. Мертвого проконсула, вероятно, принес в дупло креодонт. Постепенно дерево заполнилось костями и зеленокаменными породами, в которых и сохранялись окаменелости вплоть до 1951 г. (д). Кора самого дерева в конце концов превратилась в кальцит.

крупным человекообразным обезьянам, чем к современным низшим узконосым обезьянам.

ЭКСПЕДИЦИИ последних лет прояснили также вопрос о количестве видов проконсула, обитавших на островах Русинга и Мфангано. Некоторые ученые в течение ряда лет считали, что небольшая разновидность проконсула, обнаруженная на островах и представленная черепом «1948», который нашла М. Лики, по существу отличается от оригинального *Proconsul africanus*, найденного на материке и представленного челюстной костью Хопвуда. Если эта точка зрения верна, то существует по крайней мере 3 вида — два небольших и один более крупный *Proconsul nyanzae*, также обнаруженный на островах. Другие ученые — Пикфорд, Джей Келли из Университета Брауна, Дэвид Пилбим из Гарвардского университета — утверждали, что существует только два вида проконсула, а небольшие островные экземпляры являются женскими особями более крупного по размерам вида *Proconsul nyanzae*.

Вместе с Кристофером Б. Раффом из нашего отдела Медицинской школы Университета Джона Гопкинса мы смогли проверить обе эти гипотезы, вычислив размеры тела как крупных, так и мелких особей проконсула и сопоставив разницу между ними с величиной полового диморфизма у ныне живущих приматов. Среди сотен новых ископаемых остатков, найденных в Касванге, было и несколько

бедренных костей, принадлежащих как крупным, так и мелким особям. По словам Раффа, он разработал точный метод оценки веса тела четвероногих приматов по толщине костного вещества в поперечном сечении диафиза бедра. На основании анализа четырех целых бедренных костей проконсула — по две на крупных и мелких представителей (что, судя по общему количеству экземпляров, которыми мы располагаем, можно считать представительной выборкой) — были получены оценки веса тела, равные 37 и 9,6 кг, для крупных и мелких особей соответственно. Иными словами, самки должны были весить почти в четыре раза меньше, чем самцы.

Ни у одного из живущих наземных млекопитающих, не говоря уж о приматах, не отмечено столь резко выраженного полового диморфизма по весу тела. Это, по нашему мнению, опровергает ту точку зрения, что крупные и мелкие формы проконсула на острове Русинга представляют собой самцов и самок одного вида, и позволяет сделать вывод, что на островах Русинга и Мфангано 18 млн. лет назад жили два вида древних человекообразных обезьян: небольшой по размерам, но отличный от материкового вида проконсула, описанного Хопвудом, и крупный *Proconsul nyanzae*. Они были похожи друг на друга по форме и пропорциям тела, но различались по размерам.

Сходство формы и пропорций тела свидетельствует о важных параллелях в образе жизни и способах перед-

вижения. Во многих отношениях островные особи проконсула характеризовались примитивным типом пропорций тела и суставных поверхностей. Например, их передние и задние конечности были одинаковой длины. С другой стороны, у них отсутствовал хвост, что является признаком специализации. Нейпье и Дэвис в своей классической монографии утверждали, основываясь на анализе только костей передней конечности, что проконсул был активным прыгающим четвероногим, передвигающимся скорее всего наподобие азиатских лангуров и обладавшим такими костными особенностями, которые свидетельствовали о возможной брахиации — раскачивании на руках.

Новые находки, напротив, указывают, что проконсул перемещался довольно медленно и осторожно, обитал на деревьях и не имел явных морфологических специализаций для прыганья, брахиации, передвижения с упором на суставы пальцев верхних конечностей и вообще жизни внизу, на земле.

Представления о систематическом положении проконсула существенно изменились за те 60 лет, которые прошли со времени открытия Гордоном первого фрагмента челюсти. Хопвуд считал проконсула предковым видом шимпанзе; эта идея была подхвачена в 1960-х — 1970-х гг. некоторыми антропологами, усмотревшими в различных видах проконсула предков разных видов современных крупных человекообразных обезьян.

Однако последнее десятилетие принесло новые обширные материалы, и не только с острова Русинга. Так, Ричард и Мив Лики из Национальных музеев Кении обнаружили на севере этой страны остатки представителей по крайней мере трех новых родов человекообразных обезьян. Эти остатки характеризуются некоторым сходством с проконсулом, но имеют также и отличия. Разнообразие форм человекообразных обезьян в нижнемиоценовый период и при этом лишь на незначительной территории Восточной Африки было явно намного более широким, чем предполагалось ранее.

ЭТИ ОТКРЫТИЯ показали, что традиционная интерпретация эволюции ранних гоминидов была слишком упрощенной и базировалась на выборках, ограниченных во времени и пространстве. Понимание этого

обстоятельства, а также тот факт, что многие признаки, прежде считавшиеся характерными особенностями гоминидов, могут на самом деле рассматриваться как примитивные черты антропоидов в целом, приводят к коренному изменению представлений о проконсуле.

Проконсул не является специализированным предком современных шимпанзе и гориллы. Он обладает многими особенностями, связывающими его с этими современными приматами. Скорее всего это общий предок для всех понгид и человека. Если сравнить проконсула с более ранним предполагаемым предком всех гоминидов, лишь некоторые особенности его строения, такие, как лобные пазухи и отсутствие седлашных мозолей, будут указывать на то, что этот ранний миоценовый примат жил после разделения гиббоновых и понгид.

Наука и общество

Память в нейроне

КОГДА в известных опытах К.И.П.Павлова собака научалась реагировать слюноотделением на звонок колокольчика, что происходило в ее мозге? В свое время бихевиористы считали такой вопрос некорректным, но для современных нейробиологов он самый острый. Ряд исследований свидетельствует, что при выработке условного рефлекса (т. е. когда животное научается ассоциировать стимул — безусловный раздражитель — с условным, на который оно ранее не реагировало; это и имело место у павловской собаки) в нейронах (нервных клетках) происходят специфические изменения на молекулярном уровне и в электрофизиологических процессах.

В ноябре 1988 г. на ежегодном съезде Нейробиологического общества Д. Алкон из Национального института неврологических и речевых расстройств и инсульта представил важные новые данные: в ходе ассоциативного научения в нейронах могут происходить структурные изменения. Такие изменения в нервных клетках обычно наблюдаются только в эмбриональный период и некоторое время после рождения в связи с нормальным развитием. Алкон отмечает, что прежде структурные изменения при ассоциативном научении и запоминании не наблюдались.

Алкон с сотрудниками изучали головаберного моллюска *Hermisenda* — изящное, как бы алебастровое, создание, расцвеченное, точно жокей-

ская форма, неоновыми синими и оранжевыми полосками. Это животное инстинктивно плывет к свету; в море благодаря такой реакции оно движется к поверхности, где питается. В лаборатории Алкона *Hermisenda* обучали реагировать на свет иначе: каждый раз, когда вспыхивал свет, камера, в которой помещалось животное, начинала кружиться на поворотном диске, так что ему приходилось сильнее напрягать мышцу «ноги», чтобы удержаться на стенке камеры. В итоге оно научилось напрягать «ногу» в ответ на свет.

У одной группы животных выработали условный рефлекс, вторую — оставили в качестве контрольной «необученной». Моллюсков третьей группы подвергали воздействию света и вращению, предъявляя эти раздражители не в сочетании, а случайным образом, чтобы убедиться, что сами по себе они прямой реакции не вызывают. Затем у всех особей изучался определенный нейрон, называемый фоторецептором типа В (это одна из пяти нервных клеток глаза *Hermisenda*, воспринимающих свет). У этого нейрона аксон (длинный отросток, по которому нервные импульсы передаются в направлении от тела клетки) разветвляется и образует синаптические контакты с рядом различных нейронов, в том числе с так называемыми вестибулярными клетками, которые посылают сигналы к моторным нейронам, управляющим сокращением мускулатуры «ноги».

Если фоторецептор соответствующим образом окрасить, то с по-

мощью микроскопа видно, что окончания его аксона расходятся веером наподобие буквы дельта. Оказалось, что у тех особей *Hermisenda*, у которых выработался условный рефлекс, эта «дельта» занимала значительно меньшую (на 50%) площадь, чем у животных двух других групп. Как выразился Алкон, окончания словно сфокусировались. Более того, чем сильнее была выражена у особи условно-рефлекторная реакция, тем больше была и «фокусировка» окончаний у данного нейрона. «Известно, что нейрон образует связи со многими клетками, — сказал Алкон. — Мы предполагаем, что фокусировка заключается в ослаблении определенных связей и усилении сигналов, которые теперь направляются к меньшему числу клеток».

Новые данные особенно интересны тем, что ранее Алкон с коллегами наблюдали в той же самой фоторецепторной клетке электрофизиологические и молекулярные изменения. У *Hermisenda* с выработанным условным рефлексом в этом нейроне повышается электрическая проводимость мембраны, что весьма существенно для регуляции передачи сигналов другим клеткам. Оказалось также, что определенный фермент, а именно протеникиназа С, перемещается из центральной части клетки к мембране. В группе Алкона недавно было показано, что протеникиназа С действует на ионные каналы, которые модулируют электрические сигналы, генерируемые клетками. Они обнаружили, что нейроны с наиболее «сфокусированными» аксонными окончаниями обладают и наибольшей способностью к передаче сигналов. Пока не выяснено, усиливают ли наблюдаемые структурные изменения связь между фоторецептором и мышцей «ноги». Установить это можно, например, так: в каждый нейрон, связанный с данным фоторецептором, ввести свой краситель и затем определить, усилились или ослабились синаптические связи изучаемого фоторецептора с каждым из этих нейронов.

По мнению Алкона, результаты его экспериментов с *Hermisenda* могут пролить свет на проблему научения у высших животных, в конечном счете — человека. Его сотрудники обнаружили перемещение протеникиназы С к мембране в нейронах гиппокампа у кролика. Считается, что у млекопитающих этот отдел мозга участвует в образовании следов памяти. «Как видно, в гиппокампе кролика происходят те же биологические и молекулярные изменения, которые мы наблюдали у *Hermisenda*, — говорит Алкон. — Мы намерены искать также аналогичные структурные изменения».

Поиск кратчайших сетей

Как найти кратчайшую сеть отрезков прямых линий, соединяющих произвольное множество, скажем из 100, точек?

Эта задача не поддается ни самым быстродействующим компьютерам, ни самым изобретательным математическим умам

МАРШАЛЛ У. БЕРН, РОНАЛЬД Л. ГРЭМ

ПРЕДСТАВИМ себе такую ситуацию: некая телефонная компания Steiner Telephone Company подсчитала, что можно сэкономить несколько миллионов долларов, если удастся найти кратчайшую из возможных сетей телефонных линий, соединяющих 100 населенных пунктов. Чтобы решить эту задачу, компания заключила контракт с компьютерной компанией Cavalieri Computer Company, располагающей самыми быстродействующими в мире компьютерами и самыми квалифицированными программистами. Через неделю Cavalieri продемонстрировала в действии программу для решения поставленной задачи. Программа действительно нашла кратчайшую сеть для 15 абонентов всего за один час. Steiner заплатила 1000 долл. за программу и пообещала платить по одному центу за каждую секунду машинного времени, которое потребует компьютер для полного решения задачи. К тому времени, когда компьютер завершил вычисления для всех 100 абонентов, телефонная компания задолжала компьютерной многие триллионы долларов, а сами абоненты переместились на много километров со своих мест — либо по своему желанию, либо по причине континентального дрейфа!

Может быть, Cavalieri продала Steiner неправильную программу? Попробуем разобраться. Здесь мы столкнулись с одним из примеров так называемой задачи Штейнера, в которой требуется найти кратчайшую сеть прямолинейных отрезков, связывающих между собой заданное множество точек.

Задачу Штейнера невозможно решить, просто рисуя линии между заданными точками. Для решения необходимо добавить новые точки, называемые точками Штейнера и служащие в качестве узлов искомой кратчайшей сети. Чтобы определить количество и расположение точек Штейнера, математики и программисты разработали специальные алгоритмы. Однако даже лучшие из этих алгоритмов, выполняющиеся на самых

быстродействующих компьютерах, не в состоянии дать решение для большого множества заданных точек за реально приемлемое время. Более того, задача Штейнера принадлежит к классу задач, для которых, по мнению многих современных исследователей, эффективные алгоритмы, по видимому, так никогда и не будут найдены. Поэтому компьютерная компания Cavalieri должна быть реабилитирована.

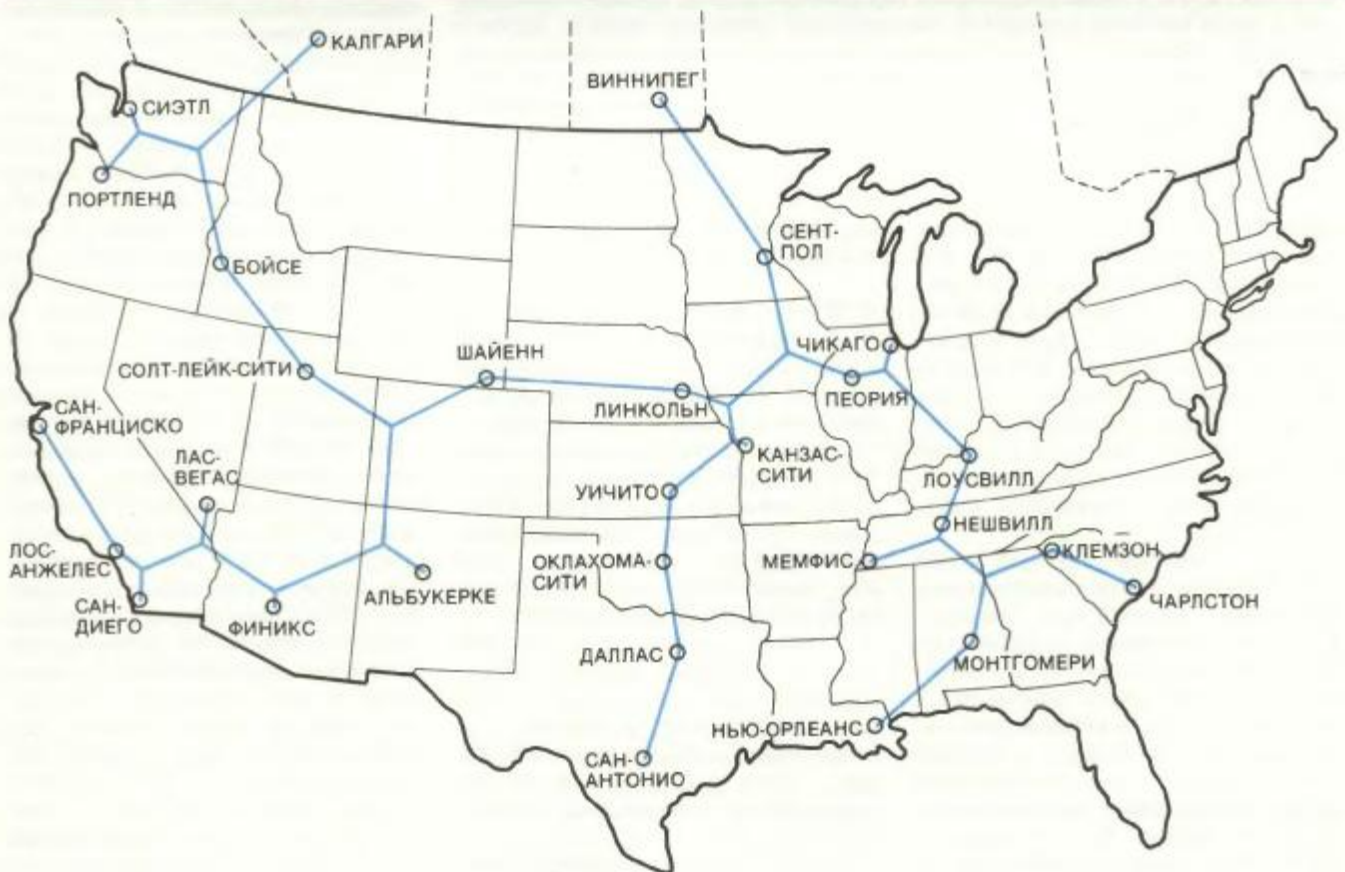
В то же время фирма Cavalieri могла бы разработать практически полезную программу, которая находила бы сеть, несколько более длинную по сравнению с кратчайшей. Приближенные методы решения довольно часто применяются в различных приложениях задачи поиска кратчайших сетей. Среди них — конструирование интегральных электронных схем, построение эволюционного дерева для группы биологических видов и минимизация расхода материалов на создание сетей телефонных линий, трубопроводов и шоссежных дорог.

В ОБЩЕЙ форме задача Штейнера была впервые сформулирована в статье Милоша Кёсслера и Войсеха Ярника, опубликованной в 1934 г., однако сама эта проблема не приобрела широкой известности вплоть до 1941 г., когда Ричард Курант и Герберт Е. Роббинс включили ее в свою книгу "What is Mathematics?" («Что такое математика?»). Курант и Роббинс связали эту задачу с исследованиями Якоба Штейнера, немецкого математика прошлого столетия, работавшего в Берлинском университете. Работа Штейнера была посвящена поиску одной точки, сумма расстояний от которой до всех точек заданного множества была бы минимальной. Однако еще в 1640 г. впервые была поставлена задача, являющаяся частным случаем обеих описанных задач — той, над которой работал Штейнер, и той, которая носит его имя: найти точку P , сумма расстояний от которой до каждой из трех заданных точек минимальна. Эванджелиста Торричелли и Бонавентура Ка-

вальери независимо друг от друга решили эту задачу. Торричелли и Кавальери доказали, что суммарное расстояние минимально, когда все сопряженные углы в точке P больше или равны 120° .

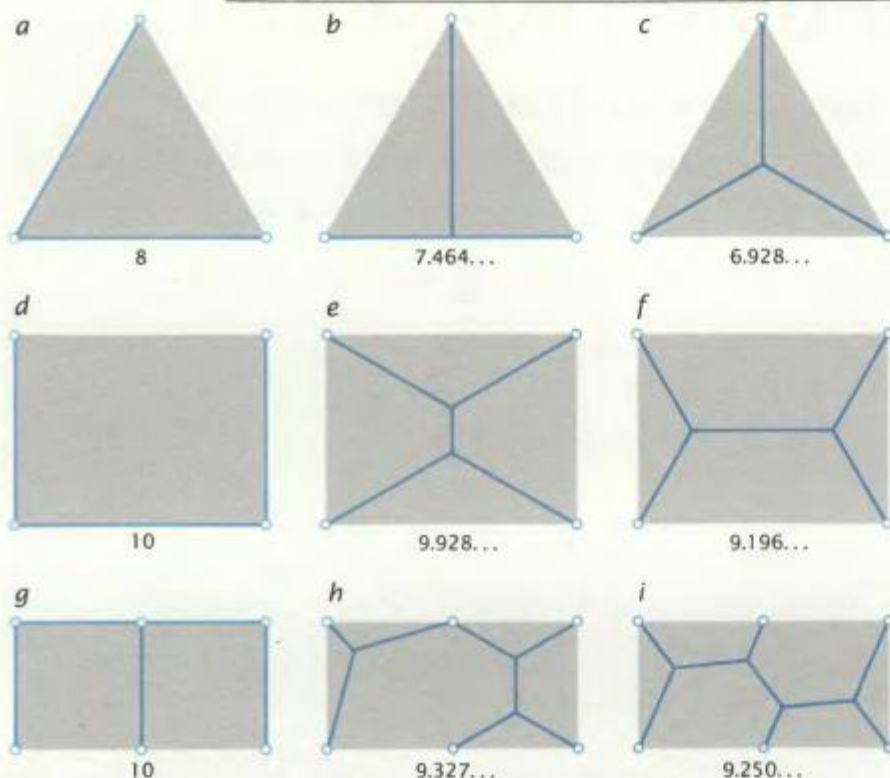
Зная, что углы с вершинами в точке P должны быть не меньше 120° , Торричелли и Кавальери придумали процедуру геометрического построения для нахождения точки P (см. рисунок вверху на с. 67). Нужно провести отрезки прямых, соединяющие исходные точки (назовем их A , B и C), с точкой в вершине наибольшего угла (скажем, B). Если угол B больше или равен 120° , то искомая точка P совпадает с точкой B . Другими словами, кратчайшая сеть в данном случае представляет собой просто два отрезка прямых между точками A и B и точками B и C . Если угол в точке B меньше 120° , то точка P должна находиться где-то внутри треугольника. Чтобы найти ее, следует построить равносторонний треугольник с основанием на самой большой стороне треугольника ABC , а именно на отрезке AC . Третья вершина равностороннего треугольника (обозначим ее X) находится на противоположной стороне от точки B относительно AC . Вокруг построенного равностороннего треугольника описываем окружность и проводим прямую, соединяющую точки B и X . Точка P будет на пересечении этой прямой и окружности. Соединив точки A , B и C с точкой P , мы получаем три угла, в точности равные 120° каждый, и искомую кратчайшую сеть. Более того, длина отрезка BX оказывается равной длине кратчайшей сети. В дальнейшем в нашей статье мы будем называть точку X замещающей точкой, поскольку замена точек A и C одной точкой X не изменяет длину сети.

Задача с тремя точками и задача Штейнера для многих точек имеют много общих свойств. Их решения, имеющие вид дерева, характерны тем, что при удалении любого отрезка из кратчайшей сети мы должны будем исключить одну из заданных точек. Другими словами, мы не можем



КОМПЬЮТЕР ИЗ МЫЛЬНОЙ ПЛЕНКИ (*вверху*) соревнуется с электронным компьютером (*внизу*), отыскивая кратчайшую сеть, связывающую между собой 29 городов. Компьютер из мыльной пленки, в котором расположение штырьков моделирует географию городов, минимизирует длину пленочных соединений в локальной области. Он да-

ет короткую сеть, но необязательно кратчайшую. Электронный компьютер реализует алгоритм Э. Кокейна и Д. Хьюджилла из Университета Виктории. Алгоритм гарантирует кратчайшую сеть. Задача с 29 точками на сегодня близка к пределу вычислительных возможностей.



ЗАДАЧА ПОИСКА СЕТИ для точек, расположенных в вершинах равностороннего треугольника, прямоугольника и «лестницы» имеет различные решения. В случаях *a*, *d* и *g* точки соединяются без дополнительных промежуточных точек и такое решение называется минимальным остовным деревом. Деревья Штейнера, полученные путем добавления узловых точек, показаны для случаев *c*, *e*, *f*, *h* и *i*. Только *c*, *f* и *i* являются кратчайшими деревьями Штейнера, или кратчайшими сетями. Числа под каждым решением указывают примерную суммарную длину отрезков сети.

пройти по сети из какой-либо заданной точки и вернуться в нее, без того чтобы не пройти те или иные отрезки повторно. По этой причине графические решения задачи с тремя точками и задачи со многими точками называются деревьями Штейнера. Отрезки прямых называются ребрами, а точки, роль которых аналогична точке *P* и которые нужно добавить для построения дерева, называются точками Штейнера.

Задача Штейнера для трех точек дает также некоторую информацию о геометрии кратчайших деревьев Штейнера. Во-первых, каждый угол равен 120° или больше, а это означает, что каждая точка соединяется с остальным деревом не более чем тремя ребрами. Во-вторых, в каждой точке Штейнера сходятся ровно три ребра, образуя друг с другом углы, в точности равные 120° . В-третьих, число ребер дерева всегда на единицу меньше суммарного числа заданных исходных точек и точек Штейнера. И наконец, последнее свойство: поскольку в каждой точке Штейнера сходятся ровно три ребра и по крайней мере одно ребро должно касаться каждой из заданного множества точек, максимальное число точек Штей-

нера для любой задачи на две меньше, чем число заданных исходных точек.

ПРИ ОДНОМ и том же количестве и расположении исходных точек можно построить много различных деревьев Штейнера, удовлетворяющих перечисленным выше условиям. Некоторые из этих деревьев, называемые локально минимальными решениями, невозможно сократить за счет мелкомасштабных изменений, таких как небольшое перемещение ребра или расщепление точки Штейнера. Однако не всякое локально минимальное дерево Штейнера дает кратчайшее из возможных решений задачи. Для того чтобы преобразовать сеть в кратчайшее дерево, называемое глобально минимальным деревом Штейнера, могут потребоваться крупномасштабные перемещения точек Штейнера.

Рассмотрим для примера множество исходных точек, образующих четыре угла прямоугольника, размерами три метра на четыре. Решения содержат две точки Штейнера, которые можно расположить двумя различными способами. При каждом расположении мы получаем дерево Штейнера, причем в каждой точке Штейнера

сходятся по три ребра под углом 120° . Если точки Штейнера расположить на линии, параллельной поперечной стороне прямоугольника, то получится локально минимальное дерево Штейнера длиной 9,9 м. Если расположить точки Штейнера на линии, параллельной продольной стороне прямоугольника, то получится глобально минимальное дерево длиной 9,2 м.

Действуя методом полного перебора, можно найти кратчайшую сеть путем построения всех возможных локально минимальных деревьев Штейнера, вычислением их длины и выбором кратчайшего. Но поскольку расположение точек Штейнера неоднозначно, возникает сомнение в том, что вычислить все локально минимальные деревья Штейнера можно за конечное время. З. Мелзак из Университета Британской Колумбии сумел преодолеть это затруднение и составил первый алгоритм для решения задачи Штейнера.

В алгоритме Мелзака рассматриваются многие возможные соединения между заданными точками и многие возможные расположения точек Штейнера. Алгоритм можно условно разбить на две части. В первой его части множество исходных точек просто подразделяется на всевозможные подмножества. Во второй части для каждого такого подмножества создается ряд возможных деревьев Штейнера с использованием построения, аналогичного тому, которое мы применили к задаче с тремя точками.

Так же как и для трех точек, вместо двух исходных точек можно подставить одну заменяющую их точку, не изменяя результата (длины сети) решения. Однако в общем случае алгоритм должен угадать, какую пару следует заменить, и поэтому он перебирает все возможные пары. Более того, заменяющая точка может размещаться по любую сторону от прямой, соединяющей две заменяемые точки, поскольку равносторонний треугольник, используемый при построении, может быть ориентирован в одном из двух направлений. После того как одна из точек в подмножестве заменена одной из двух возможных заменяющих точек, на каждом последующем шаге алгоритма замещаются либо две другие исходные точки, либо одна исходная и одна замещающая, либо две замещающие другой замещающей точкой; и так до тех пор, пока все подмножество не будет сведено к трем точкам.

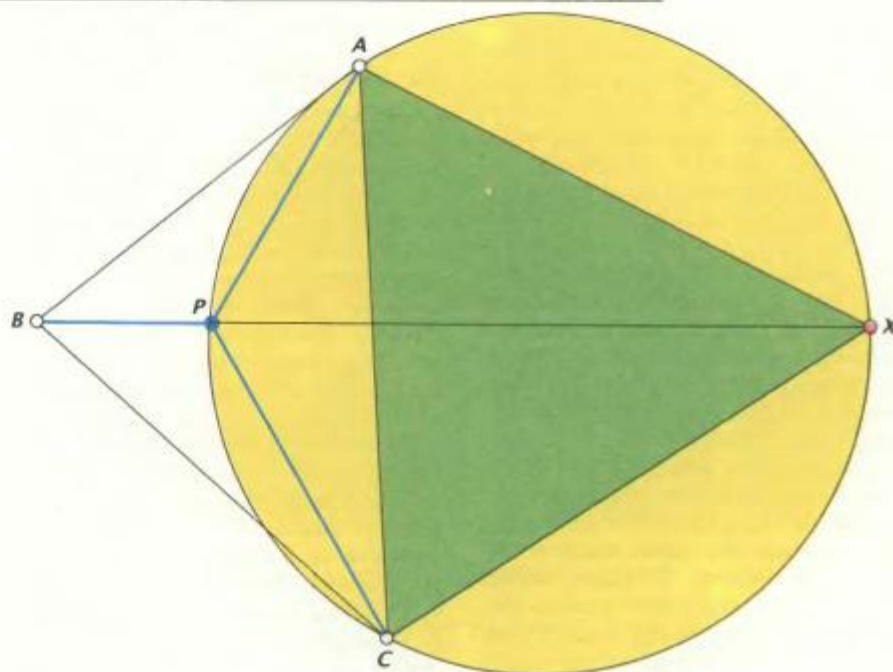
Как только для этих трех точек найдена точка Штейнера, алгоритм начинает работать в обратном направлении, пытаясь определить точку Штейнера, соответствующую каждой замещающей точке (см. рисунок внизу

справа). Попытка может закончиться неудачей, поскольку на расположение точек Штейнера накладываются противоречащие друг другу ограничения. Однако успешная попытка приводит к возникновению дерева Штейнера, соединяющего каждую исходную точку подмножества с деревом одним ребром. Рассмотрев, таким образом, все замещающие последовательности, алгоритм выбирает кратчайшее из этих деревьев Штейнера для подмножества. Комбинируя между собой всевозможными способами кратчайшие деревья Штейнера для подмножеств так, чтобы охватить исходное множество точек, можно построить всевозможные локально минимальные деревья Штейнера и определить геометрию кратчайшей сети.

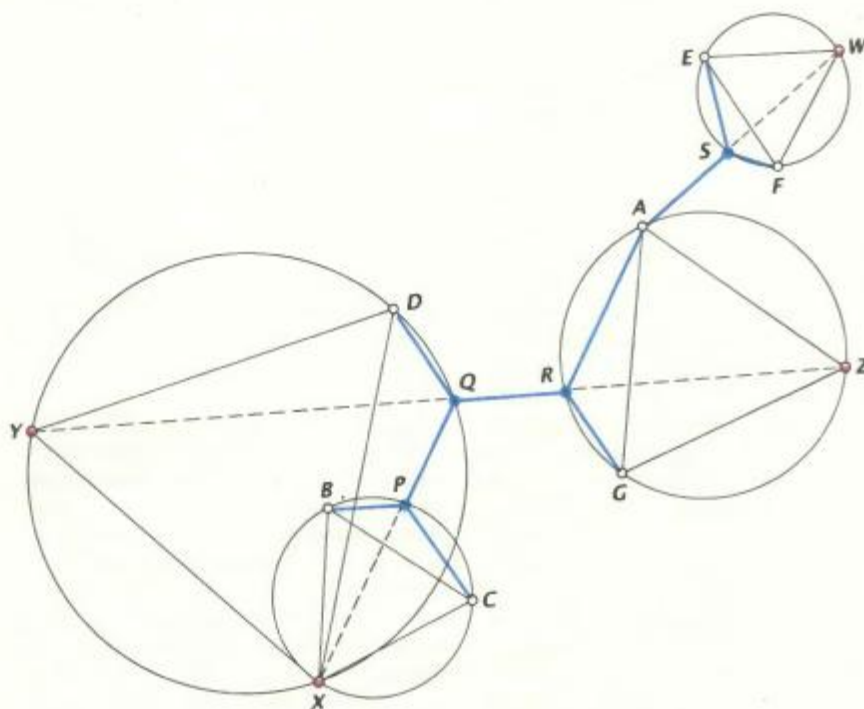
Алгоритм Мелзака может потребовать колоссального времени даже для небольших задач, поскольку в нем рассматривается очень много вариантов. Например, задача для 10 точек может быть распределена на 512 подмножеств исходных точек. И хотя двухточечные подмножества не требуют большого объема работы, каждое из 45 подмножеств с восемью точками имеет два миллиона замещающих последовательностей. Кроме того, существуют еще более 18 тыс. способов объединить эти подмножества в деревья.

РАЗУМЕЕТСЯ, исследователи нашли более эффективные пути организации вычислений и сумели повысить быстродействие алгоритма. Вместо того чтобы рассматривать геометрию задачи, они фокусируют внимание на возможных конфигурациях соединений в сети, т. е. на ее топологии. Топология указывает, какие точки соединены друг с другом, а не действительные расположения точек Штейнера. Приняв определенную топологию, можно найти соответствующую замещающую цепочку относительно быстро. При такой организации процесса скорость вычисления кратчайших деревьев Штейнера для подмножеств немного возрастает. Например, для подмножества из 8 точек алгоритм должен рассмотреть лишь около 10 тыс. различных топологий вместо двух миллионов различных последовательностей замещения.

Так как количество возможных топологий быстро возрастает с размером подмножества, задачи Штейнера могут стать менее трудоемкими лишь в том случае, если требуется рассматривать только очень небольшие подмножества исходного множества точек. Эксперименты, проведенные с алгоритмом Мелзака, показали, что кратчайшая сеть для числа случайных точек больше 6 обычно может быть



КРАТЧАЙШАЯ СЕТЬ для трех точек A , B и C . На самой длинной стороне треугольника ABC строится равносторонний треугольник ACX (зеленый), и вокруг него описывается окружность (желтый). На пересечении ее с отрезком BX находится точка P , называемая точкой Штейнера. Отрезки AP , BP и CP образуют три сопряженных угла по 120° и кратчайшую сеть, причем их суммарная длина равна BX .



АЛГОРИТМ МЕЛЗАКА разбивает задачу поиска кратчайшей сети на подзадачи. Точка A подходит для разбиения задачи на подзадачи из 3 и 5 точек. Чтобы построить возможные деревья Штейнера для 5 точек, пару точек (например, B и C) можно заменить одной (здесь X), построив равносторонний треугольник с основанием BC . Теперь задача сведена к 4 точкам: X , D , G и A . Пару точек опять можно заменить — сначала D и X на Y , а потом G и A на Z . Вокруг каждого из полученных равносторонних треугольников (XDY , AGZ и BCX) описываем окружности. Точки Q и R , в которых прямая YZ пересекает две окружности, — это точки Штейнера, а пересечение прямой XQ с третьей окружностью определяет точку Штейнера P . Поскольку невозможно заранее предугадать наилучшее разбиение на подзадачи и группировки на пары, необходимо рассмотреть все варианты, чтобы найти кратчайшее дерево.

разбита на кратчайшие сети для меньших наборов точек. Однако, рассмотрев специальные конфигурации точек, называемые лестницами, Ф. Чанг из фирмы Bell Communications Research совместно с одним из авторов настоящей статьи (Грэмом) показал, что существуют бесконечно большие множества точек, для которых кратчайшее дерево Штейнера невозможно расчленить. Лестница — это конфигурация, в которой исходные точки расположены равномерно вдоль двух параллельных линий. Для этой весьма частной задачи Штейнера было найдено общее решение. Оно показало, что число точек Штейнера в кратчайшем дереве Штейнера для лестницы с нечетным количеством «ступенек» максимально: оно равно числу исходных точек минус 2. Такое дерево Штейнера невозможно расчленить, потому что для каждой точки Штейнера нужно одновременно учитывать все исходные точки. Следовательно, не всегда можно сократить размер подмножеств, рассматриваемых алгоритмом Мелзака.

Некоторым исследователям удалось улучшить эффективность алгоритмов по сравнению с алгоритмом

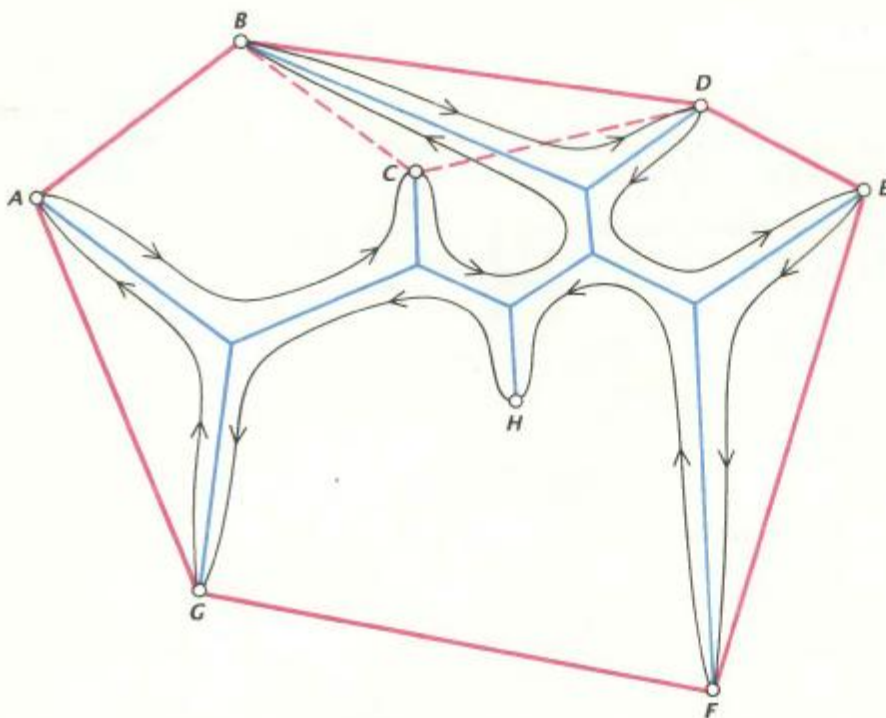
Мелзака за счет применения более тонких способов, позволяющих уменьшить объем вычислений (см. рисунок внизу). В их алгоритмах производится усечение вычислительной процедуры, т. е. прекращаются те ветви вычисления, которые заведомо должны привести к сравнительно длинным сетям. Новые методы усечения действительно значительно сокращают объем вычислений. Программы, основанные на алгоритме Мелзака, как, скажем, программа Э. Кокейна из Университета Виктории, написанная в 1969 г., могли решить любую задачу для 9 точек и некоторые задачи для 12 точек приблизительно за полчаса. Программа же, недавно написанная Кокейном и его коллегой из Университета Виктории Д. Хьюджиллом, использует мощный метод усечения, изобретенный Р. Винтером из Копенгагенского университета. Эта программа смогла решить все задачи для 17 точек и большинство случайно сгенерированных задач для 30 точек всего за несколько минут. Метод усечения Винтера оказался настолько удачным, что благодаря устранению большинства возможных топологий, основной объем

вычислительной работы связан с комбинированием решений, полученных для отдельных подмножеств.

ОДНАКО для всех этих программ время решения задачи может сильно зависеть от геометрии и от количества точек. Более того, время вычислений даже для самых изощренных алгоритмов растет по экспоненциальному закону с ростом числа точек, и задачи Штейнера для 100 точек остаются практически неразрешимыми. Будет ли когда-нибудь найден эффективный алгоритм, позволяющий решать большие задачи Штейнера?

Прогресс, достигнутый в теории вычислительной математики, убедил большинство исследователей, что существующие алгоритмы решения задачи Штейнера практически невозможно улучшить. В этой теории каждой задаче сопоставляется определенный размер. Для каждого конкретного случая задачи Штейнера таким естественным размером является число заданных исходных точек. Затем рассматривается количество элементарных компьютерных операций — таких как сложение, вычитание и умножение, — которое может потребоваться алгоритму для решения какого-то частного случая задачи определенного размера. Поскольку различные частные случаи одного и того же размера могут потребовать различного количества операций, следует рассматривать максимальное количество операций как функцию размера задачи. Если число операций растет с размером задачи (n) пропорционально некоторой степени размера, например, как в выражениях n^2 , $5n$ или $6n + n^{10}$, то процедура решения называется алгоритмом с полиномиальным временем, или просто полиномиальным алгоритмом. Такие алгоритмы считаются эффективными, по крайней мере в теоретическом смысле. Если же количество операций возрастает экспоненциально с размером задачи, как, например, в случаях 2^n , 5^n или $3n^2 \times 4^n$, процедура решения называется алгоритмом с экспоненциальным временем или просто экспоненциальным алгоритмом.

Хотя для очень маленьких задач и полиномиальные, и экспоненциальные алгоритмы достаточно практичны, для больших задач время решения у экспоненциальных алгоритмов настолько велико, что практически они оказываются безнадёжными (см. Н. Lewis, С. Papadimitriou. The Efficiency of Algorithms, "Scientific American", January, 1978). Для достаточно больших задач полиномиальный алгоритм, выполняющийся даже на самой медленной машине, дает решение все-таки значительно быстрее,



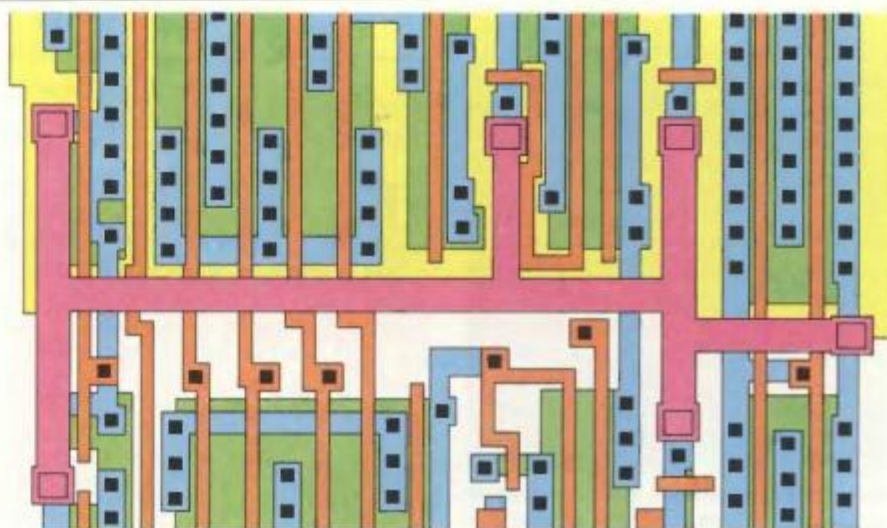
МЕТОДЫ УСЕЧЕНИЯ повышают эффективность алгоритмов поиска кратчайших сетей. Один из приемов усечения, или исключения, возможных сетей (изобретенный Кокейном) заключается в том, чтобы рассмотреть порядок, в котором резиновое кольцо (красный), натянутое вокруг заданного множества точек, касается их. Резинка касается всех точек, за исключением C и H, но C можно включить в последовательность, поскольку угол, образуемый точкой C с двумя соседними точками, находящимися в контакте с резинкой, не меньше 120° . Тогда порядок точек будет ABCDEFG. Непрерывный путь (черный), проходящий вдоль возможной сети (синий), касается точек в порядке ACBDEFHG. Поскольку B и C здесь переставлены местами по отношению к последовательности, образованной резинкой, эту сеть можно исключить из рассмотрения.

чем экспоненциальный алгоритм, выполняющийся на суперкомпьютере.

Хотя для задачи Штейнера были найдены экспоненциальные алгоритмы (например, алгоритм Мелзака), ни одного полиномиального алгоритма найти для нее не удалось. И шансы на то, что эффективный алгоритм будет когда-нибудь найден, очень малы. В 1971 г. С. Кук из Университета в Торонто доказал, что если будет найден полиномиальный алгоритм для любой задачи, принадлежащей классу труднорешаемых задач, называемых NP-полными, то этим же алгоритмом можно будет воспользоваться для эффективного решения широкого класса труднорешаемых задач, включая класс NP-полных. Позже один из авторов настоящей статьи (Грэм), работая совместно с М. Гэри и Д. Джонсоном из AT&T Bell Laboratories, доказал, что задача Штейнера относится к классу NP-полных. Поскольку до сегодняшнего дня все NP-полные задачи оказались не по силам тысячам исследователей, то маловероятно, чтобы какая-нибудь NP-полная задача, в том числе и задачи Штейнера, была решена алгоритмом с полиномиальным временем. Однако доказательство того, что NP-полные задачи невозможно решить эффективным способом, остается одной из основных теоретических проблем вычислительной математики.

Хотя представляется очень маловероятным, чтобы появился эффективный алгоритм с полиномиальным временем, вычисляющий кратчайшие сети, существуют практические алгоритмы, отыскивающие несколько более длинные сети. Одним из примеров является в этом смысле алгоритм, решающий задачу минимального остовного дерева, который отыскивает кратчайшую систему прямолинейных отрезков, связывающих данное множество точек без добавления новых. Чтобы решить эту задачу, нужно соединить две точки, ближе всего расположенные друг к другу, и на каждом последующем шаге соединять ближайшую пару точек, которую можно соединить, не образуя замкнутого пути. В конце концов, можно удалить одно ребро из замкнутого пути, и заданные исходные точки останутся все же связанными остающимися ребрами.

Е. Гилберт и Х. Поллак высказали предположение о том, что отношение длины кратчайшего дерева Штейнера к длине минимального остовного дерева равно, самое меньшее, $\sqrt{3}/2$, т. е. дерево Штейнера не более чем на 13,4% короче минимального остовного дерева. Это отношение $\sqrt{3}/2$ возникает в простом примере, когда три исходные точки являются вершинами



РАЗНОВИДНОСТИ задачи о кратчайшей сети применялись при конструировании электронных интегральных схем, с тем чтобы повысить их быстродействие. Кратчайшая сеть из вертикальных и горизонтальных проводников, связывающих множество выводов, выделена красным цветом. Здесь показаны также проводники и выводы в более глубоких слоях схемы.

равностороннего треугольника. Хотя это предположение остается недоказанным, Чанг и один из авторов данной статьи (Грэм) показали, что дерево Штейнера короче минимального остовного дерева не более чем на 17,6%.

Минимальные остовные деревья можно часто укоротить на 3 или 4% путем тщательного выбора дополнительных точек Штейнера и небольшой переделки дерева. Одному из авторов (Берну) удалось показать, что этот неточный алгоритм до какой-то степени оправдан в теоретическом смысле, поскольку в среднем длина модифицированного дерева будет немного меньше средней длины минимального остовного дерева.

ЗАДАЧИ отыскания минимального остовного дерева и кратчайшей сети решались в применении к планированию топологии телефонных сетей, трубопроводов и шоссе дорог. Решения, приближенные или точные, помогают спланировать геометрию сети и подсчитать необходимые количества материалов. В более сложных формулировках задачи Штейнера можно учитывать такие факторы, как необходимость избежания определенных географических свойств местности, а также отыскивать кратчайшие соединения между узлами уже существующих сетей.

Возможно, наиболее важным практическим применением задачи Штейнера является конструирование интегральных электронных схем. Более короткая сеть проводящих линий на интегральной схеме требует меньшего времени зарядки-разрядки по срав-

нению с более длинной сетью и повышает, таким образом, быстродействие схемы. Однако задача отыскания кратчайшей сети на интегральной схеме имеет другую геометрию, так как проводники на ней обычно проходят лишь в двух направлениях — горизонтальном и вертикальном.

Такая задача, получившая название прямоугольной задачи Штейнера, была впервые изучена в 1965 г. Морисом Хэнаном из Исследовательского центра им. Томаса Уотсона корпорации IBM в Йорктаун-Хейтсе (шт. Нью-Йорк). Как и в классической задаче Штейнера, решение для прямоугольной ее версии также содержит точки Штейнера и исходные точки, но ребра встречаются в них под углом либо 90° , либо 180° . Хотя точки Штейнера могут, казалось бы, лежать повсеместно в прямоугольной задаче, так же как и в классической задаче Штейнера, Хэнан показал, что в кратчайшей прямоугольной сети на расположение точек Штейнера можно наложить определенные ограничения. Через каждую исходную точку проводятся горизонтальная и вертикальная прямые, и каждое пересечение двух линий дает возможное положение точки Штейнера. Чтобы найти кратчайшую сеть, алгоритм может рассмотреть все подмножества возможных точек Штейнера. Однако по мере того, как число исходных точек возрастает, время решения для каждого алгоритма, осуществляющего полный перебор вариантов, растет экспоненциально. Более тонкие, но все же экспоненциальные алгоритмы способны решать прямоугольные задачи Штейнера размером порядка 40 точек.

Прямоугольная версия задачи поиска минимального остовного дерева может быть эффективно решена алгоритмом, выбирающим на каждом шаге кратчайшее соединение, если это соединение не образует замкнутого пути. Ф. Хванг из фирмы Bell Laboratories показал, что прямоугольное дерево Штейнера не бывает короче прямоугольного остовного дерева более чем на одну треть.

Наиболее удивительное применение задача Штейнера нашла в биологической науке, в одной из областей, изучающей происхождение видов. Д. Сэнкофф из Монреальского университета и ряд других исследователей сформулировали одну из версий задачи Штейнера для того, чтобы вычислять наиболее вероятные филогенетические деревья. Ученые сначала изолируют какой-то определенный белок, общий для организмов, которые они намереваются классифицировать. Затем для каждого организма они определяют последовательность аминокислот, составляющих этот белок, и устанавливают точку в позиции, определяемой числом различий между белком соответствующего организма и белком других организмов. Организмы с похожими последовательностями аминокислот определяются, таким образом, как близкие, а организмы с непохожими последовательностями — как далекие. В кратчайшей сети для этого абстрактного множества исходных точек точки Штейнера соответствуют наиболее вероятным предкам, а ребра представляют связь между данным организмом и предком, обладающую наименьшим числом мутаций. Однако, поскольку филогенетическая задача Штейнера не легче других задач подобного рода, эта задача — за исключением случаев с небольшим числом организмов — послужила скорее в качестве мысленного эксперимента, нежели практического инструмента исследований.

ХОТЯ за последние годы наши познания в области алгоритмов значительно расширились, задача поиска кратчайшей сети остается все такой же неприступной. Несмотря на то что формулировка этой задачи очень проста, ее решения трудно поддаются анализу. Крошечное изменение геометрической задачи, кажущееся несущественным, может коренным образом изменить кратчайшую сеть, являющуюся ее решением. Такая чувствительность к исходным данным делает даже периферийные вопросы, касающиеся кратчайших сетей, весьма не простыми. Задача поиска кратчайшей сети будет еще долгие годы привлекать наше воображение.

Трудности на новом поприще

ДЖЕЙМС Д. УОТСОН — один из двух исследователей, установивших в 1953 г. структуру ДНК, который с 1968 г. является директором лаборатории в Колд-Спринг-Харбор, — осенью прошлого года взялся за новое дело. Он руководит участием Национальных институтов здоровья (НИЗ) в грандиозном международном проекте стоимостью 3 млрд. долл., цель которого — определить полную нуклеотидную последовательность генома человека. Два дня в неделю Уотсон проводит в штаб-квартире НИЗ в Бетезде (шт. Мадисон), в качестве заместителя директора проекта «Геном человека».

Проект связан не только с техническими и научными, но и с организационными трудностями. Заняв этот новый пост, Уотсон получил в свое распоряжение небольшой штат, но никаких официальных полномочий на трату средств. Притом ему приходится согласовывать усилия НИЗ с действиями министерства энергетики, которое всеми путями старается добиться превосходства над НИЗ в части программы, выполняемой США. Для осуществления этого сложнейшего проекта потребуются создать новые базы данных, программное обеспечение, разработать новые методы лабораторных исследований и — что, вероятно, будет сопряжено с наибольшими трудностями, — организовать беспрецедентное сотрудничество федеральных чиновников, которые ревностно оберегают сферу своего влияния, и ученых, никогда не отличавшихся сговорчивостью.

Кроме того, ему предстоит справиться с противоречивостью самого проекта. По мнению многих, те миллиарды долларов, которые необходимы, чтобы установить полную последовательность 3 млрд. пар оснований генома человека, могут принести больше пользы, если их потратить на более узкие научные задачи. Сам Уотсон был весьма сдержан, когда в министерстве энергетики несколько лет назад началось обсуждение проекта: он полагал, что это не самое подходящее ведомство для подобной задачи. Однако 2 года назад конгресс без всякого запроса со стороны НИЗ выделил 18 млн. долл. на предварительные работы по проекту. Этого оказалось достаточно, чтобы доказать колеблющимся, что проект может привлечь к себе средства независимо от финансирования других исследований и, таким образом, не обескровить их.

В этом году НИЗ исключительно на исследования генома человека ассигновал 27,6 млн. долл., министерство энергетики несколько меньше — 17,9 млн. долл. Франция, Япония, Советский Союз и другие страны также приняли решение участвовать в этих исследованиях.

В октябре минувшего года, в свой первый день в еще пустом офисе в Бетезде, Уотсон ответил на вопрос "Scientific American" о сути и перспективах проекта. Тем, кто полагает, что средства следует вкладывать в более узкие проекты, он возразил, что огромная информация, которая будет получена благодаря детальному изучению генома человека, повысит эффективность исследований во многих других направлениях. Задача определения нуклеотидной последовательности, как она сейчас видится Уотсону, не будет решаться вслепую простым секвенированием от одного конца генома к другому. Напротив, работа пойдет на нескольких «фронтах», что позволит построить как генетические карты хромосом, основанные на генетических маркерах, так и физические, основанные на идентифицированных фрагментах ДНК. По этим картам выявят наиболее интересные участки генома, которые и будут секвенированы в первую очередь. Для достижения конечной цели проекта — определения полной нуклеотидной последовательности генома — потребуется, по-видимому, около 15 лет; чтобы удержать затраты в разумных пределах, необходима значительная автоматизация работ.

По мнению Уотсона, генетическая карта генома с высоким разрешением может быть составлена за 5 лет, а может и за 2—3 года. Сейчас несколько исследовательских групп в США уже картируют ряд отдельных областей генома, по тем или иным причинам интересных. Уотсон считает, что эти первые работы сыграют ключевую роль, поскольку приведут к «экономии масштаба»: «Пока нет нужды в секвенировании, нет стимула и разрабатывать методические подходы, позволяющие его удешевить».

Уотсон — хотя сам он и не занимается плотную компьютеризацией — к числу первостепенных задач относит создание общей структуры баз данных, которые позволят хранить, обрабатывать поступающую новую информацию и обеспечивать пользование ею. По его словам, это потребует подготовки специалистов по обработке биологической информации. Уотсона не смущает отсутствие у него формальной власти, чтобы санкци-

онировать подобные расходы; он, по-видимому, уверен, что Институт общей медицины (через который осуществляется финансирование проекта «Геном человека» в НИЗ) поддержит его рекомендации по затратам.

Главная проблема в руководстве этим проектом, по мнению Уотсона, заключается в том, чтобы сам процесс работы по секвенированию протяженных участков ДНК, весьма нудный по своей природе, не расхолаживал исследователей. Не беспокоит Уотсона и борьба между НИЗ и министерством энергетики за лидерство в проекте, поскольку вопрос еще не решен и «не будет решен, пока в этом нет настоятельной нужды». В настоящее время этими ведомствами подписан меморандум о взаимопонимании, согласно которому вводится формальная координация объединенным консультативным комитетом.

Директором одного из двух центров министерства энергетики по изучению генома, а именно в Лаборатории им. Лоуренса в Беркли (второй находится в Лос-Аламосе), недавно назначен Ч. Кантор. Он станет также первым председателем руководящего комитета министерства по проекту секвенирования генома и тем самым в некотором смысле партнером Уотсона. В отличие от исследовательских групп под эгидой НИЗ центры министерства энергетики располагают большими штатами, среди десятков специалистов есть и физики, и разработчики приборов; это дает возможность создавать новые приборы прямо по ходу исследований. «У НИЗ не много физиков и специалистов по компьютерам», — отмечает Кантор. Он стоит за кооперацию, полагая, что министерство и НИЗ будут дополнять друг друга. Кантор надеется вскоре завершить разработку рекомендаций по программному обеспечению проекта.

Международная кооперация может оказаться еще более сложным делом, чем координация в национальных рамках: по мнению Уотсона, картирование областей генома, связанных с важными генетическими заболеваниями, не обойдется без конкуренции. Для координации работ в мировом масштабе создана Организация генома человека, ее президентом является В. Маккьюзик из Медицинской школы Университета Джонса Гопкинса. По оценкам Кантора, международные затраты через 3—4 года составят около 200 млн. долл. в год, причем более половины придется на США. Достаточную ли поддержку оказывает конгресс? «Я думаю, нам повезло и в том, что мы получаем сейчас», — таково обтекаемое мнение Уотсона на этот счет.

Охота за пчелами-«убийцами»

ГОВАРД КЕРР, инженер из Национальной лаборатории в Ок-Ридже, — разработчик ряда устройств для ядерных реакторов и для систем стратегической обороны инициативы (СОИ). Он, кроме того, пчеловод, держит 140 ульев с медоносными пчелами и возглавляет группу под названием «пчеловоды штата Теннесси». Более 10 лет назад, обеспокоенный тем, что так называемые африканизированные пчелы, или пчелы-«убийцы», мигрируя на север из Южной Америки, угрожают американскому пчеловодству, Керр решил применить свой талант инженера для изобретения средства, которое смогло бы остановить нашествие вредных насекомых или по крайней мере изучить их поведение.

Вначале Керр попытался придумать способ, с помощью которого можно было бы находить дикие рои пчел и проследить их полеты. Его идея была простой: приманить пчел на лакомство с добавкой радиоактивного изотопа и затем обнаруживать их с помощью счетчиков Гейгера. Но вскоре Керр отказался от этого способа, поскольку он связан с рядом сложных технических проблем. Он придумал новое решение: выслеживать рои с помощью инфракрасной камеры. Но как можно отличить африканизированных пчел от других представителей животного мира, излучающих тепловую энергию, в том числе и от других видов пчел?

Еще в начале 80-х годов Керр присутствовал на лекции Аниты Коллинз, сотрудницы министерства сельского хозяйства, которая тогда упомянула, что африканизированные пчелы «жужжат совсем не так», как те, что обитают в Северной Америке. «Это-то и навело меня на мысль использовать другой подход», — вспоминает Керр. Работая вместе с Коллинз, он установил, что у африканизированных пчел крылья колеблются быстрее и поэтому они жужжат на более высоких частотах, чем местные пчелы. Он сконструировал ручной анализатор звука, в котором загоралась красная лампочка, когда прибор улавливал жужжание африканизированных пчел, и зеленая, — когда звук исходил от местных пчел. «Этот прибор, скорее, похож на игрушку», — замечает Керр, — но он очень полезен».

Недавно Керр и другие сотрудники из Лаборатории в Ок-Ридже, которые вместе с ним решали данную проблему, нашли способ выслеживания не только пчелиных роев, но и отдельных особей. Сейчас коллеги Керра заняты конструированием инфракрас-



МИНИАТЮРНЫЙ ПЕРЕДАТЧИК, укрепленный на спине пчелы, помог бы исследователям следить за ее полетом и тем самым изучать ее поведение, связанное с поиском пищи и размножением. Прибор питается от крошечной солнечной батареи и посылает импульсы инфракрасного излучения, которые могут улавливаться на расстоянии более тысячи метров. Д. Фолтер, К. Фолтер, К. Валентайн и Г. Эллей из Национальной лаборатории в Ок-Ридже разработали этот прибор по предложению исследователей, изучающих африканизированных пчел; весной этого года они собираются испытать опытный образец прибора.

ного передатчика на солнечных батареях, который можно было бы укреплять на спине пчелы и сигналы с которого улавливались бы на расстоянии до одной мили. Керр также «экипировал» пчел миниатюрными рефлекторами, которые отражают лазерный пучок непосредственно в то место, откуда он посылается. С помощью этих устройств исследователи африканизированных пчел смогут выслеживать отдельных маток и трутней и выявить картину их полового поведения, а потом разработать меры по предотвращению их размножения.

Керр и работающие с ним ученые заимствовали даже прибор для слежения из арсенала СОИ. Так называемый доплеровский лазер может с большой точностью фиксировать перемещение удаленных объектов (таких как ядерные боеголовки). Теоретически такой лазер мог бы уловить отдельную особь на расстоянии нескольких километров и определить частоту ее жужжания. «Шутка, конечно», — говорит Керр, — но мы могли бы выследить африканизированную пчелу за 2000 км и, включив луч, уничтожить ее. Но такая защита обошлась бы нам слишком дорого».

Андре-Мари Ампер

Этот выдающийся французский ученый первым исследовал количественные зависимости для магнитных эффектов электрического тока. Он был также основоположником философских концепций научных исследований. Его философия воплотилась в разработанной им методике научных открытий

Л. ПИРС УИЛЬЯМС

КОГДА мои новые студенты спрашивают, кто такой Андре-Мари Ампер, я часто отвечаю: «По-видимому, вам он больше известен в связи с указываемой на предохранителях величиной номинального тока». Но на самом деле Ампер более всего известен как основоположник науки, называемой электродинамикой. В начале XIX в. он провел первые систематические исследования магнитных полей, создаваемых электрическими токами, открыл и установил количественные соотношения для сил взаимодействия между токонесущими проводниками и впервые проверил предположение о том, что магнетизм постоянных магнитов обусловлен элементарными электрическими токами, циркулирующими в молекулах магнитных материалов. В честь выдающихся научных открытий Ампера его именем названа международная единица электрического тока (в системе СИ): ампер, сокращенно А. В этих единицах указывается допустимая величина тока на предохранителях для электро- и радиоаппаратуры.

Значительно меньше известны достижения Ампера как философа науки, хотя и в этой области результаты его деятельности не менее значимы. Он был первым из крупных ученых, разделявших взгляды немецкого философа Иммануила Канта, которые легли в основу созданного Ампером философского подхода к изучению физики и химии. Ампер опирался на теорию познания Канта, теорию о том, что человек способен познать и как он может прийти к познанию, и, основываясь на взглядах немецкого философа, разработал практический метод научных поисков. В конце концов философия Канта завоевала прочные позиции в физических науках, особенно в конце XIX — начале XX вв., а метод научных открытий Ампера, которым он руководствовался в исследовании электродинами-

ческих явлений, по сей день живет в несколько трансформированной форме как одна из наиболее широко признанных научных методологий.

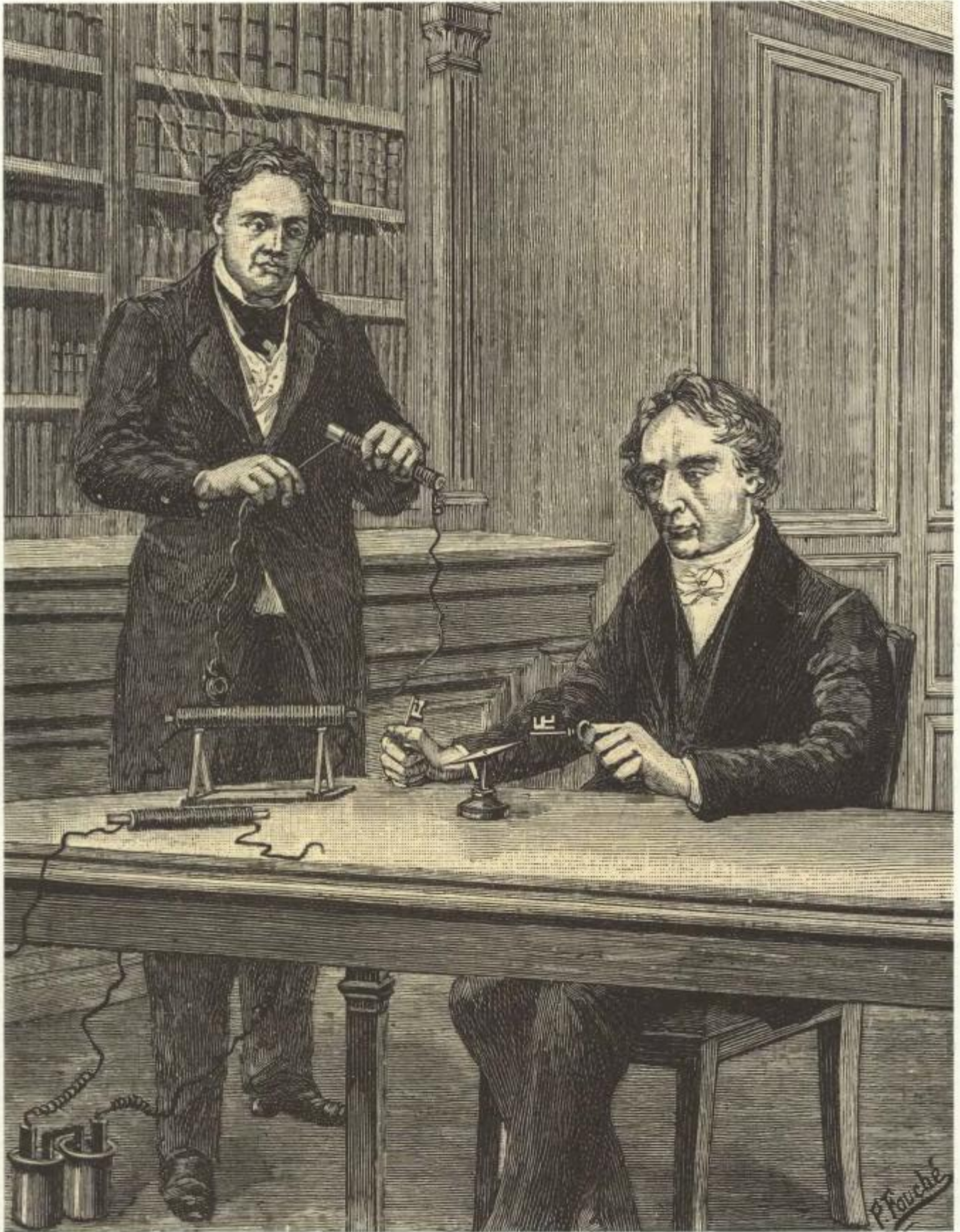
АМПЕР родился в 1775 г. в деревушке Полестье неподалеку от Лиона. В юношеские годы занимался самообразованием, с жадностью прочитав многие книги из библиотеки отца и те, что привозились из Лиона. Он проштудировал изданную тогда новую энциклопедию Дени Дидро, прочно запечатлев в своей фотografической памяти полное содержание отдельных статей этого труда. Особый интерес Ампер проявлял к математике; эту науку он постигал по трактатам известного математика Леонарда Эйлера, посвященным алгебре, теории вероятности, теории числения, а позднее, когда ему было 18—19 лет, Ампер изучил фундаментальные труды Жозефа Луи Лагранжа по аналитической механике. Его интересы помимо математики были поистине безграничными. Ампер штудировал труды Жоржа де Бюффона по естественной истории, изучал греческий, латинский и итальянский языки, пытался создать универсальный язык, который был бы основан на самых современных лингвистических принципах, погружался во французскую литературу, писал стихи, изучал ботанику и разрабатывал способы систематизации собственных наблюдений явлений природы. Широта интересов была свойственна Амперу на протяжении всей его жизни.

До 18 лет Ампер, будучи единственным сыном в богатой семье, вел безмятежную жизнь в стабильном, обустроенном мире, удовлетворяя все свои запросы. С 1793 г., однако, в его жизни начался период, полный личных трагедий, которые не оставили его на протяжении всех оставшихся лет. В 1793 г. его отца казнили на гильотине как контрреволюционера. Спустя

10 лет после четырехлетней совместной жизни умирает его любимая жена и мать его сына Жан-Жака, а через четыре года он женится вторично и очень неудачно: разоривший его второй брак завершился разводом, после чего он остался с малолетней дочерью. Несколько лет относительно спокойной жизни и новое потрясение: в 1819 г. его сын, оставив благоприятные перспективы на будущее, попадает в окружение мадам Рекамье, знаменитой красавицы эпохи Наполеона, собиравшей около себя обожавших ее мужчин и державшей их «на поводке». Жан-Жак в течение 20 лет был завсегдаем ее салона, игнорируя все просьбы отца образумиться и вернуться домой. В 1827 г. Ампер выдал замуж дочь за бывшего офицера наполеоновской армии, лишь потом узнав, что тот был пьяницей и душевнобольным.

На протяжении всей своей жизни Ампер страдал от постоянного ухудшения здоровья, и это все больше и больше мешало ему заниматься научной деятельностью. Почти всю жизнь его также мучила непрочность материального положения и поэтому он все время вынужден был браться за различные малооплачиваемые работы, большая часть которых сводилась к преподаванию математики.

Становление Ампера как ученого было отягощено не только обстоятельствами его личной жизни, но и широтой его творческих увлечений. По сведениям, содержащимся в недавно обнаруженной коллекции его писем, которые он писал в возрасте 20 лет, можно видеть, как его увлечение теоретической механикой неожиданно сменялось конструированием какой-нибудь машины, а затем теорией полета бумажного змея, созданием искусственных языков, музыкой, астрономией, ботаникой, системой классификации. Он никогда не мог сосредоточиться на какой-нибудь одной



АНДРЕ-МАРИ АМПЕР (слева) и его друг Франсуа Араго проверяют магнитные свойства электрических токов (с гравюры конца XIX в.). Ампер — основатель электродинамики (учения об электрических токах) — увлекся философскими идеями, на которых он построил методологическую основу научного исследования. Араго был как раз тем уче-

ным, который рассказал Амперу и своим коллегам по Французской академии наук об открытии датского физика Ханса Кристиана Эрстеда, установившего, что электрический ток может отклонять стрелку компаса, расположенного неподалеку от проводника с током.

проблеме и полностью посвятить ей свое гениальное дарование. В то время, когда он интенсивно занимался электродинамикой, он не оставлял свое увлечение метафизикой и философией. В этом Ампер никогда не усматривал никакого противоречия, поскольку был убежден, что в основе всех знаний лежит единство. Как мы увидим далее, его последняя знаменитая работа содержала попытку продемонстрировать этот вывод.

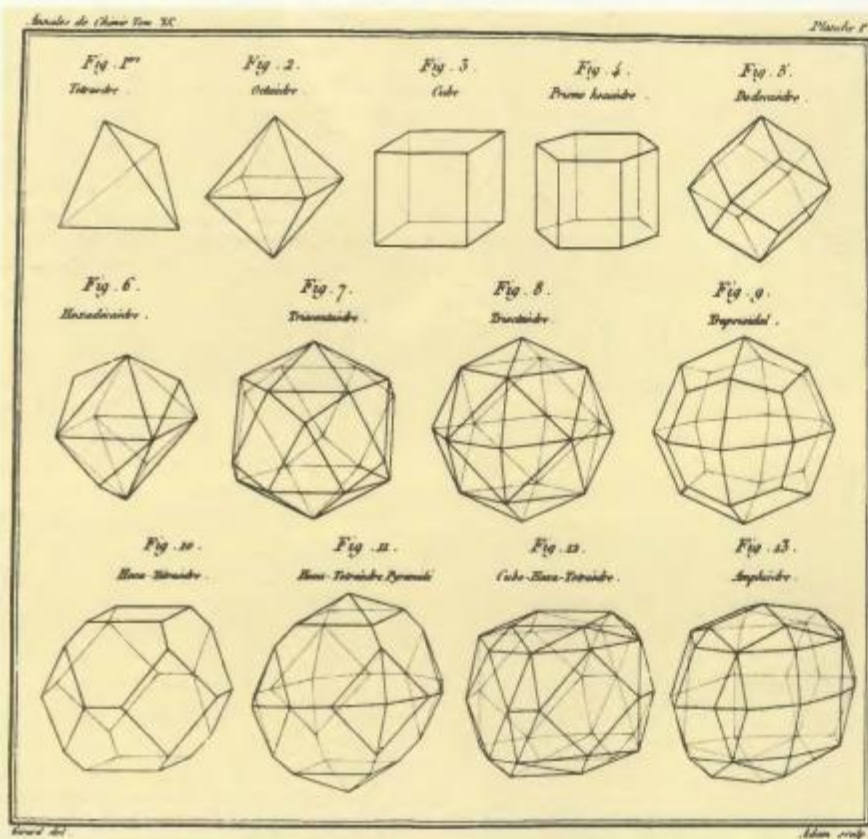
КОГДА Ампер только начал свою научную деятельность, во французской философии господствовала школа, представителей которых Наполеон презрительно называл идеологами. Эти «идеологи» заявляли, что для того, чтобы научное исследование было исчерпывающим, его необходимо проводить, руководствуясь определенным набором правил. В соответствии с их учением человеческий разум представляет собой пассивный рецептор чувственных ощущений. На

основе этих ощущений разум создает серию картин (которые включают ощущения запаха, звука, вкуса и осязания в дополнение к тому, что видит человек), представляющих внешний мир. Разум может восстанавливать в памяти картины и сравнивать их, чтобы выявить различия и установить, как последовательность образов меняется во времени. Тогда любые повторяющиеся явления могут служить основой для формирования научных законов. Значит, никогда нельзя сказать, насколько реально мы воспринимаем окружающий мир. Единственная познания нами реальность заключается в формируемых в нашем сознании картинах.

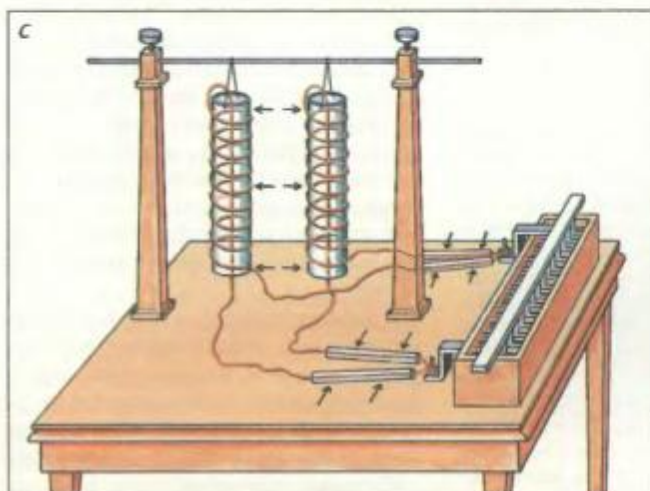
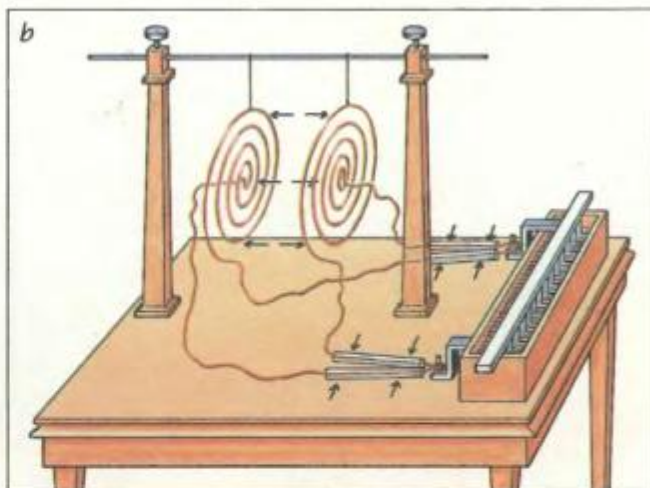
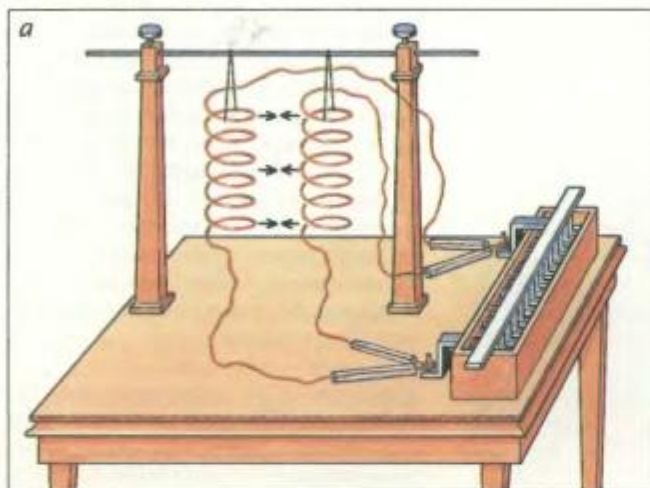
При таком понимании мира нет места причинной обусловленности, он воспринимается просто как последовательность образов. В некотором смысле это означает, что объяснить то или иное явление невозможно, т. е. мы не можем говорить о физических силах, посредством которых данная

причина вызывает определенное следствие. Другими словами, не может быть никаких научных теорий в современном смысле этого слова. С одной стороны, наука становится таксономической: ученый просто фиксирует образы в определенной последовательности. С другой стороны, наука становится позитивистской, когда ученый выражает повседневно наблюдаемые явления с помощью строгих математических законов. Показательным примером науки первого вида является разработанная Антуаном Лавуазье система рациональной химической номенклатуры, которая основывалась на строгом описании, точном перечне и правильной классификации химических элементов и соединений. Типичным примером науки второго вида были исследования тепловых явлений, проводившиеся Жаном Батистом Фурье, в которых ученый игнорировал причины явления и сосредоточил свои усилия на формулировании математических законов передачи тепла. Эта философская концепция приемлема для многих научных исследований, но она совершенно исключена для таких областей, как физика микромира, которая основывается на не поддающихся непосредственному наблюдению, а лишь теоретически установленных понятиях, таких как атомы или молекулы.

Сначала научная работа Ампера не ограничивалась этой концепцией; карьеру ученого он начал как математик, а математике не нужно обращаться к внешней физической реальности. Первая опубликованная работа Ампера, написанная в 1802 г. и создавшая ему репутацию, позволившую удостоиться звания профессора Лицея Наполеона в Лионе, была посвящена математической теории игр. В этом небольшом научном трактате Ампер показал, что игрок, у которого имеется конечная сумма денег, при игре либо с партнером с неиссякаемым денежным запасом, либо с большим числом партнеров с ограниченным количеством денег, неизбежно проиграет все свои сбережения за конечное время. Ампер писал также статьи по различным аспектам теоретической механики, а его самый обширный труд по математике, написанный, чтобы быть выбранным во Французскую академию наук, был посвящен дифференциальным уравнениям в частных производных. Ряд других работ по математике завершает этот этап его научной деятельности. Ограничься он только математикой, то вряд ли был известным в наше время, если вообще не оказался бы забытым, как знающий, а иногда и несущий но-



МОЛЕКУЛЫ-МНОГОГРАННИКИ, на которых была построена концептуальная основа ранней работы Ампера по теоретической химии. Руководствуясь учением И. Канта о том, что истинные науки должны базироваться на математических принципах, Ампер пытался объяснить химию в терминах геометрии. В схеме Ампера основные молекулы состояли из атомов в виде точек, расположенных в вершинах правильных или почти правильных многогранников, как это показано в верхнем ряду схемы (она взята из статьи Ампера «Annales de Chimie»). Реакции между этими молекулами возможны только в том случае, если в результате образуются новые молекулы, имеющие форму многогранников с определенной степенью регулярности и симметрией, такие, например, как те, что приведены в нижних рядах схемы.



СЕРИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ для проверки правильности фундаментальной гипотезы Ампера о том, что все магнитные явления вызываются электрическими токами, циркулирующими по кругу. Если эта гипотеза верна, рассуждал Ампер, то спирали, по которым течет ток в одном направлении (а), должны отталкиваться. Но оказалось, что спирали испытывали взаимное притяжение. Когда Ампер проделал опыт с плоскими спиралями, они вели себя подобно магнитам (б). В этом опыте Ампер заметил, что прямые проводники от батареи с одинаково направленными токами (справа) притягивались друг к другу. Он решил, что, поскольку его спирали в первоначальной конфигурации (сделанные из толстой медной проволоки без изоляции) имели большой шаг, круговая составляющая тока в них была незначительной по сравнению с продольной, и поэтому спирали притягивались друг к другу подобно прямым проводникам. Свою гипотезу он проверил с помощью спиралей, намотанных на стеклянные трубки, пропустив конец проводника внутри трубки, с тем чтобы текущий по нему обратный ток исключил влияние продольной составляющей (с). Действительно, в этом случае спирали отталкивались.

ваторские идеи математик, которому трудно было прославиться на фоне таких его современников, как Лаплас, Пуассон, Коши и Фурье.

Одна из причин, почему Амперу не удалось сказать новое слово в математике, заключается в том, что к 1805 г. математика ему наскучила. Его увлекли две новые области — метафизика и химия.

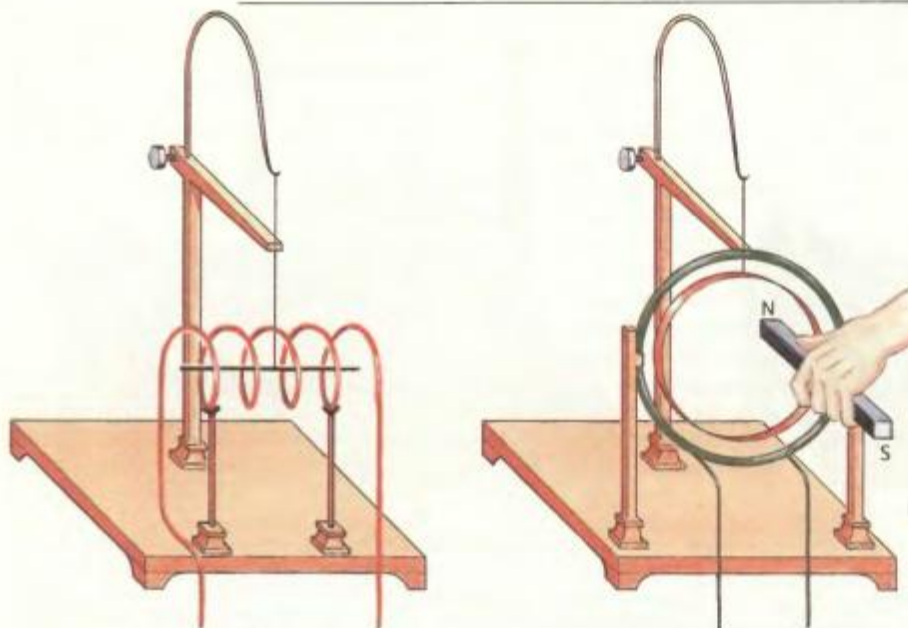
Страстный интерес к метафизике у Ампера появился сразу после того, как в 1804 г. он сблизился с «идеологами», когда, пережив смерть своей первой жены, он оставил Лион и переехал в Париж. Ампер вошел в одну небольшую группу философов, члены которой собирались в Отейле, пригороде Парижа, где они обсуждали идеи основателя школы «идеологов» аббата де Кондильяка. Но вскоре учение «идеологов» перестает привлекать Ампера, поскольку оно отвергало существование бога и бессмертие души. Порвав с этой группой, он пытается приобщиться к другому течению и испытывает воодушевление, когда знакомится с трудами Канта, философское учение которого было близко его собственному мироощущению.

Мир по Канту делится на феномены и ноумены. Феномены — это явления, осознаваемые разумом человека, они — результат наших ощущений. Ноумены — это следствия явлений, т. е. реально существующих объектов, но сами по себе они непознаваемы как «вещи в себе». Человеческое бытие никогда не может непосредственно познать «вещи в себе»: они лишь источники сигналов, которые воздействуют на наши чувства. Мы можем воспринять только эти сигналы, но не сами источники. Следовательно, как учит Кант, ни при каких обстоятельствах мы никогда не можем реально познать что-либо, связанное с ноуменами.

Именно в этом постулате Ампер отошел от Канта. По мнению Ампера, между явлениями часто существуют взаимосвязи — *отношения*, как он их называл. Эти *отношения*, полагал Ампер, должны быть аналогичны *отношениям* между вещами, являющимися причиной этих явлений. Поэтому познание взаимосвязей между неподдающимися непосредственному наблюдению вещами возможно путем изучения *отношений* между явлениями.

На основе данной философской концепции Ампер и разработал свою методику научного исследования. Сущность этой методики раскрывается в письме, написанном Ампером в 1810 г. своему старому другу Мари-Франсуа Пьеру Мэн де Бирану. По методике Ампера явление связано с гипотетическим существованием определенного ноумена. Затем он пускается в дедуктивные рассуждения: допуская существование теоретических понятий, какие новые экспериментальные результаты, т. е. явления, можно ожидать? Потом вывод проверяется опытом. Можно допустить, что теоретическая категория реальности существует постольку, поскольку ее наличие можно проверить явлением. Вероятность того, что эта теория верна, увеличивается, как только обнаруживается ее способность выдержать проверку опытом. В настоящее время методика Ампера известна под названием гипотетически-дедуктивного подхода, и многими она признается как верный способ проведения научного исследования.

Хорошим примером практического применения этой методики может служить проведенный самим Ампе-



ПРИРОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА, лежащего в основе магнетизма, изучалась на двух опытах, выполнявшихся отдельно Араго и Ампером. В первом опыте (слева) Араго сделал спираль из медной проволоки, а в центре ее подвесил железную иголку. Когда он пропустил ток по спирали, иголка намагнитилась. Ампер решил проверить, циркулируют ли токи, ответственные за магнитные свойства постоянных магнитов, вокруг каждой элементарной частицы в материале магнита или они текут вокруг оси самого магнита. В своем опыте (справа) он использовал катушку из медного изолированного провода (зеленый) и подвесил внутри ее кольцо из медной полоски. Если ток в катушке намагничивал иголку и вызывал токи вокруг ее продольной оси, думал Ампер, то он должен намагничивать и медное кольцо, поскольку наведенные токи могли бы циркулировать вокруг его оси. Он пропустил ток через катушку и удерживал стержневой магнит около кольца, чтобы проверить, не стало ли оно «постоянным» магнитом. Нет, не стало, и это убедило Ампера в том, что токи в постоянном магните циркулируют вокруг отдельных частиц, а не вокруг оси магнита.

ром анализ закона Жозефа Луи Гей-Люссака об объемных отношениях при реакциях между газами. Закон гласит, что объемы газов, вступающих в химическую реакцию, находятся в простых отношениях друг к другу и к объемам газообразных продуктов реакции. Другими словами, отношение объемов, в которых газы участвуют в реакциях, соответствует отношению небольших целых чисел. Например, когда два литра водорода вступают в реакцию с одним литром кислорода, то в результате получается ровно два литра водяного пара. Для «идеологов» это было необъяснимо; никто не мог сказать, почему этот закон был правильным. Амперу было суждено идти дальше. В 1814 г. он утверждал в одной из первых работ того времени по теоретической химии, что это явление можно объяснить лишь при допущении, что равные объемы различных газов при одинаковой температуре и давлении должны содержать одно и то же количество молекул. Существование молекул — ненаблюдаемых «ноуменов» — лежит в основе объяснения Ампером явления, описываемого законом Гей-Люссака.

Вскоре, после того, как Ампер сформулировал свою методичку, он применил ее для разработки блестящей теоретической структуры химии как науки. Кант утверждал, что науки должны основываться на априорных принципах математики — принципах, знание которых, как он считал, изначально присуще человеческому разуму и не является результатом опыта. Следуя учению Канта, Ампер пытался вывести законы химического сродства (которые определяют возможность протекания той или иной химической реакции) на основе допущения о существовании гипотетических молекул, имеющих геометрическую форму.

Ампер считал, что каждая молекула состоит из точечных атомов, расположенных в пространстве в вершинах простых геометрических тел, таких как тетраэдр, октаэдр или куб. Единственно возможными химическими структурами, как допускал Ампер, могут быть такие, которые образуют геометрические тела, имеющие определенную степень пространственной симметрии и регулярности. В теоретической структуре Ампера загадочную произвольность

химической активности можно было свести к математической определенности: химия могла бы быть основана на геометрии, которая, как считал Кант, представляла собой чистейшую форму математики. Следует заметить, что ни одна из работ Ампера, посвященных химии, не нашла большой поддержки у химиков, которые неодобрительно относились как к его абстрактному философскому теоретизированию, так и к его идеям из области математики.

ВСЕ РАБОТЫ, выполненные Ампером до 1819 г., когда ему исполнилось 44 года, вероятно, можно отнести к разряду второстепенных в истории физики. В отличие от своих современников, таких как Огюстен Френель (близкий друг Ампера и создатель волновой теории света) и Садри Карно (основатель термодинамики), которые скончались в возрасте 39 и 36 лет соответственно, самая крупная научная работа Ампера появилась, когда он уже достиг пожилого возраста и потерял всякую надежду сделать в своей жизни что-либо стоящее для науки.

В первых опытах Ампера по электродинамике использовался вольтов столб, изобретенный Алессандро Вольтой в 1800 г. Вольтов столб — это электрохимический элемент, во многом схожий с современным автомобильным аккумулятором. Если полюса вольтова столба соединить проводником, то по нему будет течь электрический ток до тех пор, пока химические реакции внутри элемента будут поддерживать на полюсах разность потенциалов.

Непрерывный электрический ток был новым явлением в науке начала XIX в., и первые теории тока в основном базировались на теориях статического электричества. Отдельные ученые в то время предполагали, что электрический ток может быть связан с магнитными эффектами, поскольку еще в 1780 г. Шарль де Кулон доказал, что силы, связанные со статическим электричеством, отличаются от магнитных. Лишь некоторые немецкие «натурфилософы» и находившиеся под их влиянием ученые считали, что все силы имеют единую природу, и пытались обнаружить взаимную связь между электричеством и магнетизмом.

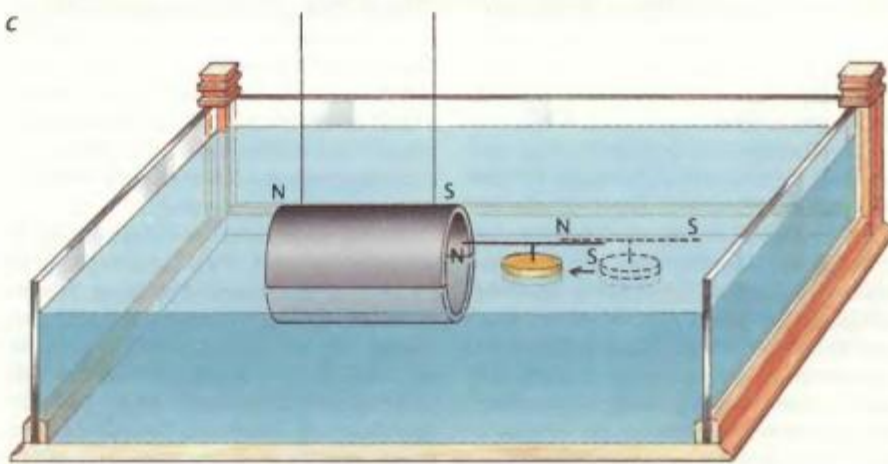
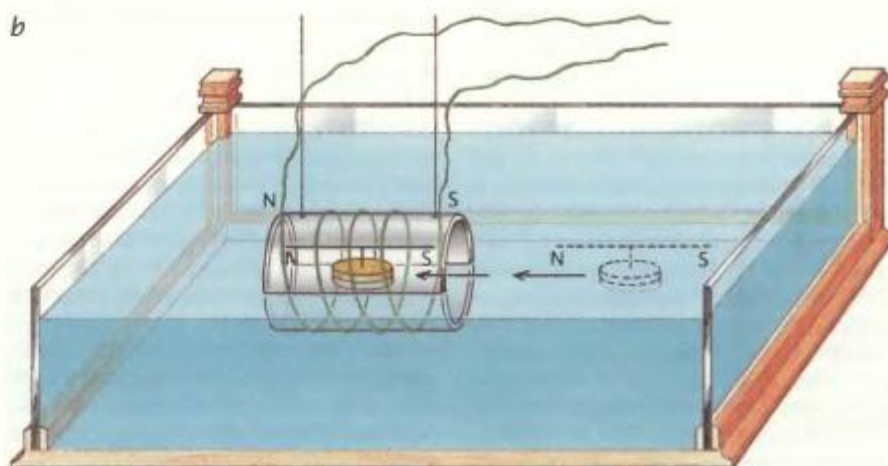
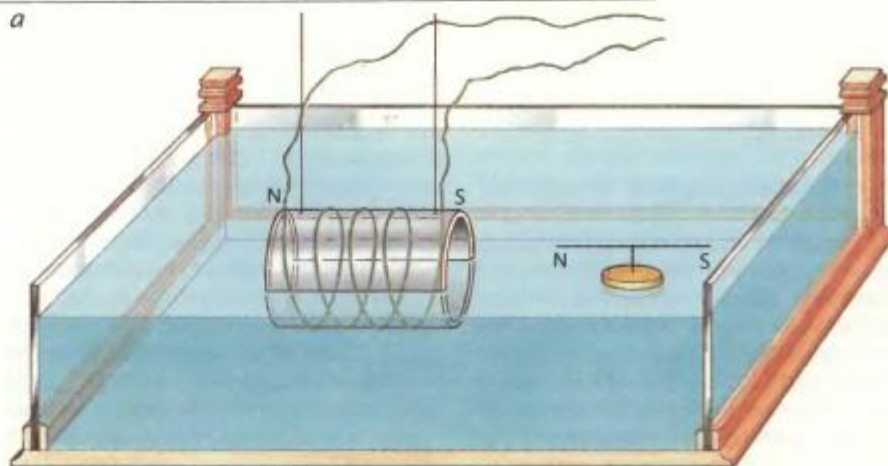
Одним из этих философов был датчанин Ханс Кристиан Эрстед. В 1807 и 1812 гг. им были опубликованы работы, в которых с философских позиций он утверждал, что электричество и магнетизм должны быть взаимосвязаны. Зимой и весной 1820 г. он, наконец, обнаружил эту связь с помощью компаса, расположенного

около длинного проводника. Когда по проводнику протекал ток, стрелка компаса отклонялась. Об открытии Эрстеда было сообщено во всех крупных научных журналах того времени.

В Париже эту новость узнали от друга Ампера Франсуа Араго, который сам непосредственно наблюдал этот эффект во время своего пребывания в Женеве. Члены Французской академии наук скептически восприняли сообщение Араго и убедились в правоте его сведений лишь после того, как 11 сентября 1820 г. Араго сам продемонстрировал это явление. Ампер присутствовал при демонстрации опыта и, вернувшись домой, лично исследовал открытый эффект. Он тут же убедился в том, что Эрстед не вполне понял эксперимент — он не принял во внимание влияние магнитного поля Земли. Угол, на который отклонялась стрелка компаса в опыте Эрстеда, зависел от угла между проводником и направлением магнитного поля Земли.

Ампер тут же приступил к поиску истинного влияния электрического тока на стрелку компаса и придумал установку со свободно вращающимися магнитами, которые нейтрализовали магнитное поле Земли в малой области пространства. С большим удовлетворением он обнаружил, что теперь стрелка компаса постоянно была повернута под прямым углом к проводнику. Тогда он понял, что стрелку компаса можно использовать в приборе для обнаружения электрического тока. С помощью этого нового прибора, который он назвал гальванометром, Ампер проследил движение электрического тока на участках цепи, составленной из проводника и вольтова столба.

До проведения этого опыта считалось, что механизмы протекания тока в вольтовом столбе и проводнике, соединяющем два полюса столба, различны. К своему удивлению, Ампер обнаружил, что ток, текущий через вольтов столб, ничем не отличается от тока в основной части цепи. А что произойдет, заинтересовался он, если сделать замкнутую кольцевую батарею, т. е. все элементы столба соединить по кругу, так чтобы положительный полюс первого элемента соединился с отрицательным полюсом последнего. По косвенным данным удалось установить, что такую батарею Ампер построил в том же плодотворном для себя сентябре и обнаружил, что она создает симметричное магнитное поле. После этого мысли ученого сконцентрировались на гипотезе, которую потом он будет отстаивать всю жизнь, а именно что магнетизм есть не что иное, как электрические токи, движущиеся по замкнуто-



ОЧЕВИДНОЕ ПРОТИВОРЕЧИЕ, содержащееся в фундаментальной гипотезе Ампера о магнетизме, обнаружили опыты М. Фарадея. Скрутив спираль из медного изолированного провода на полый стеклянной трубке и подвесив трубку в резервуаре с водой (а), Фарадей поместил на пробковый поплавок около трубки намагниченную иголку и пропустил ток по спирали. Если бы спираль с током полностью походила на магнит, утверждал Фарадей, поплавок подплыл бы к трубке так, чтобы иголка оказалась внутри спирали; при этом один из магнитных полюсов иголки оказался бы как можно ближе к противоположному полюсу спирали-магнита. Но все было не так. Пробковый поплавок проплыл внутрь трубки (b) и остановился, когда оба полюса иголки оказались рядом с одноименными полюсами спирали. В другом эксперименте (c) Фарадей сделал трубку из стальной полоски, намагнитил ее и подвесил в резервуаре с водой. На этот раз, как он и ожидал, поплавок с иголкой подплыл к одному концу трубки и остановился. Фарадей утверждал, что спираль с током и магнит с точки зрения магнетизма — это не одно и то же. (Ампер сумел согласовать этот результат со своей гипотезой, указав, что в спирали иголка была в центре тока, а в стальной трубе она была наружу по отношению ко всем малым замкнутым контурам тока; следовательно, в этих двух случаях иголка будет вести себя по-разному.)

му контуру. К этой мысли он пришел не позднее 18 сентября, когда прочел свой первый доклад в академии. Но тогда его сообщение осталось почти без внимания.

ЗА ПЕРИОД между 18 и 25 сентября, когда должно было состояться очередное заседание академии, Ампер успел применить свою методику на практике. Исходя из гипотезы о круговом электрическом токе как ноумене, порождаемом явлениями магнетизма, нужно было перейти ко второму этапу, т. е. показать, что круговые электрические токи создают те же эффекты, что и постоянные магниты. Вначале он попытался продемонстрировать это на медной проволоке, скрученной в две спирали (катушки из многих витков). Когда он расположил обе спирали рядом и одновременно пропустил по ним ток в одном направлении (см. рисунок на с. 75), он ожидал, что они будут отталкиваться друг от друга, подобно двум магнитам, повернутым северным полюсом в одну сторону. Но ожидания Ампера не оправдались — катушки не отталкивались, а притягивались.

Затем Ампер попытался применить другой подход. Он скрутил из медной проволоки две плоские спирали, так что один конец проволоки находился в центре спирали, а другой — на ее внешней стороне. На этот раз, когда он пропустил ток по спиральям и сблизил их, они действительно вели себя как магниты. 25 сентября Ампер продемонстрировал оба варианта опыта своим коллегам.

Почему же спирали вели себя по-разному в двух этих случаях? Ответ был найден случайно. Проводники от обеих спиралей были подсоединены к одной батарее, и поэтому два проводника, отходящие от одного полюса батареи, оказались рядом. Когда Ампер включил ток, он заметил, что проводники, по которым ток протекал в одном направлении, испытывали взаимное притяжение, хотя они и не были скручены в спирали. Это взаимодействие между прямыми проводниками, не наблюдавшееся ранее, помогло Амперу понять и объяснить поведение спиралей. Поскольку используемые Ампером проводники были без изоляции, он скручивал спирали так, чтобы витки располагались на большом расстоянии друг от друга. Поэтому составляющая кругового движения тока была незначительна по сравнению с его продольным движением от одного конца спирали к другому. Спирали с такой конфигурацией скорее походили на два прямых проводника, по которым ток протекал в одном направлении, и поэтому они притягивались друг к другу.

Для проверки этого вывода Ампер намотал спираль на стеклянную трубку и пропустил конец проволоки в обратном направлении внутри трубки. Он ожидал, что ток, проходящий по проводнику внутри трубки, нейтрализует эффект продольной составляющей тока, текущего от одного конца обмотки к другому, и преобладающим станет эффект, создаваемый только круговой составляющей тока. В такой конфигурации поведение спиралей ничем не отличалось от поведения постоянных магнитов, и это подтверждало гипотезу Ампера.

В СВЯЗИ с этими результатами возник один сложный вопрос: где же эти электрические токи в постоянном магните? Имеются только две реальные возможности: либо эти токи текут по замкнутой орбите вокруг оси магнита по всей его длине, либо они текут по значительно меньшим круговым орбитам в каждой частице, из которых состоит магнит. На основании предположений Френеля Ампер построил гипотезу о том, что токи циркулируют вокруг отдельных молекул магнита.

Такая гипотеза требовала экспериментальной проверки; Ампер провел ее, основываясь на эксперименте, выполненном его другом Араго. Араго намотал обмотку из медного провода, а внутри расположил железную иголку. Когда он подсоединил обмотку к батарее, круговые токи должны были намагнитить иголку. Если теория Ампера была верна, круговой ток в спирали должен был создавать круговые токи в игле. Но текли ли эти токи вокруг оси иглы или вокруг отдельных молекул внутри нее?

Ампер решил найти ответ на этот вопрос с помощью кольца, сделанного из тонкой медной полоски и подвешенного внутри цилиндрической катушки из изолированного медного провода. Диаметр кольца был немного меньше внутреннего диаметра катушки, а их взаимное расположение было таким, что оси кольца и катушки оказывались параллельными. Если ток в спирали Араго создавал круговые токи около оси иголки, рассуждал Ампер, то такой же ток должен вызывать круговой ток в медном кольце, временно заставляя его проявлять себя так же, как магнит. Присутствие такого наведенного тока Ампер проверил с помощью стержневого магнита, удерживаемого над кольцом в то время, когда по катушке пропусклся электрический ток. Если бы кольцо намагничивалось, оно бы отклонилось под влиянием магнита, но, как и ожидал Ампер, никакого отклонения не наблюдалось. Ампер публично ссылаясь на этот экспери-

мент как на веское доказательство в пользу своей гипотезы о наличии молекулярных токов.

Однако как раз в то время вся его теория относительно причин, обуславливающих свойства постоянного магнита, была опровергнута. В конце 1821 г. в Англии была опубликована и сразу переведена на французский язык анонимная работа, посвященная теории электромагнетизма (впоследствии выяснилось, что ее автором был английский физик Майкл Фарадей). В книге описывались два опыта, проведенные для того, чтобы доказать несостоятельность главной гипотезы Ампера о том, что свойства постоянных магнитов есть просто результат циркулирующих электрических токов. Как писал Фарадей, результаты проведенных опытов показали, что магнетизм постоянных магнитов в корне отличался от магнетизма спиралей с током.

В первом опыте спираль из изолированного медного провода была намотана на полую стеклянную трубку большого диаметра. Трубка наполовину погружалась в воду, так что продольная ось трубки была параллельна поверхности воды. Затем длинная намагниченная иголка помещалась на пробковый поплавок, находящийся неподалеку от трубки, и по спирали пропусклся электрический ток. Если бы спираль была во всем подобна магниту, считал Фарадей, то поплавок должен был подплыть к стеклянной трубке и остановиться, поскольку один из полюсов иголки (скажем, северный) оказался бы настолько близко к противоположному полюсу магнита-спирали (южному), насколько это возможно. Но поплавок подплыл к одному концу трубки и затем, минуя его, продвинулся дальше (к центру спирали), пока оба полюса иголки не расположились непосредственно под одноименными (а не противоположными) полюсами магнита-спирали.

Второй опыт ставился с постоянным магнитом. Из стального листа была свернута полая труба, она намагничивалась и подвешивалась так, что наполовину была погружена в воду. В этом случае пробковый поплавок подплывал к трубе и останавливался как только северный полюс иголки оказывался непосредственно у южного полюса магнита; это, по словам Фарадея, подтверждало, что катушка с током отличается от постоянного магнита. Следовательно, магнитные свойства постоянного магнита не являются результатом циркулирующих электрических токов.

Ампер пытался найти выход. Если токи в магнитах циркулируют вокруг отдельных молекул, рассуждал он, то

поле в центре стальной трубы должно качественно отличаться от поля спирали. В спирали намагниченная иглолка была заключена внутри циркулирующего тока; в стальной же трубе стрелка «компас» была за пределами множества молекулярных токов. Следовательно, можно ожидать, что иглолка в обоих случаях будет вести себя по-разному. Объяснив явление таким образом (что было абсолютно правильным), Ампер публично был признан родоначальником идеи о молекулярных токах.

Убедительность идей Ампера стала очевидной летом 1822 г., когда он повторил свой эксперимент с кольцом из медной полоски и катушкой из медной проволоки. На этот раз, однако, он ставил опыт с мощным подковообразным магнитом, а не со слабым стержневым, и медное кольцо действительно отклонялось. Этот результат несколько озадачил Ампера. Казалось, что он противоречит его теории молекулярных токов, но Ампер не стал больше проверять свою теорию. Он лишь попутно упомянул об этом опыте в своем докладе а академии в том же сентябре, сделав необычное примечание, что наблюдаемый эффект не имел никакой теоретической значимости. Фактически Ампер, сам того не зная, наблюдал явление электромагнитной индукции, проявляющейся во взаимодействии двух токов, но до 1832 г., когда Фарадей открыл и изучил электромагнитную индукцию, Ампер не понимал, насколько близок он был к важному открытию.

ПОСЛЕ 1822 г. фундаментальные идеи Ампера в области электродинамики уже не менялись. Но теперь ему оставалось ввести количественные оценки в разработанную им теорию. После того как Ампер сформулировал свою теорию о магнитных свойствах постоянных магнитов, его следующая задача заключалась в том, чтобы опытным путем определить величину различных электромагнитных сил. Ампер решил, что фундаментальное взаимодействие в электродинамике определяется силой, действующей между двумя проводниками, и приступил к тяжелой работе, связанной с измерением этой силы. И вновь на помощь пришла его способность выдвигать гипотезы. В отличие от гравитационных сил, которые можно выразить математически как силы, действующие между простыми геометрическими точками, силы между токами в проводниках не всегда можно трактовать столь же просто.

Идея Ампера заключалась в том, чтобы рассмотреть бесконечно малые участки проводника в предпо-

жении, что силы, действующие между такими элементарными сегментами, обратно пропорциональны квадрату расстояния между ними. Затем он нашел общую силу взаимодействия двух проводников путем интегрирования, математического суммирования, всех бесконечно малых сил, учитывая направленность их действия в зависимости от взаимного расположения проводников. Вначале Ампер рассмотрел особый случай, когда оба проводника находятся в одной плоскости. Позже он обобщил свой результат на случай, когда проводники лежали в разных плоскостях, независимо от того, под каким углом эти плоскости наклонены друг к другу. Это обобщение позволило рассматривать и другие случаи, в частности, когда проводники изогнуты каким угодно образом и в любом направлении в трехмерном пространстве. Его окончательный результат приобрел вид простой компактной формулы, с помощью которой можно рассчитывать величину электродинамической силы, действующей между двумя проводниками, если только известны силы взаимодействующих токов и относительное расположение этих проводников. В 1826 г. Ампер переработал написанные им ранее труды, с тем чтобы подготовить книгу, содержащую окончательные выводы. Во французском издании эта книга была выпущена под названием: «Mémoire sur la théorie mathématique de phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expérience» («Теория электродинамических явлений, выведенная исключительно из опыта».)

ПОСЛЕ 1827 г. здоровье Ампера стало резко ухудшаться. Он перестал заниматься творческой научной деятельностью и переключился на философские проблемы науки. В этой области он пересмотрел некото-

рые свои прежние взгляды, которых он придерживался в годы юношеского влечения. Он был восхищен доктриной Готфрида Вильгельма фон Лейбница о предустановленной гармонии, утверждавшей, что разум Человека является копией, хотя и не совершенной, разума Бога. Поскольку процесс мышления Человека является подобием процесса мышления, свойственному Богу, как говорил Лейбниц, и поскольку разум Бога сотворил Вселенную, разум Человека должен быть способным понять эту Вселенную через процесс чистого разума; другими словами, должна иметь место изначально существующая гармония между законами Вселенной и мыслительной способностью людей.

Ампер решил, что если существует соответствие между божественным разумом, разумом человека и присущей Вселенной рациональностью, то оправдана правомерность процесса таксономии для обнаружения конечной Истины. Если бы можно было обрисовать все науки, которые только может представить себе человеческий разум, утверждал Ампер, то тогда мы имели бы основной ключ ко всем возможным истинам, поскольку разум построен так, что его структура прямо соответствует структуре Вселенной. Оставалось бы только заполнить свободные блоки в таксономической схеме космической иерархии.

Перед смертью, наступившей в 1836 г., как полагают от пневмонии, Ампер сделал много таких схем, считая, что они могут служить инструментом фундаментальных исследований. И, таким образом, Ампер закончил свою жизнь почти так же, как и начал ее: как энциклопедист, преданный идее о единстве всех знаний, поскольку все знания есть не что иное, как отражение единства божественного разума.

Подписка на журнал

В МИРЕ НАУКИ

принимается во всех отделениях «Союзпечать».

Цена одного номера 2 р., цена подписки на квартал — 6 р., на год — 24 р.,

индекс журнала 91310

по «Каталогу газет и журналов зарубежных стран», раздел «Переводные научные и научно-технические журналы».



Окраска неба дает пищу для изучения рассеяния света



ДЖИРЛ УОЛКЕР

ПРИЧИНА окраски неба в дневное время и в сумерки долгое время оставалась необъясненной, хотя этот вопрос исследовался на протяжении доброй сотни лет. Почему чистое небо днем большей частью голубое, а у горизонта белесое? Почему заходящее солнце обычно красное, а небо над ним окрашено в разные цвета? Почему в сумерки в восточной части неба появляется искривленная тень с розовой границей? Почему в западной части неба вскоре после захода солнца иногда возникает фиолетовое пятно, которое через некоторое время исчезает, и почему такое же пятно иногда появляется спустя два часа? Чтобы ответить на эти вопросы, нужно знать, как взаимодействует свет с молекулами атмосферных газов и с взвешенными в воздухе частицами. На некоторые из этих вопросов однозначные ответы еще не получены.

Гипотез относительно того, почему чистое небо преимущественно голубого цвета, предлагалось достаточно много. В некоторых из них принимались во внимание особенности рассеяния света на таких объектах, как пыль, аэрозоли (автор, вероятно, имеет в виду жидкие аэрозоли. — *Ред.*), кристаллики льда и капли воды; в других предполагалось, что основную роль здесь играет поглощение компонентов солнечного света, соответствующих красному концу спектра, молекулами водяного пара и озона. Непригодность всех этих объясне-

ний была разобрана в появившемся в 1985 г. обзоре К. Борена и А. Фрейзера из Пенсильванского университета, которые привели правильное объяснение, а именно то, которое еще в 1899 г. дал лорд Рэлей.

Рэлей не сразу пришел к своей идее — отчасти по причине тех открытий, о которых сообщил в 1869 г. английский физик Дж. Тиндалл, оставивший по себе память как умелый популяризатор. Тиндалл показал, что искусственный туман «приобретает цвет, соперничающий с цветом чистейшего итальянского неба», если его осветить белым светом и наблюдать под углом к световому лучу. Годы спустя многие исследователи, включая Рэдея, продолжали считать, что голубой цвет неба объясняется рассеянием света на частицах. Предполагалось, что просто газ, например воздух, очищенный от всех взвешенных частиц, не будет рассеивать свет и разлагать его на цвета спектра.

Однако в статье, опубликованной в 1899 г., Рэлей все-таки признал, что рассеяние солнечного света и разделение его на цветовые компоненты — дело молекул атмосферных газов и что «даже в отсутствие посторонних частиц в воздухе небо все равно было бы голубым». Рэлей построил изящную модель, объясняющую, как молекулы рассеивают свет. Чтобы разобраться в этой модели, рассмотрим молекулу (неважно какого газа), освещенную белым светом. Белый свет представляет собой смесь всех лучей

видимого спектра, каждому из которых соответствует определенная длина волны. Она возрастает последовательно от синей части спектра к зеленой, желтой и красной; длина волны красного света в 1,68 раза больше длины волны синего.

Каждая составляющая белого света рассеивается на молекуле во всех направлениях, но распределение это неоднородно. Наибольшее количество света рассеивается вперед (как если бы свет проходил через молекулу насквозь) и в обратном направлении (к солнцу). В направлении, перпендикулярном солнечному лучу, света рассеивается вдвое меньше. Все лучи спектра рассеиваются сходным образом, но для каждого цвета интенсивность света, рассеиваемого в определенном направлении, различна. Рэлей обнаружил, что эта интенсивность обратно пропорциональна четвертой степени длины волны. Таким образом, коротковолновая радиация (синий свет) рассеивается сильнее, чем длинноволновая (красный свет). Поскольку отношение длин волн этих лучей равно 1,68, интенсивность рассеянного синего света в $1,68^4$, или примерно в 8 раз больше, чем интенсивность рассеянного красного света.

Предположим, вы воспринимаете свет, рассеянный перпендикулярно падающему солнечному лучу. Если бы вы могли увидеть свет, рассеиваемый одной молекулой, он показался бы вам голубоватым, поскольку синие лучи в рассеянном свете имели бы наибольшую интенсивность. Реальные условия отличаются лишь тем, что свет в вашем направлении рассеивают многие молекулы. Именно так обстоит дело, когда вы смотрите на небо под углом к солнцу. Все молекулы, лежащие вблизи линии вашего взора, рассеивают в вашем направлении свет, который и кажется голубоватым; небо не выглядит ярко-синим, поскольку лучи других цветов, хотя и более бледные, также попадают в ваши глаза.

Тот факт, что по мере прохождения солнечного света через атмосферу синие лучи в результате рассеяния постепенно «изымаются», означает, что в солнечном свете начинают преобладать красные лучи. Если посмотреть на солнце, стоящее высоко на небе, идущий от него свет не покажется особенно красным, поскольку он в этом случае проходит небольшой путь в атмосфере. Когда же солнце находится низко над горизонтом, солнечный свет, прежде чем достигает глаз наблюдателя, проходит в атмосфере большой путь, и поэтому он кажется красным — отсюда преобладание красного цвета на закате.

В этом рассуждении можно заме-



Рэлеевское рассеяние на молекулах



Рассеяние Ми на крупных частицах

Два вида рассеяния



Разделение света на цветовые компоненты при рэлеевском рассеянии

тить противоречие. Синий свет рассеивается сильнее, чем красный, в любом направлении. Приведенное рассуждение применимо и к свету, который рассеивается вперед, в направлении первоначального солнечного луча. Если синий свет рассеивается вперед сильнее, чем красный, то почему солнечный свет по мере прохождения через атмосферу краснеет?

Дж. Лок, мой коллега из Кливлендского университета, наглядно показал, что происходит со светом, и тем самым устранил кажущееся противоречие. Предположим, что первоначально в падающем луче летит 1000 «красных» фотонов и 1000 «синих». Когда свет достигает группы молекул, число синих фотонов, которые рассеиваются во всех направлениях, в восемь раз больше числа рассеиваемых красных фотонов. Предположим, что всего рассеиваются 80 синих и 10 красных фотонов, причем из них восемь синих фотонов и один красный рассеиваются вперед. После одного акта рассеяния в таком случае в луче останется 991 красный фотон и только 928 синих, откуда следует, что луч «покраснел».

Вы можете спросить, как может свет рассеиваться вперед, словно проходя сквозь молекулу. Дело в том, что молекула — это не твердая стенка; скорее, ее можно представить в виде некой достаточно «пустой» конструкции в которой вокруг крошечного ядра вращаются электроны. В классической теории рассеяния предполагается, что электрическое поле падающего на молекулу света заставляет электроны колебаться; энергия передается от света колеблющимся электронам. Когда заряженная частица, каковой является электрон, колеблется, она излучает свет во всех направлениях, кроме того, в котором происходят колебания. Это переизлучение и есть «рассеянный» свет и, разумеется, часть его идет в том же направлении, что и первоначальный луч.

Борен и Фрейзер выдвинули и сами же опровергли одно возражение против объяснения голубизны неба, данного Рэлеем. Самые короткие волны в видимой части спектра — фиолетовые, а не синие. Почему же тогда небо не кажется фиолетовым? Борен и Фрейзер считают, что на то есть две причины. Одна, менее важная, заключается в том, что в солнечном спектре фиолетового света меньше, чем синего, поэтому рассеивается фиолетового света также меньше. Другая причина, более важная, состоит в том, что человеческий глаз более чувствителен к синему свету, чем к фиолетовому.

Люди часто приписывают голубую окраску неба рассеянию света на мо-

лекулах водяного пара, — наверное, потому, что большие объемы воды имеют голубоватый оттенок. Одна из причин, почему озеро может казаться голубым, состоит в том, что, когда свет проходит расстояние в сотни метров в толще озера, вода частично поглощает красные лучи, и свет, доходящий в конце концов до наблюдателя, кажется более синим. Борен и Фрейзер указали, что атмосфера содержит слишком мало водяного пара, чтобы этот эффект мог оказать какое-либо влияние на окраску неба.

Причину голубой окраски неба искали также в слое озона, который располагается на высотах от 10 до 40 км с максимальной концентрацией на высоте 25 км. Полосы поглощения молекул озона располагаются на красном конце спектра. Может быть, красные лучи в солнечном свете ослабляются при прохождении через слой озона, так что свет, достигающий земли, содержит больше синих лучей? Борен и Фрейзер утверждают, что хотя озон действительно поглощает часть составляющих из красного конца спектра, этот эффект играет незначительную роль. Когда вы смотрите вверх на дневное небо вы видите свет, который прошел слишком короткий путь в слое озона, чтобы поглощение было существенным. В сумерки, когда сол-

Красноватый свет, идущий с горизонта



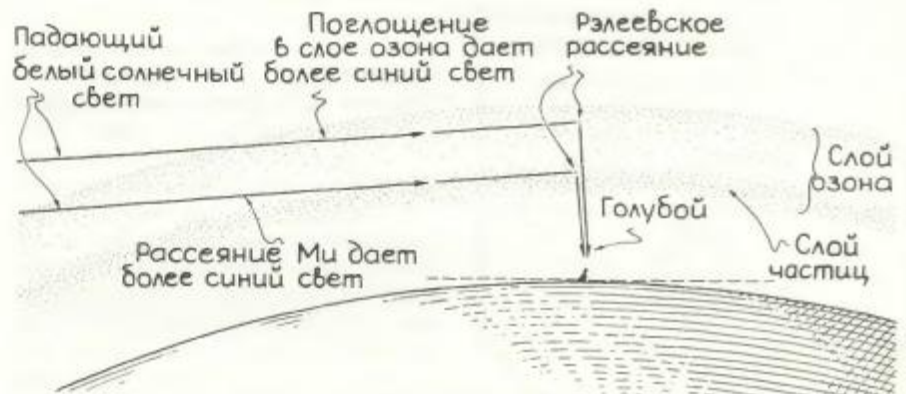
Объяснение цвета заходящего солнца

нечные лучи идут наклонно (а значит, проходят более длинные пути) через слой озона, поглощение в этом слое становится более существенным, но ответственным за голубую окраску неба по-прежнему остается рассеяние Рэлея.

В дневное время голубой цвет неба бледнеет к горизонту и до высоты около 5° над горизонтом небо часто кажется белесым. Молекулы воздуха, расположенные на линии взора, направленной на горизонт, как и все другие молекулы, рассеивают свет по закону Рэлея, поэтому возникает вопрос: что же происходит с голубой окраской неба? Согласно Борену и Фрейзеру, «утеря» цвета объясняется тем, что когда вы смотрите на горизонт, свет, попадающий вам в глаза, проходит до этого больший путь, чем в случае, когда вы смотрите под боль-



Почему небо днем вблизи горизонта белесое



Почему сразу после захода солнца небо в зените синее



Окраска верхнего края земной тени

шим углом к горизонту. Значительное увеличение расстояния, проходимого светом, приводит к тому, что рассеяние очень велико.

Часть света рассеивается от молекул, которые находятся не очень далеко от вас (см. верхний из двух рисунков внизу с. 81). От них в ваши глаза попадает свет, в котором много синих лучей. Молекулы, расположенные гораздо дальше, также рассеивают «обогащенный» синими лучами свет в вашу сторону, но вследствие большого расстояния до вас свет испытывает множество актов рассеяния, прежде чем достигает ваших глаз. При каждом таком акте свет, рассеиваемый в вашем направлении, является светом, рассеянным вперед, поэтому синих лучей в нем мало; после многих актов рассеяния доходящий до вас свет содержит уже больше красных лучей. В результате в ваши глаза попадают лучи из синей части спектра от близких молекул и лучи из красной части спектра от далеких молекул. Смесь этих лучей дает белый свет — то, что вы видите, глядя на горизонт.

Те же эффекты объясняют окраску темных гор на горизонте. Если горы расположены близко, то в ясный день они кажутся голубоватыми, поскольку молекулы, находящиеся между ва-

ми и горами, рассеивают в вашу сторону больше синих лучей. Если же горы находятся очень далеко, они всегда белесые — такие же, как небо на горизонте.

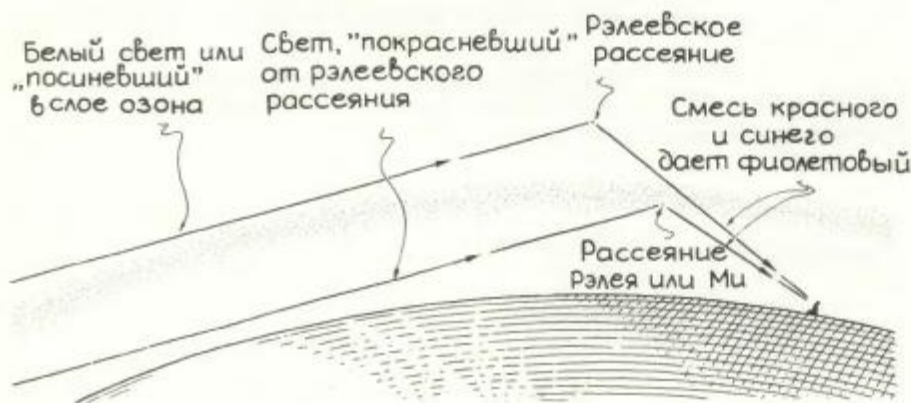
Согласно Борену и Фрейзеру, заходящее солнце было бы оранжевым (этот цвет находится в спектре между красным и желтым), а не красным, если бы на своем пути свет рассеивался только на молекулах воздуха. Красная окраска солнца объясняется тем, что свет обычно рассеивается не только на молекулах, но и на мельчайших взвешенных частицах и аэрозолях.

Когда вы смотрите на область неба, близкую к солнцу, то в любое время дня вы видите часть яркого света, рассеянного вперед этими самыми крохотными частицами и аэрозолями, так что эта область оказывается более яркой, чем если бы такие частицы отсутствовали. Когда солнце стоит высоко, небо вокруг него кажется ярко-белым. Когда же солнце находится низко, свет, достигающий слоя частиц, уже оказывается обогащенным красными лучами в результате рэлеевского рассеяния, и небо вокруг солнца кажется красным. Чем больше частиц в атмосфере, тем ярче окружающая солнце область и тем резче очерчен солнечный диск.

Говоря о частицах и аэрозолях, я имел в виду самые мелкие из них — до 0,1 мкм в диаметре, которые рассеивают свет по рэлеевскому закону, т. е. как молекулы. Частицы несколько большего размера рассеивают свет гораздо более сложным образом: это рассеяние Ми, названное так по имени немецкого физика Густава Ми, который в начале века создал теоретическую модель этого явления. Рассеяние Ми на больших частицах, по сути дела, представляет собой дифракцию, при которой большая часть света рассеивается вперед в виде узкого конуса. Красные лучи рассеиваются более широким конусом, чем синие, поэтому распространяющийся свет становится более синим. (В простейшем случае дифракции световые волны, падающие на частицу, расширяются, огибают частицу и поэтому попадают в «зону тени»). В случае рассеяния Ми поведение света интерпретировать сложнее и я не буду вдаваться в детали.)

В сумерках в ясную погоду небо в зените (т. е. прямо над головой) имеет более насыщенную синюю окраску, чем днем. Этот эффект кажется довольно странным, поскольку небо на горизонте, т. е. близко к солнцу, может при этом иметь явный красный цвет. На этот счет имеется несколько объяснений, наиболее правдоподобное из которых опирается на свойства озонового слоя. Когда в сумерках солнечный луч проходит под малым углом через слой озона, в результате поглощения озоном солнечной радиации в красном конце спектра луч становится более синим, несмотря на то что в целом в атмосфере луч испытывает рэлеевское рассеяние. Луч становится еще более синим, если он проходит под малым углом через слой частиц, размер которых достаточно велик, для того чтобы в игру вступило рассеяние Ми. После того как свет благодаря действию одного или обоих этих механизмов приобрел более синюю окраску, часть его вследствие рэлеевского рассеяния идет в вашем направлении от неба в зените и небо там кажется более синим, чем днем.

Сразу после захода солнца в восточной части неба начинает расти тень земли. Граница тени обычно окрашена в красный или в розовато-фиолетовый цвет. Этот цвет обусловлен тем светом, который «покраснел» в результате рэлеевского рассеяния при прохождении по длинному пути в нижних слоях атмосферы. Там, где вы видите верхний «край» тени, часть света, испытав рэлеевское рассеяние, идет обратно — в вашем направлении. Вследствие этого верхний край тени кажется красным.



Образование фиолетового пятна в сумерки

Ниже верхнего края тени небо может казаться голубоватым. Голубая окраска, возможно, объясняется тем, что солнечный свет проходит через верхние, менее плотные слои атмосферы, где синие лучи не ослабляются в такой степени, как в свете, который проходит в нижней части атмосферы и сталкивается с большим числом молекул. Свет может приобрести заметную голубую окраску, если он идет под малым углом через озоновый слой или через слой частиц, на которых происходит рассеяние Ми. Вблизи земной тени часть света, испытав рэлеевское рассеяние, проходит в область тени, где она еще раз рассеивается по закону Рэлея, прежде чем попадает в ваши глаза. Поскольку рассеяние многократное, свет, который попадает в ваши глаза от области тени, довольно слаб, и его можно видеть только на фоне земной тени.

Спустя примерно 10 мин после того, как солнце село, на высоте от 30 до 75° иногда возникает фиолетовое пятно. Появление этого, так называемого фиолетового света объясняется, по-видимому, тем, что на высотах от 16 до 20 км, в нижней части озонового слоя, располагается слой частиц. Это могут быть частицы пыли из пустынь или частицы золы, образовавшейся при вулканических извержениях и лесных пожарах.

В 1967 г. А. Мейнел и М. Мейнел из Аризонского университета обратили внимание на то, что такой слой частиц может быть образован продуктами вулканических извержений. Когда при извержениях в атмосферу выбрасывается большое количество газообразного диоксида серы, в результате реакции этого газа с озоном в нижней части озонового слоя образуются сульфаты. Когда сульфаты оседают на ядрах конденсации, возникают аэрозоли, на которых может происходить рассеяние Ми.

В своей превосходной книге «Закат, сумерки и вечернее небо» супруги Мейнел выдвигают гипотезу, что фиолетовое пятно — это результат смещения «очень красных» и «очень синих» лучей, которые рассеиваются в разных частях неба. Красные лучи — это солнечный свет, который идет вокруг земли, проделывая в атмосфере такой длинный путь, что в результате рэлеевского рассеяния краснеет. Часть этого света идет затем в вашу сторону, рассеявшись на слое частиц благодаря рассеянию Ми, если частицы достаточно велики и благодаря рэлеевскому рассеянию, если они малы; в любом случае вы видите более красный свет.

Синие лучи — это солнечный свет, который прошел через высокие слои

атмосферы и потому не очень покраснел. (Я бы добавил от себя, что, поскольку свет идет под малым углом через слой озона, в нем вследствие поглощения красных лучей должны доминировать синие лучи.) Часть этого света рассеивается по закону Рэлея и в вашу сторону идет синий свет. И красные, и синие лучи идут вдоль линии вашего зора и их смесь дает фиолетовое пятно. Причина, по которой другие участки неба не кажутся фиолетовыми, состоит в том, что от них идет смесь лучей разных цветов, а не чистые синие и чистые красные лучи; цвет этой смеси зависит от угла зрения. Окраска неба бывает особенно яркой, когда слой частиц плотный и толстый, как часто бывает после крупных вулканических извержений. После извержения вулкана Кракатау на острове Ява в 1883 г. необычайно яркие закаты наблюдались на протяжении пяти лет, а после извержения вулкана Агунг на острове Бали в 1963 г. — в течение трех лет.

Второе (реже наблюдаемое) фиолетовое пятно, которое появляется примерно на том же месте, что и первое, но спустя полтора-два часа после захода солнца, окончательно объяснить не удалось. Некоторые специалисты полагают, что оно имеет своей причиной тот же слой частиц или аэрозолей, что и первое пятно. Если этот слой достаточно толстый, свет, который рассеивается в части слоя, лежащей очень низко под горизонтом, может еще раз рассеяться в той части слоя, который находится в зоне видимости. При условии, что вторично рассеянный свет достаточно ярко, вы увидите слабое фиолетовое пятно.

Другое объяснение основано на том, что на высоте от 80 до 90 км, в зоне минимума температуры, соответствующего границе между мезосферой и термосферой, находится второй слой частиц. Эти частицы могут быть земного происхождения, но более вероятно, что они пришли из космоса. Дело в том, что земля притягивает огромное количество обломков комет и астероидов, которые могут образовывать в низкотемпературной зоне атмосферы достаточно толстый слой. Свет, рассеиваемый этим слоем, разумеется, слишком слаб, чтобы его можно было увидеть днем и даже в ранние сумерки, но он заметен, когда большая часть видимой атмосферы находится в тени земли, а сам слой все еще освещен солнцем. В будущем в связи с возрастанием светового «загрязнения», объясняемого освещением больших городов, это второе пятно можно будет наблюдать, вероятно, все реже и реже.

Вниманию читателей!

ОБСТАНОВКИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ И ФАЦИИ

Под редакцией Х. Рединга
Перевод с английского

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 объединения фаций в группы и серии, а также факторы, контролирующие 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 её особенно доступной для конкретного применения при полевых исследованиях.

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

1990, 76 л. Цена 15 р. 50 к.
за комплект

На книги, выходящие в 1990 г., магазины научно-технической литературы будут принимать заказы с апреля-мая 1989 г. Издательство заказы не принимает.



Психологические задачи: тема и вариации



А.К. ДЬЮДНИ

«По-видимому, самое интересное развлечение для человека — анализировать характер других людей» из статьи А. Сингера в журнале «*Нью-Йорк таймс мэгэзин*», 26 ноября 1978 г.

ОДНАЖДЫ три знаменитых философа Древней Греции решили совершить полуденную прогулку по живописным окрестностям Афин. Расположившись под сенью большого оливкового дерева, они откупорили амфору с вином и начали не спеша обсуждать фундаментальный вопрос онтологии: в чем причина существования мира? Сначала дебаты были жаркими, но потом мысли стали путаться и дискуссия как-то увяла. Вскоре все три философа крепко заснули в тени дерева.

Озорной мальчишка из Афин, гулявший поблизости, увидев трех спящих философов, осторожно посадил им на лоб кляксы белой краской. Вечером перед заходом солнца жившая на этом дереве сова села на ветку прямо над спящими. Громко крикнув, она шумно захлопала крыльями и улетила. Крик совы пробудил философов, каждый из которых сразу подумал, что именно сова разукрасила лбы его коллегам. Все разом засмеялись.

Зрелище действительно было забавным, и прошло, наверное, секунд пять, прежде чем один из них внезапно прекратил смех. Почему? Эту задачу можно решить, проследив за ходом мыслей философа, прекратившего смеяться. При этом надо учитывать те предположения, которые делал философ относительно хода мыслей своих коллег.

Во многих задачах подобного рода люди фигурируют лишь для того, чтобы создать привычный для человека контекст, в котором задача выглядит более естественной, а решающий чувствует себя увереннее. Однако для успешного решения задач, которые мы условно назовем «психологическими», таких как задача о трех философах, необходимо учитывать, что думает один персонаж относительно хода мыслей других персонажей, фи-

гурирующих в задаче. Подобное размышление о размышлениях представляет собой не только интересную тему для головоломок, оно необходимо также ученым, пытающимся создать такие программы, которые моделируют возможный ход мыслей человека, оказывающегося в аналогичных затруднительных ситуациях.

Для дальнейшего обсуждения этой темы нам, пожалуй, не обойтись без рассмотрения решения задачи о трех философах. Пусть это будет Пифагор, Платон и Аристотель. Пифагор, самый старший и мудрый, первым перестал смеяться. И вот почему: глядя на то, как веселится Аристотель, он понял, что тот не подозревает, что у него самого лоб запачкан чем-то белым. Но если у Пифагора лоб был чистым, то, очевидно, Аристотель смеялся над Платоном. Тогда, что думал Аристотель относительно того, над кем смеется Платон? «Клянусь всемогущей Афиной, — подумал, наверное, Пифагор, — мне не следовало бы смеяться!» Ситуация эта изображена на рисунке на с. 85.

Мы привели решение для более или менее традиционной формы этой задачи. Ее можно несколько расширить, спросив, почему несколькими секундами позже прекратил смеяться и Платон. Как только Пифагор прекратил смеяться, ход его мыслей озадачил Платона. В самом деле, казалось бы, что Платон должен был утвердиться в предположении, что его лоб был чистым. «Пифагор, очевидно, увидел, что у меня лоб чистый и понял, что Аристотель смеется над ним», — мог бы рассуждать Платон. И все же, подумав как следует, Платон должен был догадаться, что его лоб также испачкан. Я представляю читателям самим, мысленно представив себя на месте Платона, определить, каким образом он пришел к этому выводу.

Рассмотрим другую задачу — так сказать, вариацию на тему трех философов. Один султан устроил трем своим визирям экзамен, чтобы самого мудрого из них назначить главным визирем. Он отвел трех кандидатов в темную комнату и одел каждому на

голову по белому колпаку. Затем султан привел их в парадный зал и обратился к ним со следующими словами: «У каждого из вас на голове колпак, черный или белый, по крайней мере на одном из вас он, точно, белый. Первый, кто догадается, какого цвета у него колпак, станет моим главным визирем».

По существу, задача о трех визирях тождественна задаче о трех философах, хотя здесь смех уже не помогает определить, что видит тот или иной визирь. Однако любопытно, что эквивалентный эффект достигается здесь за счет того, что по крайней мере один из колпаков белый, и за счет того, что визири, не уверенные в правильном ответе, хранят молчание.

Назовем трех кандидатов на пост главного визиря аль-Хваризми, ибн-Халдун и ибн-Сина. Посмотрим, как рассуждал аль-Хваризми, вышедший победителем: «Так, предположим, что на мне черный колпак, что в таком случае подумают остальные? Допустим, ибн-Халдун тоже думает, что на нем черный колпак. Но тогда он поймет, что ибн-Сина видит перед собой два черных колпака и должен немедленно сообразить, что на нем белый. Однако ибн-Сина не воскликнул: «На мне белый колпак!» Поэтому ибн-Халдун знает, что ибн-Сина видит перед собой по крайней мере один белый колпак. Если бы мой колпак был действительно черным, то ибн-Халдун догадался бы, что ибн-Сина видит белый колпак у него на голове, и сказал бы, что белый колпак на нем. Ибн-Халдун тем не менее молчит. Клянусь бородой пророка, мой колпак не может быть черным!».

У задачи о трех визирях существует решение и другого уровня, как справедливо отметил один из моих коллег. Как только кандидатам объяснят условия конкурса, каждый из них должен догадаться, что единственно справедливый тест их умственных способностей может быть только при условии, что все три колпака белые.

Можно без труда переписать задачу о трех философах и трех визирях в бесчисленных вариациях. Одна из хорошо известных вариаций — это задача о трех женщинах аристократках, путешествующих по железной дороге в Англии на рубеже XIX и XX вв. День выдался жарким, и они открыли окно купе, чтобы подышать свежим воздухом. Поезд, изрыгающий густые облака черного дыма, въезжает в длинный темный туннель. Когда он снова выезжает на свет, все три женщины начинают смеяться при виде перепачканных сажей лиц своих компаньонов, однако через несколько секунд одна женщина неожиданно прекращает смеяться.

А вот еще одна вариация. Три бизнесмена обедают в фешенебельном нью-йоркском ресторане по оплаченным фирмой счетам. С удовольствием уминая пирог со шпинатом, каждый вдруг замечает, что в зубах у них застрял шпинат ... То, что «психологические» задачи могут принимать множество эквивалентных форм, приводит нас к понятию трансформации задачи. Посмотрим, например, каким образом можно трансформировать задачу о трех философах в задачу о трех визирях. Полезно будет определить соответственные элементы этих задач, имеющие аналогичные значения.

1. Озорной мальчишка — султан
2. Философ — визирь
3. Лоб — голова
4. Белое пятно — белый колпак
5. Смех — молчание

Помимо соответственных элементов следует определить также, что мы, собственно, понимаем под философом или визирем в данной задаче. Философ — это человек, который, пока не проанализирует ситуацию, будет смеяться при виде хотя бы одного испачканного лба, а в противном случае не будет смеяться. Визирь же — это человек, который, пока не проанализирует ситуацию, будет хранить молчание при виде по крайней мере одного белого колпака. В противном случае он скажет: «У меня на голове белый колпак».

Читателям предлагается самим заполнить пустые места в схеме обобщенной психологической задачи. Например, заполнив пронумерованные пустые места соответствующими словами из левой колонки, приведенной выше таблицы, вы получите задачу о трех философах. Если же подставить соответствующие слова правой колонки, то получится задача о трех визирях. (Можно, конечно, придумать свой собственный набор слов, подходящих для подстановки на свободные места схемы.) Для простоты мы опустили здесь красочные описания времени и места событий.

Как-то раз (1) _____ поместил (4) _____ на (3) _____ каждого из трех (2) _____, так, что они об этом не знали. Пока он не знает, что у него на (3) _____ есть (4) _____, каждый (2) _____ (5) _____. Вдруг самый мудрый из трех (2) _____ прекращает (5) _____, воскликнув: «У меня (4) _____ на (3) _____». Как он догадался об этом?

Следующая вариация на тему трех философов, которую я сейчас представлю, первоначально касалась неверных жен. Но поскольку здесь можно усмотреть стереотип неравнопра-

вия женщины, я воспользуюсь простейшей трансформацией, чтобы видоизменить задачу. Во всяком случае, эта задача интересна, потому что является обобщением задачи о трех философах.

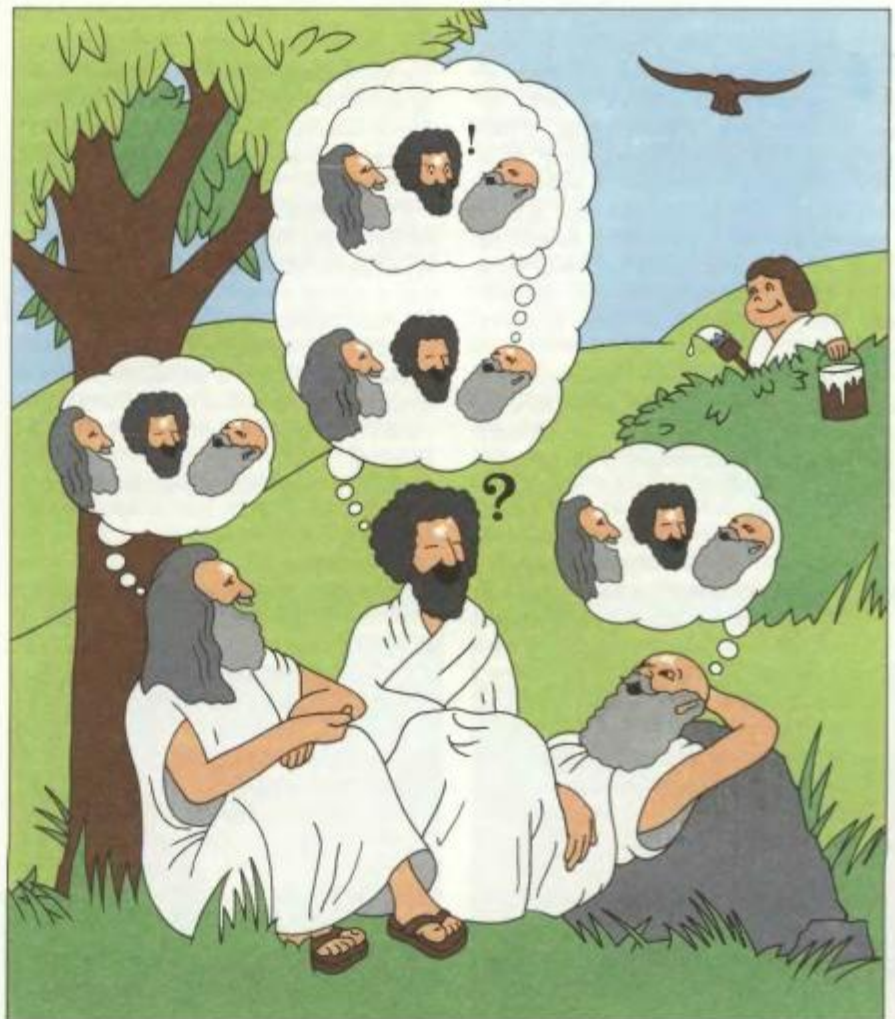
Деспотичная королева амазонок объявила как-то раз своим подданным соотечественницам, что по крайней мере один из их мужей нарушил супружескую верность. Затем она велела зачитать свой королевский указ: «Если кто-нибудь из вас уличит своего мужа в неверности, я повелеваю казнить его ровно в полночь того дня, в который вы убедитесь, что он вам изменял». В королевстве амазонок информацией делились довольно свободно, но и не слишком откровенно: каждая амазонка знала о неверности всех мужей, кроме своего собственного. Весть об указе королевы облетела страну за один день. Нужно сказать, что в королевстве насчитывалось ровно 40 неверных мужей. Был ли кто-нибудь из них казнен, и если да, то на который день после указа?

Читатели, наверное, заметили, что королева сказала о неверности по

крайней мере одного мужа. Если бы действительно лишь один мужчина обманывал свою супругу, то его жена сразу же разоблачила бы его: ведь если бы неверным был чей-то еще муж, а не ее собственный, то она бы слышала об этом. Поэтому в полночь того же дня, в который королева издала свой указ, обманщик был бы убит своей женой.

Если бы неверных мужей было только двое, то их супруги расправились бы с ними в полночь второго дня. Тот факт, что ни одной казни не произошло в полночь первого дня, как раз свидетельствовал бы, что неверных мужей было двое. Поскольку жены этих двух обманщиков знали только об одном неверном супруге в королевстве (хотя все остальные амазонки знали, что неверных мужей по крайней мере двое), они немедленно поняли бы, что вторым обманщиком является собственный муж.

Теперь читатели уже, наверное, уловили идею рассуждения. Ни одной казни к полуночи *n*-го дня после указа — это факт, свидетельствующий о том, что в королевстве насчитывает-



Один из философов оказался сообразительнее двух других

ся по крайней мере $n + 1$ неверных мужей. На заре сорокового дня все уже знали бы, что по крайней мере 40 мужей обманывали своих жен. На самом деле это несколько не удивит амазонок, мужья которых были им верны, так как они и до этого знали, что в королевстве 40 неверных мужей. И лишь жены неверных мужей будут знать о 39 случаях супружеской измены, что и будет говорить им о сороковом обманщике, собственном муже. Эти жены, выполняя повеление королевы, призовут своих мужей на полночный тет-а-тет по истечении 40 дней после указа.

Действительно ли задача об амазонках является вариацией на тему о трех философах? На этот вопрос можно ответить, предположив, что амазонок всего три, причем каждая из них имеет неверного супруга. В этом случае к концу третьего дня каждая женщина придет к правильному выводу. Строго говоря, в такой формулировке задача имеет больше сходства с задачей о трех визириях (но выше уже было доказано, что она получается путем трансформации задачи о трех философах).

Чтобы убедиться в этом, предположим, что султан обратился к трем кандидатам на пост главного визирия со следующими словами: «Я спрошу вас несколько раз подряд, знаете ли вы, какого цвета у вас колпак. Отвечайте только, если точно знаете, если же не уверены, молчите». В этом случае, когда султан первый раз задаст свой вопрос, все три визирия ничего не ответят. И на второй раз все трое промолчат. Когда же вопрос прозвучит третий раз, все трое ответят «да».

В задаче об амазонках неверных мужей 40, а не 3. Можно ли обобщить задачу о трех философах на 40 человек? Да, можно. Пока представим себе четырех философов, спящих под дере-

вом. Проснувшись, все они дружно начинают смеяться, и четвертый философ (на самом деле один из переплотившихся бессмертных богов) рассуждает следующим образом:

«Хм. Уже по самой своей божественной природе и достоинству я могу, естественно, полагать, что мой лоб не испачкан, и поэтому я могу от души смеяться над этими смертными. Но почему никто из них не понимает, что сам испачкан, и не прекращает смеяться?» (И здесь обитатель Олимпа мысленно повторяет рассуждения Пифагора.) «А-а, я, кажется, понял, в чем дело».

Но если такие рассуждения могут привести четвертого философа к правильному выводу о том, что и его лоб не избежал общей участи, то можно легко объяснить, как пятый, шестой или даже сороковой философ придет к тому же выводу. В одной из своих статей в рубрике «Математические игры» Мартин Гарднер аналогичным образом обобщил задачу о трех визириях (см. журнал «Scientific American», май, 1977 г.). Однако, как он правильно заметил, возникают некоторые затруднения. «Обычно обобщения подобного рода наталкиваются на различные возражения. Решение задачи строится на таких расплывчатых предположениях относительно сообразительности персонажей и продолжительности их размышлений, что задача становится совершенно нереалистичной».

Разумеется, всем таким задачам свойственна некая нереалистичность. Ну в самом деле, насколько вероятно, что у троих людей, обледающих в ресторане, одновременно застрял в зубах кусочек шпината? Но даже если такое случится, то неужели каждый из них сразу не поймет по взгляду другого, что тот смеется именно над ним?

И все же для исследователей, пыта-

ющихся разрабатывать новые формы искусственного интеллекта, основанные на том, что называют логическим программированием, психологические задачи являются серьезным предметом. В частности, Дж. Маккарти из Калифорнийского университета в Беркли проверял дедуктивные способности логических систем, применяя их к задачам, подобным задаче о трех визириях. В системах логического программирования используется логический процесс, известный под названием исчисления предикатов, с помощью которого из определенных исходных предположений автоматически выводятся всевозможные заключения. Для того чтобы можно было в какой-то степени моделировать способность человека приходить к тем или иным логическим умозаключениям в общении друг с другом, системы логического программирования должны также уметь рассуждать о рассуждениях других.

Исследователям стоит, по-видимому, проанализировать более реалистические психологические задачи, часто возникающие в нашей повседневной жизни. Хотя они, как правило, не отличаются логической глубиной и требуют для своего решения многих предварительных предположений, такие задачи свидетельствуют, что значительная часть нашей умственной активности отводится на размышления о том, что думают другие люди относительно наших собственных мыслей.

Э. Гоффман из того же Калифорнийского университета одним из первых занялся исследованиями в новой области психологии, названной транзакциональным анализом. Транзакциональный анализ основан на предположении, что каждый человек постоянно пытается узнать, что думают о нем другие, и манипулировать их мнением, так, как это делают,



Закончится ли когда-нибудь обмен подтверждениями между генералами?

например, актеры на сцене. Гоффман подкрепляет свои предположения об этом аспекте нашей внутренней жизни многочисленными примерами поведения обычного человека в хорошо знакомых нам ситуациях, и доводы Гоффмана надо признать убедительными.

Вот два примера, подобных тем, которые были описаны Гоффманом. Это примеры моих собственных наблюдений; дело в том, что я годами коллекционировал аналогичные эпизоды. Все они, кажется, указывают на человеческую способность думать о том, что думают другие люди. По-видимому, эти процессы происходят в нас наполовину подсознательно.

Однажды я увидел полицейского, спускающегося со второго этажа здания, где располагалось сомнительное заведение. Возможно, это был салон массажа. (В этой части города было много заведений такого рода.) Выйдя на улицу, полицейский неожиданно столкнулся с другим полицейским. Моментаً преобразившись, он принял очень странный вид. Он выглядел не смущенным, а так, как будто лишь притворялся смущенным. Сначала это меня озадачило, но, подумав немного, я понял, в чем дело. Первой реакцией полицейского, вышедшего из заведения, было, конечно, неподдельное смущение. Ведь коллега мог не без оснований заподозрить, что его визит на второй этаж был, так сказать, неофициальным. Однако смущение первого полицейского могло бы лишь подкрепить это подозрение. С другой стороны, если бы второй полицейский подумал, что первый лишь притворяется смущенным, весь эпизод мог бы сойти за шутку.

Иногда в играх проявляются худшие стороны человеческого характера. Двое довольно азартных картежников только что закончили игру в покер. Проигравший был заметно не в себе, безуспешно пытаясь совладать со своими эмоциями. Наконец, он выпалил: «Ты хотел меня _____, а я хотел тебя _____». Ты просто вынудил меня к этому». (Пробелы здесь можно заполнить каким-нибудь грубым словом, в данном контексте означаящим «обмануть».)

Ключевое слово в этой фразе — «просто». На первый взгляд может показаться, что фраза означает, что в победе партнера решающим фактором оказалось не что иное, как везение. Однако, как показывает более внимательный анализ, проигравший хочет, чтобы выигравший считал самым существенным аспектом игры равенство их замыслов, а не то нера-

венство, которое вытекало из факта проигрыша.

Интересно, могут ли читатели привести аналогичные примеры из своего собственного опыта? Особенно интересными были бы письма с описанием ситуаций более близких к традиционным «психологическим» головоломкам.

Говоря о головоломках, уместно сказать несколько слов о недавно вышедшей прекрасной книге головоломок Д. Шаши под названием «Странные приключения д-ра Экко» (The Puzzling Adventures of Dr. Ecco, by Dennis Shasha). Автор этой книги — специалист по информатике из Математического института им. Куранта при Нью-Йорском университете. В ней описаны приключения таинственного доктора Экко, удивительно проницательного эксцентрика, сделавшего решение головоломок своей профессией. Кроме двух психологических задач книга содержит также всевозможные головоломки о выборах, поиске маршрутов, шпионах, электронных схемах, проверяющих другие электронные схемы, и многое другое. Здесь даже объявлен конкурс, участники которого должны решить 10 головоломок с шифрами. Справившиеся с этими задачами не только получают футболку, рисунок и надпись на которой символизируют высшую степень умственных способностей ее обладателя, но и его имя будет выгравировано на наборе шахматных фигур ручной работы из оникса. Обладатель главного приза будет объявлен в нашей статье в сентябрьском номере журнала.

Обсуждение психологических задач я хотел бы завершить головоломкой из книжки Шаши. Два генерала, соединения которых дислоцированы по разные стороны высокого горного хребта, хотят скоординировать атаку на общего противника, поскольку атака в одиночку может обернуться поражением. К сожалению, генералы не располагают никакими средствами коммуникации между собой, кроме почтовых голубей, перелетающих над хребтом из одного лагеря в другой (см. рисунок на с. 86).

Первый генерал посылает второму следующее сообщение: «Атакуем в 0800. Подтвердите, что получили сообщение, иначе я не атакую». Второй генерал не имеет ничего против этого плана и собирается послать голубя с подтверждением. Однако внезапно этот генерал соображает, что первый не будет атаковать, если не получит подтверждения. Поскольку у второго генерала нет никаких гарантий, что почтовый голубь долетит и доставит подтверждение первому генералу, он

решает, что и сам не будет атаковать, если не узнает, что первый генерал действительно получил подтверждение. После этого второй генерал посылает голубя с сообщением первому генералу с просьбой подтвердить получение его подтверждения. Прекратится ли кажущийся бесконечным ряд подтверждений? Возможно, ответ зависит от содержания одного из сообщений, которыми обмениваются генералы?

В заключение я выражаю благодарность двум моим коллегам из Университета Зап. Онтарио, Энди Л. Сциларду и Арески Н. Абдаллу, которые помогли мне подготовить настоящую статью.

ТЕПЕРЬ я объявляю победителей конкурса, объявленного Гордоном Ли в нашей сентябрьской статье и касавшегося решетки простых чисел. Решетка представляет собой матрицу квадратных ячеек размером 6×6 , в которой каждая ячейка содержит одну цифру. Задача заключается в том, чтобы выбрать цифры и их расположение в решетке таким образом, чтобы получить как можно больше простых чисел, читая последовательные цифры вдоль любой прямой линии — горизонтальной, вертикальной или по диагонали. Ли, организовавший аналогичный конкурс в Англии в прошлом году, сообщил, что лучший результат был равен 170 простым числам. Могут ли читатели нашей рубрики превзойти этот результат? Лично я никогда в этом не сомневался!

Отклик поступил значительно больше, чем я ожидал. Их присылали и профессиональные программисты, пользовавшиеся суперкомпьютерами, и люди, располагавшие более скромными техническими средствами, иногда лишь карандашом и бумагой. Я отправил все полученные письма Ли, с тем чтобы он вынес свое суждение. Вот результаты, представленные здесь в обратном порядке:

Самый плодовитый «решетчик» Л. Пэдден из Оклахома-Сити (шт. Оклахома), построивший 147 различных решеток, каждая из которых содержит от 170 до 173 простых чисел.

Самые шестереночные решетки: Д. Маккензи и Ф. Эндрес из Остина (шт. Техас), открывшие решетку, которая содержит всего 106 простых чисел, но зато все возможные шестизначные 28 чисел оказались в ней простыми.

Третье место: Дж. Уолдби из Робинсона (шт. Иллинойс); его результат — 185.

Второе место поделили уже упомянутые Маккензи и Эндрес, а также С. Рут из Вестборо (шт. Массачус-

сетс). Все они построили решетки, содержащие по 186 простых чисел.

На первом месте — тот же Рут. Его рекордная решетка содержит 188 простых чисел. Вот она:

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

Кратчайший путь в зловещем трехмерном лабиринте, речь о котором шла в ноябрьском номере журнала, удалось найти многим читателям. Он оказался равным 39 ячейкам в длину (включая ячейки входа и выхода). Существует и много других, более длинных маршрутов, ведущих от входа к выходу, но все они проходят через одну определенную точку во внутренней части лабиринта. Именно в этой точке свирепый Минотавр подкарауливает беззащитных юношей и девушек из Афин, которых бросают в лабиринт. Некоторые читатели отыскивали место, где притаился Минотавр, старательно нарисовав карту и заметив в системе ходов «узкое место», другие же исходили из симметричности лабиринта, заподозрив, что именно симметрия является ключом при поиске места Минотавра, и они были правы.

В этом трехмерном лабиринте лишь одна ячейка выпадает из общей симметрии. Возможно, читателям будет интересно вернуться к схеме лабиринта. Они обнаружат, что на втором уровне между ячейками (5,3) и (5,4) отсутствует стенка. (Координаты в скобках соответственно обозначают числа ячеек вниз от верхнего края.) Почему «узкое место» должно находиться в точке, где нарушена симметрия?

В заключение я назову шестерых читателей, которые первыми прислали свое решение задачи о Минотавре: М. Эмлинг (Глен-Эллин, шт. Иллинойс), Л. Лейнвебер (Кливленд-Хайтс, шт. Огайо), Т. Лундсфорд-мл. (Хайнсвилл, шт. Джорджия), Д. Мэйн (Рочестер, шт. Мичиган), Дж. Ньютон (Мидлтон, шт. Висконсин), К. Силбер (Нью-Йорк, шт. Нью-Йорк).

Новый подход

РЕКОМЕНДАЦИИ экспертов по вопросам науки и промышленности, видимо, убедили президента Джорджа Буша реорганизовать научно-технический консультативный аппарат при Белом доме, с тем чтобы повысить эффективность деятельности правительства в решении вопросов, связанных с наукой и техникой.

Многие известные представители науки и промышленности выражают недовольство деятельностью управления научно-технической политики (УНТП) в последние годы. Например, они считают, что если бы в Белом доме существовала научно-техническая консультативная служба более высокого уровня, то были бы поставлены под сомнение некоторые притязания сторонников «звездных войн». Они также выражают обеспокоенность по поводу управления техническими программами в гражданском секторе экономики. Так, Роберт М. Уайт, президент Национальной технической академии, в своей недавней речи заявил, что «у нас есть научная политика, но нет технической политики». По его словам, «министерство обороны фактически превратилось в некое министерство технологии и промышленности и занимается не тем, чем следует». Уайт считает, что необходимо усилить координирующую функцию УНТП, а также предоставить агентствам и управлениям самостоятельность в решении финансовых вопросов при осуществлении ими технических программ.

Хотя вопросы научно-технической политики не были в центре внимания во время последней предвыборной кампании, в августе прошлого года коалиция научных и профессиональных обществ призвала обоих кандидатов в президенты создать при Белом доме эффективный научно-технический консультативный аппарат. Это нашло отражение в предвыборной платформе республиканцев, где на двух страницах содержится обязательство увеличить поддержку программам научно-технических исследований, включая космическую программу. Большую роль в принятии этих обязательств сыграл Эдвард О. Веттер, консультант по вопросам управления и политики из шт. Техас, который начал сотрудничать с Бушем еще при президенте Форде. Джон Сунуну — нынешний глава канцелярии Белого дома, инженер по образованию, и Эдвард Е. Дэвид-младший, который был смещен с поста советни-

ка по науке при президенте Никсоне, также содействовали тому, чтобы вопросы технического развития были включены в повестку дня республиканцев. Джеймс Е. Капентер, бывший старший эксперт УНТП, а ныне — консультант при правительстве, был председателем «групп по решению актуальных вопросов» в области науки, рационализации и изобретательства. Эти группы рекомендовали Бушу создать эффективный научно-технический консультативный совет и не откладывать назначение советника по науке при Белом доме.

В своей речи, произнесенной в шт. Огайо в октябре прошлого года, Буш приветствовал эти идеи и заявил, что в случае избрания его президентом он увеличит затраты на фундаментальные исследования и назначит Уильяма Грэхема, главу научно-консультативного отдела (занимавшего этот пост в течение двух последних лет), своим советником по науке. Такая мера, которая предлагалась уже не раз, обеспечит советнику прямой доступ к президенту и позволит ему принимать участие в деятельности совета экономической политики и в обсуждении вопросов национальной безопасности. (Грэхем и его предшественники представляли президенту материал на рассмотрение через канцелярию Белого дома.)

Буш обещал также создать президентский совет консультантов по вопросам науки и техники, «состоящий из ведущих ученых, инженеров и известных бизнесменов». Предполагается, что этот совет будет играть более активную роль, чем совет по науке при Белом доме в последние годы. Республиканцы опубликовали документ с речью Буша в шт. Огайо в котором содержатся также обещания добиться постоянной налоговой скидки для программ научных исследований и разработок. Это намерение встретило горячую поддержку со стороны находящегося в Вашингтоне совета по исследованиям и технологии, поддерживаемого промышленными и научными кругами.

Уильям О. Бейкер, бывший президент компании AT & T Bell Laboratories и специалист по разведывательным системам, который был членом многих федеральных консультативных комитетов, считается одним из самых влиятельных консультантов Буша по вопросам науки. По его мнению, планирование в области науки и техники «должно затрагивать каж-

дый рабочий орган исполнительного звена власти». Предвыборная кампания 1988 г. была отмечена лишь незначительными усилиями на высшем уровне, которые могли бы способствовать решению этих вопросов, включенных в повестку дня республиканцев, отмечает Бейкер. В октябре прошлого года Грэхем предпринял попытку создать национальный исполнительный совет ведущих представителей в области науки и техники для будущей администрации Буша. В совет вошли несколько известных экспертов в области научно-технической политики, включая Бейкера и Джорджа А. Киурта, предшественника Грэхема в администрации Рейгана. Хотя этот совет так никогда и не собрался, его члены, возможно, повлияли на новую администрацию. Они неофициально предложили Бушу кандидатуры на пост советника президента по науке.

Дальнейшие рекомендации последовали от комиссии по вопросам науки, техники и деятельности правительства, основанной компанией Cargenie Corporation в Нью-Йорке в апреле прошлого года. Комиссия, председателями которой являются Джошуа Ледерберг, ректор Рокфеллеровского университета, и Уильям Т. Голден, президент Нью-Йоркской академии наук, в конце прошлого года направила Бушу проект своего первого отчета. Голден отмечает, что одна из главных рекомендаций комиссии — это укрепить УНТП, кроме того, предлагается в УНТП назначить четырех директоров (эти должности оставались вакантными в последние несколько лет).

Чтобы не остаться в стороне, Национальная академия наук США и Институт медицины впервые подготовили ряд «рекомендательных бумаг» для будущей администрации. Президенты двух советов и старшие сотрудники Академии наук написали доклады, которые не подверглись придирчивому анализу, как это обычно бывает с докладами Академии, и которые переданы на рассмотрение как «материалы для отзыва». В докладах говорится о таких проблемах, как СПИД, глобальное изменение климата, создание эффективного научно-технического консультативного аппарата при президенте, политика в области космических исследований. Национальная техническая академия также представила доклад по проблемам развития технологии и обеспечения конкурентоспособности. Недавно конгресс утвердил новую должность помощника министра по вопросам технологии при министерстве торговли. Предполагается, что лицо, назна-

ченное на этот пост, будет содействовать осуществлению технических программ под эгидой министерства.

Вряд ли вопросам научно-технической политики будет уделяться главное внимание в новой администрации. Однако есть надежда, что «хор

голосов», предлагающих пути решения названных проблем, будет услышан: по словам Веттера, который длительное время был помощником Буша, нового президента не нужно убеждать, насколько важным для экономики является развитие технологии.

Вниманию читателей!

журнал ТИИЭР

(Труды Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике —
ежемесячный перевод журнала Proceedings of the IEEE)
ИМЕЕТСЯ В ПРОДАЖЕ
И ВЫСЫЛАЕТСЯ НАЛОЖЕННЫМ ПЛАТЕЖОМ
тематический выпуск

АППАРАТНЫЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

(ТИИЭР, 1987, т. 75, № 9)

Содержание

СБИС

Цифровые процессоры обработки сигналов серии TMS320

СБИС-процессор для обработки изображений

Процессор цифровой обработки сигналов для контрольно-измерительной аппаратуры

Машина поиска на графах: Архитектура СБИС для распознавания слитной речи и других приложений

Специализированный процессорный элемент цифровой обработки сигналов DSP56200

Параллельные СБИС для цифровой обработки сигналов с конвейерным выполнением операций над разрядами операндов

Системы

Спектроанализатор с БПФ для радиоастрономии

MUPSI: Мультипроцессорная система для обработки сигналов

Применение мультипроцессорных ЭВМ, управляемых данными, в цифровой обработке сигналов

Синхронные потоки данных в задачах ЦОС

Многопроцессорная система для интеллектуальной цифровой обработки сигналов

Автоматизированное проектирование

Автоматизированное проектирование интегральных КИХ-фильтров

Кремниевый компилятор схем цифровой обработки сигналов: Методология, реализация, применения

Алгоритмы

Алгоритмы дискретного преобразования Фурье по смешанным основаниям для векторных ЭВМ

Реализация алгоритмов цифровой фильтрации на основе конвейерных векторных процессоров

Матричные структуры для реализации итерационных алгоритмов

Программное обеспечение

Универсальная программа для обработки сигналов SIG

Приложение

Краткий англо-русский словарь встречающихся в выпуске терминов по цифровой обработке сигналов

Цена номера 3 р. 30 к.

Выпуск можно приобрести в следующих магазинах Москвы:

Московский дом книги (пр. Калинина, 26, секция издательства «Мир»), магазин № 19 «Мир» (Ленинградский пр., 78).

У иногородних читателей заказы на отправку выпуска наложенным платежом принимает редакция журнала по адресу:

129820, ГСП, Москва, И-110, 1-й Рижский пер., 2, издательство «Мир», редакция ТИИЭР.



Хладнокровный взгляд на трактат о теплокровных динозаврах



А.У. КРОМПТОН, СТИВЕН М. ГЕЙТСИ

Грегори Пол. Хищные динозавры мира

PREDATORY DINOSAURS OF THE WORLD, by Gregory Paul. Simon and Schuster (\$ 19.95)

ЗА ПРОШЕДШИЕ два десятилетия появилось множество книг, посвященных биологии динозавров, их расцвету и вымиранию. Среди них выделяются труды, проповедующие новый взгляд на динозавров: вместо неуклюжих, хладнокровных и, в сущности, безмозглых гигантских ящеров перед нами предстали быстрые теплокровные существа наподобие знакомых всем птиц.

Новая концепция — и в значительной степени общее возрождение интереса к динозаврам — восходит к коротенькой статье, опубликованной в 1968 г. под названием «Совершенство динозавров» (Robert T. Bakker. The Superiority of Dinosaurs). Ее автор, Роберт Бэккер, в ту пору делавший дипломную работу в Йельском университете, пришел к выводу: динозавры были «подвижными, энергичными созданиями, жизнь которых протекала на высоком физиологическом уровне; среди наземных позвоночных помимо них на такой уровень вышли только появившиеся позднее эволюционно продвинутые млекопитающие». Бэккер полагал, что 10-тонные рогатые динозавры должны были скакать со скоростью 50 км/ч с лишним и что гигантские травоядные ящеры, такие как бронтозавр, могли держать свой 10-метровый хвост, не касаясь им грунта, и передвигаться по суше столь же проворно, как это делают нынешние слоны, и, кроме того, что некоторые динозавры были общественными животными и перемещались организованными стадами.

В большинстве своих последующих

А. КРОМПТОН (A.W. Crompton) — профессор естествознания в Музее сравнительной зоологии Гарвардского университета.

С. ГЕЙТСИ (Stephen M. Gatesy) — его дипломник.

работ Бэккер старался убедить специалистов в том, что динозавры, как птицы и млекопитающие, были теплокровными (см. Robert T. Bakker. Dinosaur Renaissance, "Scientific American", April 1975). Так называемые теплокровные животные в состоянии покоя потребляют в 5—10 раз больше энергии, чем хладнокровные (пресмыкающиеся, земноводные или рыбы) сравнимых размеров. Птицы и млекопитающие способны регулировать расход и сохранение тепловой энергии и поддерживать постоянную температуру тела, в чем коренным образом отличаются от современных рептилий, для которых возможность поднять температуру тела зависит от внешних источников тепла. Гипотеза о том, что динозавры были теплокровными, не нова, однако работы Бэккера оказались важны в том отношении, что он обосновывал свои взгляды на энергетику динозавров некоторыми данными новейших исследований в различных областях — от анализа количественного соотношения костей плотоядных и растительноядных форм в музейных коллекциях до мудреных измерений ряда физиологических параметров млекопитающих, птиц и пресмыкающихся. В отличие от Бэккера Пол в своих рассуждениях базируется не на столь солидном фундаменте. Он принимает теплокровность динозавров как нечто само собой разумеющееся и не взвешивает аргументов за и против этой точки зрения, а также доводов, касающихся его собственных — весьма спорных — теорий.

По-видимому, самый убедительный аргумент в пользу высокого уровня обмена веществ у динозавров вытекает из эмпирически установленных зависимостей между размерами тела, интенсивностью метаболизма в покое и максимальной скоростью передвижения, которую животное может поддерживать в течение достаточно длительного времени; эти зависимости были выведены в лабораториях Кнута Шмидта-Нильсена в Университете Дьюка и С. Ричарда Тейло-

ра в Гарвардском университете, а также позже Альбертом Ф. Беннеттом в Калифорнийском университете в Ирвине. Эти исследователи (в том числе Бэккер, когда он работал в лаборатории Тейлора) показали, что, если для какого-либо животного известны размеры тела и интенсивность метаболизма в состоянии покоя, можно приблизительно вычислить предельную скорость его бега с использованием коэффициента в формуле основного обмена от 2 до 3.

Бэккер применил эти эмпирические формулы к динозаврам. Если уровень основного обмена считался таким, как у рептилий, то получалось, что максимальная скорость передвижения 10-тонного *Tyrannosaurus rex* составляла примерно 6 км/ч, а 100-килограммового страусообразного динозавра — около 3 км/ч. Зато если принять, что уровень основного обмена у динозавров был, как у млекопитающих, то в таком случае они должны были бегать со скоростью около 50 км/ч. Такая высокая скорость передвижения согласуется со строением и пропорциями конечностей динозавров, которые ближе к таковым птиц и млекопитающих, чем нынеживущих рептилий. Другие доказательства теплокровности (в частности, гистология костей, соотношение хищник — жертва, положение тела) до сих пор являются предметом споров.

Не все исследователи поддерживают широкие взгляды Бэккера на биологию динозавров и его упорное стремление описывать этих животных в терминах, принятых в физиологии млекопитающих или птиц. Отдельные его идеи были встречены весьма скептически. Бэккер, например, считает, что крупные длинношеие растительноядные завроподы могли быть живородящими и что тирраннозавры (такие, как описанный им *Nanotyrannus*) ближе к птицам, чем *Archaeopteryx*, считающийся обычно наиболее древней из известных птиц.

Все же основная часть специалистов, работающих в данной области, сходится на том, что идеи Бэккера породили полезную дискуссию и вызвали к жизни новаторские и весьма остроумные исследования динозавров — группы организмов, игравшей ведущую роль на Земле в течение добрых 130 млн. лет. Что еще более существенно, работы Бэккера ярко продемонстрировали: в биологии вымерших организмов многое можно понять путем подхода с позиций разных наук. К сожалению, когда знания по биологии современных животных без поправок распространяются на вымерших позвоночных, то создается простор для безосновательных спеку-

лящий и фантастических домыслов на подобие сказок Кипплинга.

«Хищные динозавры мира» Пола — монография о двуногих плотоядных динозаврах, называемых тероподами, и о близких к ним группах. Основная слабость этой книги заключается в том, что Пол не только некритически принимает взгляды Бэккера на биологию динозавров, но и прибавляет к ним множество собственных идей, не имеющих никакого серьезного научного обоснования. К вышедшим ранее книгам о динозаврах Пол весьма строг; объявив себя «передовым динозавроведом», он утверждает, что многие из этих трудов «испорчены неряшливым мышлением» и демонстрируют «ложное применение или ошибочное понимание достижений современной биологии». Как ни досадно признаваться в этом, но приведенные высказывания особенно верны в отношении его собственной книги.

Желая внушить, что в представлениях о биологии динозавров недавно произошел грандиозный переворот, Пол на ходу выдумывает и тут же разбивает в пух и прах ряд «концептуальных фантомов». Так, он все время подчеркивает, что вплоть до бэккеровых открытий двадцатилетней давности на динозавров все смотрели как на «медлительных, вялых, инертных и тупоголовых созданий». Некоторые ученые и впрямь могли придерживаться таких воззрений на крупных растительноядных динозавров, однако как раз в отношении той группы, которой посвящена рецензируемая книга Пола, т. е. хищных динозавров, подобное мнение высказывалось разве что в редких случаях. Достаточно взглянуть на превосходные реконструкции, сделанные в конце прошлого столетия Чарлзом Р. Найтом для Американского музея естественной истории: на мелкого представителя теропод *Ornitholestes*, прыгающего, чтобы схватить добычу, или на поединок двух *Dryptosaurus* — чтобы опровергнуть утверждение Пола. Точно так же выполненные Герхардом Хейльманном в 1927 г. изображения двуногих динозавров — мчащегося сломя голову *Compsognathus* и проворного, похожего на страуса *Struthiomimus* — противоречат якобы «ортодоксальному» образу апатичных хищных динозавров, голословно навязываемому нам Полом.

Идя по следам Бэккера, Пол утверждает, что физиологически динозавры сходны с птицами и млекопитающими. Это вовсе не так. В действительности здесь имеется в виду лишь один аспект физиологии: то обстоя-

тельство, что и млекопитающие, и птицы способны поддерживать постоянную температуру тела и имеют высокую интенсивность метаболизма. Пол настойчиво и бездумно пытается подогнать динозавров под шаблон либо млекопитающих, либо птиц — в зависимости от схемы, которую он собирается построить. Млекопитающие широко используются в качестве аналогов для поведения динозавров, а практически все остальные характеристики берутся при этом птицы.

Заявляя, что у всех динозавров была такая же физиология, как у птиц, Пол тем самым смазывает переход между ранними динозаврами и их предками, с одной стороны, и динозаврами и настоящими птицами — с другой. Из-за этого у читателя складывается впечатление, что большинство хищных динозавров и их предков имели перья, уровень обмена в покое был у них примерно, как у современных птиц, и что анатомически и физиологически та группа динозавров, от которой произошли птицы, мало отличалась от настоящих птиц.

В перерывах между огульными обобщениями Пол выдвигает ряд новаторских гипотез. Среди динозавров, уверяет он, способность летать возникла и утрачивалась неоднократно. Это противоречит устоявшемуся представлению о том, что полет при помощи машущих конечностей появлялся в ходе эволюции позвоночных только трижды: у птиц, летучих мышей и птерозавров. Пол же настаивает: впервые могли летать динозавры из самых древних групп. В этом он основывается на ископаемой форме, недавно обнаруженной в поздне триасовых отложениях Техаса и получившей название *Protoavis*. Пока находка не будет полностью описана, трудно судить, насколько Пол прав, однако признаки, используемые им для установления родства этой формы с современными ей тяжелыми двуногими динозаврами, неубедительны.

Знаменитый археоптерикс из «литографских» сланцев Германии рассматривается лишь как вторая попытка полететь. Чаше всего археоптерикса считают самой первой птицей, и Пол соглашается с давно признанной всеми концепцией Джона Острома, что археоптерикс был очень похож также и на теропод. По мнению Пола, археоптерикс близок родствен мелким динозаврам с серповидными когтями типа *Deinonychus*. Если верить Полу, то по некоторым признакам эти динозавры (и некоторые другие, именуемые праптицами) более птицы, чем сам археоптерикс. Это заставляет автора сделать вы-

вод: данные формы утратили полет вторично.

Он и в самом деле думает, что летающие праптицы могли породить ряд даже более эволюционно продвинутых «праптичьих теропод», которые независимо утратили способность к полету. Следуя той же логике, Пол рассматривает так называемых страусообразных и некоторых других теропод как потомков летавших предков. Здесь он попадает в затруднительное положение, поскольку комплекс признаков у этих форм менее «птичий», чем у их предполагаемых предков. Для объяснения создавшейся неувязки Полу приходится постулировать ряд эпизодов обратной эволюции: хвост-де снова увеличился, зубы опять приобрели пильчатость, элементы таза вернулись в первоначальное примитивное положение. Для современного эволюционного мышления подобная схема неприемлема; оно будет на стороне более простого толкования: указанные признаки просто-напросто унаследованы от нелетавших предков.

Непонятно, какого все же мнения придерживается Пол о происхождении настоящих птиц — пошли ли они от форм, подобных археоптериксу, или же от «вторично нелетающих» дромеозавров (группы подвижных динозавров, к которым принадлежат тероподы с серповидными когтями), или от какой-то неизвестной пока ветви, где способность к полету была приобретена независимо. Как бы там ни было, ясно одно: автор не считает полет важным достижением. Он заявляет, что многие юрские тероподы были «уже подготовлены для птичьего полета», и «единственное, что оставалось, — это удлинить передние конечности, слегка видоизменить их, немного прибавить мощности — и можно лететь». Большинство палеонтологов и эволюционных биологов сочли бы это в лучшем случае безрассудным преувеличением. Приспособления, необходимые для развития полета, считаются одной из наиболее сложных локомоторных адаптаций, и то, как Пол упрощает процесс выработки механизмов для полета, просто шокирует.

Когда что-то не вписывается в его систему взглядов, Пол заявляет, что факты, свидетельствующие против данной концепции, не существенны, но если те же самые факты согласуются с его мнением, Пол непременно придает им большее значение для подкрепления своих рискованных рассуждений. Например, когда ему требуется обосновать утверждение, что поздне триасовая *Protoavis* не была предком настоящих птиц, он подчер-

кивает отсутствие перьев в отложениях, сформировавшихся после *Protovavis*, где перья должны были бы попадаться в изобилии, если имела место адаптивная радиация птиц. Зато он уверяет, что отсутствие остатков перьев в находках хищных динозавров (перья известны лишь у археоптерикса и настоящих птиц) или в предмеловых слоях отнюдь не означает, будто мелкие и средних размеров динозавры не имели оперения: перья попросту не сохранились! Как видно, одно и то же отсутствие ископаемых доказательств может толковаться взаимноисключающими способами, дабы оправдать заранее избранный тезис.

ЧИТАТЕЛЮ вскоре становится ясно, что работа Пола страдает от отсутствия филогенетического каркаса. Делая обзор методов систематики, он упоминает кладистический подход, который, как принято считать, является наилучшим из доступных способов оценки степени родства. Кладистический подход к классификации опирается на выявление уникальных признаков с целью выделения монофилетических групп (групп форм, имеющих общего предка) и реконструкции генеалогических связей. В дальнейшем автор пренебрегает монофилией — центральным принципом кладизма — и склоняется к подходу, опирающемуся на «здоровый смысл».

Пол считает, что система живых организмов должна нести максимум информации и при этом «быть настолько простой, чтобы ее можно было охватить одним взором». Он отвергает кладистический подход Жака Готье, находя его «на деле столь же произвольным, как и всякий другой», по той причине, что указываются только главные точки ветвления линий эволюционного развития и предпочитает строить таксономию, основанную на «градях» (стадиях). При таком подходе классификация отражает не генеалогию, а общий уровень организации. Например, класс *Reptilia* (пресмыкающиеся), как его принято определять сейчас, представляет собой град, поскольку он объединяет всех позвоночных, обладающих чешуйчатым кожным покровом и откладывающих яйца в жесткой оболочке. Однако в кладистической классификации класса *Reptilia* (куда не входят птицы) не существует, так как общий предок птиц с крокодилами более молодой, нежели крокодилы с ящерицами, черепахами или любыми другими «пресмыкающимися»; из-за этого в рамках кладистического подхода птиц и крокодилов помещают в одну монофилетическую группу *Archosauria*.

Будучи далеко не простой, предложенная Полом система, которую он называет современной схемой, практически не поддается интерпретации, поскольку совершенно не отражает филогении. Согласно ей, хищные динозавры — это «те, у которых отсутствуют зубы растительноядного типа или нет предков, имевших такие зубы». Подобный монстр систематики составляется из всех динозавров, исключая прозавропод, бронтозавров и орнитиский. Архозавры (динозавры, птицы, крокодилы, птерозавры и некоторые другие формы) группируются в крупную систематическую единицу — класс (другими примерами классов могут служить земноводные, рептилии и млекопитающие). Класс архозавров определяется наличием у всех его представителей большого «предглазничного отверстия» по обеим сторонам черепа между глазами и ртом, а также «птичьим типом гистологии костей» (что это значит, не расшифровывается) и «более выпрямленной походкой» у большинства отнесенных сюда форм. Последние два признака подразумевают наличие высокой скорости роста и высокого уровня метаболизма. По всей видимости, ранг класса вполне устраивает Пола, ибо «динозавры и родственные формы не являются теперь ни низшими позвоночными, ни рептилиями: они — архозавры, по статусу равные млекопитающим».

Классу *Dinosauria* автор дает новое определение и включает в него такие формы, как *Lagosuchus* (который вместе с орнитозухиями образует загадочную группу, именуемую протодинозаврами). Этот класс разбивается на четыре новых надотряда, взаимоотношения которых остаются непонятными. Вдобавок Пол выделяет четыре новых отряда, пять подотрядов, три семейства, четыре подсемейства и два новых вида.

Не имея четкой гипотезы о взаимоотношениях многих групп, автор с завидной легкостью рассуждает о направлениях эволюции форм, которые так и не сгруппированы им по иерархически взвешенным признакам; по сути дела, все выводы и проблема создания филогенетических схем остаются открытыми вопросами. Это самый верный способ вызвать у читателя разочарование, если принять во внимание, что систематика с недавних пор переживает новый подъем и значение ее в эволюционных исследованиях получило признание. Мы встречаем у Пола группы, характеризующиеся всевозможными эпитетами типа «птицеподобные», «птицеобразные», «более птицеобразные», «все более птицеобразные» и даже

«еще более птицеобразные», но нигде не находим указаний на конкретные признаки, расставленные в таком порядке, который позволял бы критически их оценить.

Беспреданно напоминая нам о птичьих атрибутах у динозавров, Пол преследует цель утвердить тезис о происхождении птиц от теропод, а также способствовать созданию у читателя зрительного образа вымерших животных. Автор прав в том, что многие признаки, свойственные птицам, впервые возникли у теропод, но если это так, то истинно птичьими признаками будут те, которые отличали птиц от теропод. Ничего не говорится относительно эволюционных новаций, выделивших первых млекопитающих — были ли они «человекоподобны», или «мышеподобны», или же «китоподобны»: они фигурируют просто как «млекопитающие». Из-за отсутствия в системе Пола иерархичности у него теряется представление об уровнях, на которых появились какой-либо уникальный или производный признак: он использует высший таксон (птиц), чтобы на его примере показать, какие признаки являются производными, даже если у птиц они не сохранились. Так, бессмысленно утверждение, что весьма примитивный динозавр *Herrerasaurus* имел «птицеобразный низкий таз».

Приятно выделяется глава об ископаемых следах (ископаемых отпечатках); в ней кратко и интересно охарактеризовано значение отпечатков ног для изучения динозавров. Цепочки следов служат надежным свидетельством реального поведения динозавров, и Пол дает обзор тех полезных сведений, которые можно почерпнуть при их изучении, не забыв то, чего по следам узнать нельзя. Хотя следы с трудом поддаются систематизации и сравнению из-за различий в субстрате, сохранности и движениях конечностей, они являются подчас самым верным показателем пребывания динозавров в тех местностях, где ископаемые кости представлены слабо. Повторное исследование так называемых «человеческих следов» рядом со следами динозавров в Техасе привело к тому, что эти отпечатки были признаны следами мелких теропод, ходивших не на пальцах, а на всей ступне. Цепочки следов подвергли анализу, чтобы определить скорость движения оставивших их существ. Известны скопления множества следов, они свидетельствуют о стадном поведении. Изучение ископаемых следов переживает период возрождения, и в этой области наверняка следует ожидать новых открытий.

ЛОКОМОТОРНАЯ система животных, оставивших свои следы, обсуждается в специальных главах: они озаглавлены «Секреты и сюрпризы анатомии и движений хищных динозавров» и «Скорость перемещения хищных динозавров». Проводимый автором анализ строения и функционирования локомоторной системы теропод страдает излишней упрощенностью и дает богатую пищу для возражений. Главная его посылка — то, что задние конечности теропод структурно и функционально подобны таковым крупных нелетающих птиц вроде страусов.

На многих ранних реконструкциях динозавры напоминают ползающих рептилий, у которых конечности расставлены в стороны. Однако теперь можно считать доказанным, что у динозавров, как и у птиц, тело находилось в четко выраженной выпрямленной позе, а кости задних конечностей располагались под туловищем и двигались главным образом взад и вперед в одной плоскости. Утверждение Пола, что многие из особенностей строения конечностей (особенно ног) современных птиц появились впервые у теропод и были унаследованы их потомками — птицами, вполне правомочно. Однако он идет дальше и настаивает на том, что у теропод всех размеров (даже у громадных тиранозавров) задние конечности располагались и использовались точно так же, как ноги птиц.

Путаница возникает тогда, когда автор пытается описать движение конечностей даже современных птиц, что, казалось бы, проще, чем говорить о вымерших тероподах. Когда птица стоит, бедренная кость располагается относительно горизонтально. Считается, что такая горизонтальная ориентация бедра обеспечивает сдвиг ног вперед под центр массы тела, который смещен вперед из-за редукции хвоста. Короткое бедро и коленный сустав часто бывают скрыты под крыльями и перьевым покровом туловища; в результате возникает впечатление, что «колени» (на самом деле это голеностопный сустав) сгибаются назад. По данным кино съемки в видимых и рентгеновских лучах, осуществленной в нашей лаборатории в Гарвардском университете, движения птицы при малых и средних скоростях бега лишь в незначительной степени зависят от работы тазобедренного сустава: нога перемещается в основном за счет сгибания в коленном суставе. При увеличении скорости бега нижний (дистальный) конец бедренной кости движется по все более и более длинной дуге, хотя в коленном суставе нога по-прежнему сги-

бается гораздо сильнее. Таким образом, для локомоции птиц характерно зависящее от скорости включение в работу тазобедренного сустава: чем быстрее бежит птица, тем интенсивнее движения тазобедренного сустава.

Пол резонно делает упор на то обстоятельство, что, в противоположность широко распространенному представлению, птицы все же двигают бедром, и приводит описание кинограммы бега страуса с большой скоростью, когда его бедро описывает довольно значительную дугу. К сожалению, стремясь уяснить особенности локомоции птиц, автор берет в качестве примера страуса, бегущего с максимальной скоростью, и пишет, что «у длиннохвостых теропод не было таких проблем с балансировкой тела [как у птиц], а длина бедра у них была столь велика, что оно должно было полностью использоваться при любых скоростях». Почему же после этого он пишет, что тероподы использовали свои конечности так же, как птицы? Признавая наличие существенной разницы между тероподами и птицами в строении хвоста, таза и конечностей, он несокрушим в своей убежденности относительно «птицеобразного» характера локомоции теропод.

С эволюцией птичьих легких Пол также разделяется до обидного упрощенным образом. У большинства пресмыкающихся легкие мешковидные, они наполняются и опустошаются путем расширения и сокращения грудной полости, так что при каждом дыхательном цикле поток воздуха направлен сперва в одну, затем в другую сторону. У птиц же по всему телу располагается обширная система связанных между собой воздушных мешков, не предназначенных для газообмена, а пара небольших по размеру легких помещается высоко, вблизи от позвоночного столба. Легкие относительно малорастяжимы; воздух не перекачивается то внутрь, то наружу за счет их поперечного расширения и сжатия, а циркулирует через легкие в одном направлении при участии воздушных мешков. Легкие у птиц устроены таким образом, чтобы обеспечивать высокий уровень расхода кислорода при непрерывном полете. Если бы удалось убедительно показать, что эволюционно продвинутые тероподы (Пол называет их «аветероподами») обладали именно такими легкими, то, несомненно, уровень активности у этих форм пришлось бы признать очень высоким. Согласно мнению Пола, «общий облик грудной клетки аветеропод говорит о том, что их конструкция имеет тот же план, что и у птиц».

Какие же аргументы приводятся в поддержку? Автор утверждает, что в типичном случае позвоночные вентилируют свои легкие, двигая передними ребрами, но так как у птиц передние ребра короткие, они вместо этого используют брюшные ребра, чтобы проталкивать воздух по системе воздушных мешков и пропускать его через легкие. Затем он заявляет, что ему удалось проследить эволюцию этой характерной для птиц системы у теропод. Существует целая группа теропод, у которых, как пишет Пол, передние ребра были «слишком короткие, чтобы обеспечивать вентиляцию обычных больших легких», а брюшные ребра столь длинные, что это можно объяснить лишь тем, что они служили для вентиляции обширных воздушных мешков брюшной полости, которые в свою очередь обеспечивали однонаправленный поток воздуха через легкие». Ловкость, с какой Пол по строению ископаемых ребер воссоздает эволюцию системы, работа которой не вполне понятна пока даже у нынеживущих птиц, следует воспринимать не иначе как с большой долей скептицизма.

Пол без оговорок принимает посылку, согласно которой хищным динозаврам присуще все, что считается свойственным другим динозаврам и птицам. Джон Р. Хорнер, тщательно продокументировав все имеющиеся данные о местах вылупа динозавров мелового возраста, пришел к заключению, что растительноядные динозавры «гнездились» колониями и проявляли заботу о потомстве. Пол распространяет все эти выводы и на хищных динозавров, ничем того не подтверждаемая.

Если верить реконструкции Пола, образ жизни динозавров был совершенно такой же, как у стадных млекопитающих африканской саванны. Считая динозавров очень во многом похожими на млекопитающих, он приписывает им и наличие вторичного неба, так что они могли в одно и то же время и дышать, и жевать (а это верно лишь для некоторых млекопитающих), — несмотря на то, что у птиц этот уникальный признак отсутствует. Зачем динозаврам было нужно вторичное небо, остается непонятным, ибо «хищники глотают свою добычу», а тероподы имели язык, который был «жестким, как у ящериц» (в действительности язык у ящериц подвижный и мускулистый). Пол заявляет, что динозавры и млекопитающие возникли одновременно и с одинаковой быстротой выработали вертикальную «осанку», что «мускулы развивали мощность, аккумулировавшуюся и отдававшуюся эластичными

костями...». Мало сказать, что утверждения, подобные этим, вызывают недоумение — они просто-напросто глубоко неверны.

Исчезновение динозавров к концу мелового периода получает в книге слабую трактовку — случай уникальный на фоне лавины публикаций, посвященных вымиранию динозавров. Сосредоточив свое внимание на богатстве фауны и образе жизни хищных динозавров, Пол стремится подчеркнуть факт процветания этих животных, а не постигшую их в итоге гибель. Упорно принижая значение различий между динозаврами и птицами, Пол остается в конце концов перед естественным вопросом: почему же его истинно теплокровные тероподы в борьбе за существование потерпели поражение, в то время как с птицами этого не случилось? Избегая популярной сейчас манеры все объяснять катаклизмами внезапного происхождения, Пол следует более традиционным воззрениям Бэккера на вымирание динозавров. Он приписывает сокращение разнообразия динозавров задолго до катаклизма влиянию новых связей между частями суши, образовавшихся в результате понижения уровня океана; катаклизм же, вероятно, стал последней каплей для уже подорванной фауны динозавров. В конце концов Пол демонстрирует не свойственную ему прямоту, признавая, что у него нет хорошего объяснения вымиранию теропод и выживанию птиц.

НЕЯСНО, для кого все-таки предназначалась эта монография. Первые полкниги посвящены жизнедеятельности и эволюции хищных динозавров, вторая половина — описательный каталог всех известных форм. Уровень терминологии существенным образом колеблется, причем научность многих терминов «смягчена» («горловая трахея», «лобковая кость таза») в стремлении сделать их понятными широкому читателю. Прочие попытки изобретать описательные термины только вносят путаницу: так, конечности млекопитающих названы «гибкими», в то время как конечности птиц — «жесткими».

Вторая половина книги могла бы быть, с одной стороны, полезной для специалиста в качестве каталога, но увы — автор следует здесь своей неприемлемой классификации, и по этой причине профессиональным палеонтологам толку от нее будет немного. С другой стороны, здесь приводится масса подробностей об анатомии динозавров и геологических особенностях отложений, в которых были обнаружены их остатки, а все

это выходит далеко за рамки необходимого для широкого читателя. Там и сям попадаются чисто субъективные оценки, личные привязанности, вроде «то мой любимый *Velociraptor*, и этим многое сказано» (*Velociraptor* — мелкий хищный динозавр; название можно перевести как «быстроногий разбойник») или «этот динозавр — просто молодчина»; наряду с такими нежностями встречаются разделы, написанные в стиле остросюжетного приключенческого романа, где перед читателем разворачивается драматическое описание воображаемой смертельной битвы между стадами многотонных гигантов.

Пол — превосходный художник, и он проделал огромный труд, чтобы реконструировать с максимально возможной тщательностью скелеты всех известных хищных динозавров, их предков и некоторых потомков. Количество иллюстраций даже излишне велико, но именно они представляют собой самое ценное, что есть в этой книге, и непременно послужат хорошим подспорьем всякому художнику, который захочет реконструировать облик хищного динозавра. Рисунки Пола очень живые, и он опирается на них, когда проводит свои идеи, касающиеся биологии динозавров. Однако его реконструкции теропод не несут никаких указаний на то, что в изображениях — реально, а что — плод домысла: несомненно, они будут еще не раз воспроизводиться и окажут свое влияние на общее представление о динозаврах.

Монография «Хищные динозавры мира», как и книга Бэккера «Еретические взгляды на динозавров» (R. Bakker. *Dinosaur Heresies*), представляет собой изложение сугубо индивидуальных взглядов автора. Противоречия

вопиющи, сложностей автор избегает, изобилуют сверхобобщения. Пусть читатель не думает, что ему предлагают сводку о текущем состоянии знаний и изучения динозавров, где учтены все накопленные на сегодняшний день сведения: следует заранее предупредить, что среди идей Пола — немалая доля крайностей, а большинство из них и раньше оспаривалось и еще долго будут предметом дискуссий. Мы вовсе не хотим сказать, что подобным частным мнением не должно быть места; но их всегда следует как-то уравнивать, дабы читатель, не слишком искушенный в данной области, отдал себе отчет, что не все палеонтологи готовы под этим подписаться.

Пол совершенно правильно отмечает, что большинство книг о динозаврах, написанных неспециалистами, содержит переработанную информацию и иллюстрации, взятые из более ранних публикаций. Специалисты по динозаврам должны создать книги, которые были бы авторитетными и при этом не слишком односторонними, чтобы старые идеи не отвергались в них преждевременно как вышедшие из моды из-за искусственного противопоставления прогрессивного — традиционному. Как ни прискорбно, в своем труде «Хищные динозавры мира» Пол добавляет мало новой информации и по существу не углубляет ранее сложившихся представлений. Самое лучшее издание их всех, какие нам удалось разыскать, и притом вполне соответствующее перечисленным требованиям — «Иллюстрированная энциклопедия динозавров» палеонтолога Дэвида Нормана (David Norman. *The Illustrated Encyclopedia of Dinosaurs*).

Наука и общество

В рентгеновском диапазоне

ОСНОВНАЯ задача рентгеновской астрономии заключается в диагностике горячей космической плазмы. Такая плазма образуется почти во всех классах астрофизических объектов — от ближайших звезд типа Солнца до расположенных на огромных расстояниях квазаров и скопленных галактик. Исследования горячей космической плазмы в рентгеновском диапазоне позволяют изучать природу и динамику взрывных процессов в

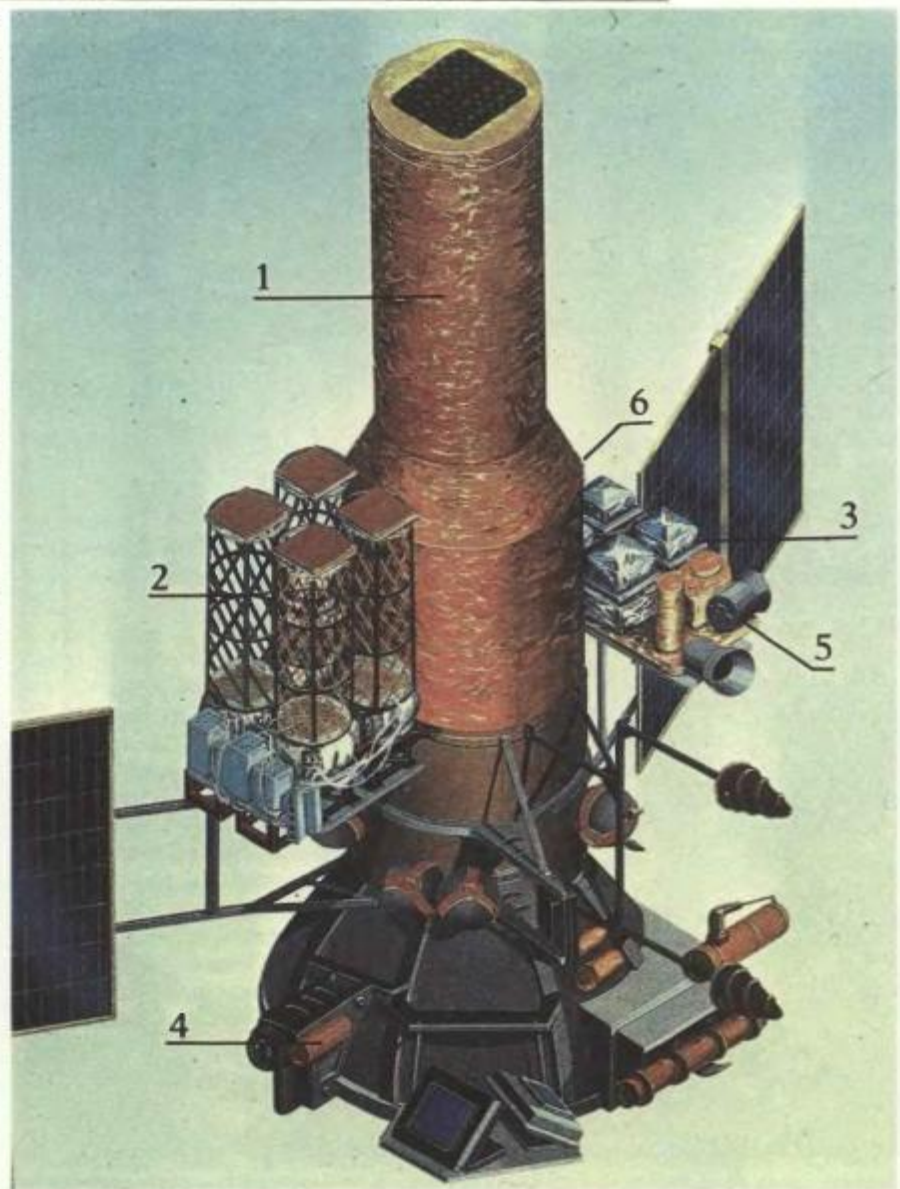
различных объектах и исследовать свойства вещества в экстремальных состояниях, недостижимых в земных лабораториях. Это обусловлено тем, что рентгеновское излучение возникает в «котле» атомных и ядерных превращений, протекающих при температурах по крайней мере полмиллиона градусов. Для сравнения напомним, что видимый солнечный свет излучается поверхностью, нагретой всего лишь до пяти с половиной тысяч градусов.

Современным рентгеновским телескопам, вынесенным в космос, доступны для наблюдений около миллиона источников. Вклад советской науки и техники в решение проблем

этой важнейшей области астрофизики весьма велик. Рентгеновские телескопы устанавливались на борту пилотируемых кораблей и орбитальных станций, спутниках серии «Космос», автоматических межпланетных станций. Уже почти два года в космосе работает специализированная обсерватория «Рентген», доставленная к орбитальной станции «Мир» модулем «Квант». Научным руководителем проекта является член-корреспондент АН СССР Р.А. Сюняев. В составе обсерватории четыре рентгеновских телескопа, предназначенные для решения принципиально новых задач астрофизики высоких энергий. Один из них — телескоп-спектрометр «Пульсар X-1» — крупнейший в мире прибор такого типа. С его помощью исследуют спектры излучения ядер активных галактик и квазаров, а также регистрируют жесткое рентгеновское излучение мощных галактических объектов. «Пульсар X-1» создан в Институте космических исследований АН СССР (ИКИ) совместно с учеными и специалистами ряда научных и производственных организаций страны.

Второй прибор — телескоп с так называемой теневой маской создан специалистами Утрехтской лаборатории космических исследований в Голландии и Бирмингемского университета в Великобритании. В его конструкции использован новый принцип получения изображения наблюдаемых объектов, позволяющий достичь разрешения в несколько угловых минут. На входном окне телескопа установлена «крышка» — теневая кодирующая маска с определенным образом расположенными отверстиями квадратного сечения. Общая площадь отверстий близка к 50% площади входного окна телескопа. При «освещении» телескопа параллельным пучком фотонов от удаленного источника в плоскости детектора рентгеновского излучения фокусируется теневой образ кодирующей маски. Дальнейшая математическая обработка позволяет восстановить распределение яркости рентгеновского излучения по небесной сфере. При этом местоположение рентгеновских источников определяется с точностью до угловых минут.

Третий телескоп-спектрометр — «Сирень-2» создан в отделе космической астрофизики Европейского космического агентства (ЕКА) и позволяет исследовать, например, химический состав горячего газа в скоплениях галактик. Этот газ чрезвычайно разрежен, а температура его составляет десятки миллионов градусов. Скорость звука в таком газе превышает 1000 км/с. В нем с дозвуковыми и

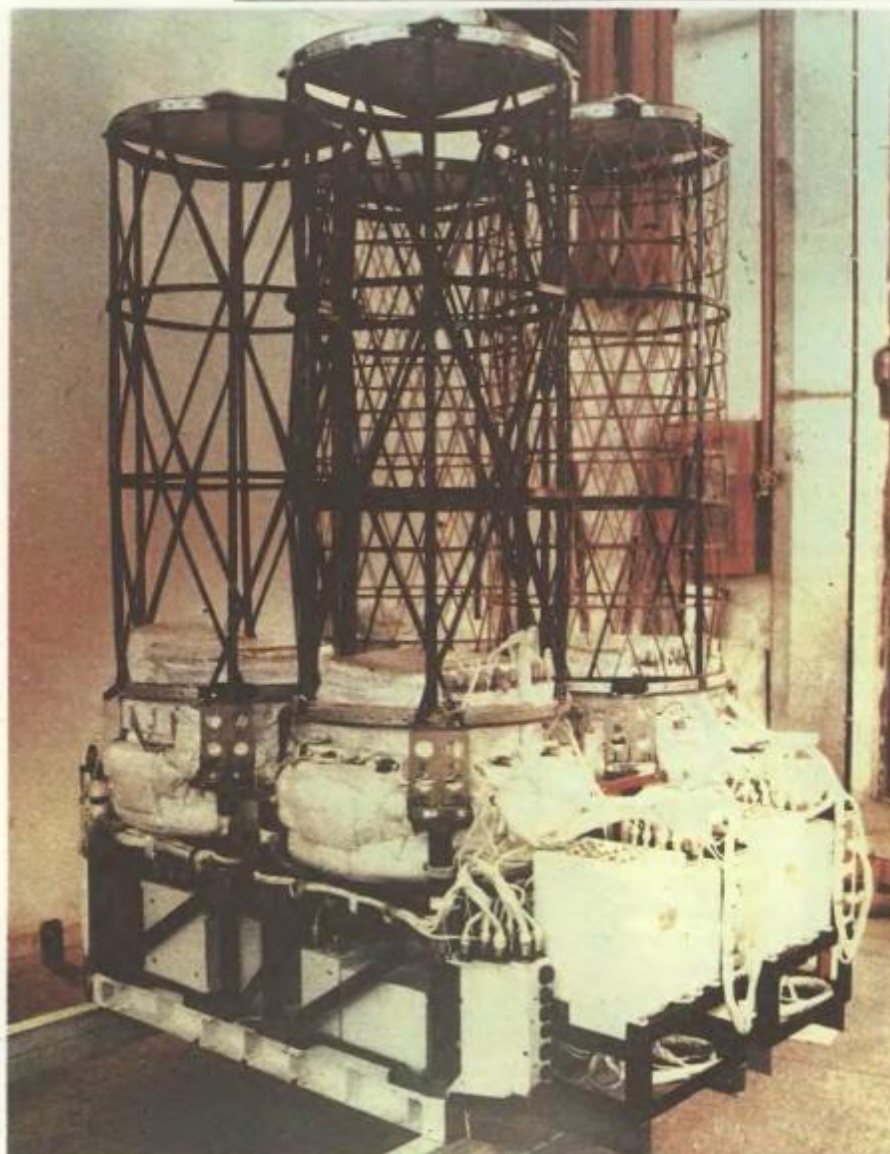


АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ «Гранат»: французский телескоп «Сигма» даст возможность производить картографирование небесной сферы с высоким угловым разрешением и высокой чувствительностью в диапазоне энергий 50 кэВ — 2 мэВ (1); советский телескоп АРТ-П состоит из четырех идентичных модулей, оптические оси которых параллельны (2); советский телескоп АРТ-С состоит из двух пар устройств детектирования (3); французский прибор «Фебус» для исследования гамма-всплесков включает 6 детекторов из кристалла германата висмута диаметром 80 мм и высотой 120 мм (4); советский прибор «Конус» для исследования гамма-всплесков включает 7 детекторов NaI(Tl) диаметром 200 мм и толщиной 50 мм, чувствительность к регистрации всплесков — до $5 \cdot 10^{-8}$ эрп/см² (5); советский прибор «Подсолнух», предназначенный для наблюдения гамма-всплесков и рентгеновских источников, состоит из двух блоков детекторов — пропорциональных счетчиков, расположенных на поворотной платформе (6).

сверхзвуковыми скоростями движутся сотни галактик.

Четвертый телескоп «ГЕКСЕ» разработан в Институте внеатмосферной физики общества Макса Планка и Тюбингенском университете. Его особенностью является детектор типа «Фосвич» с качанием коллиматоров, предназначенный для работы в области высоких энергий. Прототип этого прибора использовался в не-

скольких аэростатных экспериментах, которые подтвердили предсказанное советскими учеными в ходе наблюдений с борта астрофизического спутника «Астрон» наличие колоссального магнитного поля у пульсара в созвездии Геркулес. Как оказалось, источником рентгеновского излучения здесь служит двойная система, состоящая из вращающейся нейтронной звезды, обладающей сверхсильным



СОВЕТСКИЙ ТЕЛЕСКОП АРТ-П. Каждый модуль телескопа имеет кодирующую маску из 16 повторяющихся мотивов (41×43 элемента), коллиматор с полем зрения $1,9 \times 1,8^\circ$, позиционно-чувствительный детектор и блоки электроники. Угловое разрешение телескопа $5'$, энергетический диапазон 3—100 кэВ, чувствительная поверхность $4 \times 600 \text{ см}^2$.

магнитным полем, и карликовой звезды. Под действием приливных сил нейтронной звезды газ из атмосферы «карлика» перетекает на ее поверхность, разогреваясь до десятков миллионов градусов. Когда толщина падающего слоя газа достигнет критической величины около 1 м, происходит ядерный взрыв. Мощность его равна полной энергии Солнца, излученной за сутки, а длительность составляет всего несколько секунд. После этого процесс повторяется.

В рамках проекта «Рентген» на астрофизическом модуле «Квант» уже проведены около двух тысяч наблюдений и получены ценные научные данные, среди которых наибольший интерес представляют исследования сверхновой звезды, появившейся в

конце февраля 1987 г. в Большом Магеллановом Облаке. Она получила название Сверхновая 1987А.

Когда пришло сообщение о вспышке, оказалось, что единственным советским телескопом, который мог ее наблюдать, был приборный комплекс, установленный на астрофизическом спутнике «Астрон». В программу его работы были внесены изменения, и уже 4 марта начались наблюдения Сверхновой 1987А. Результаты первых четырех сеансов показали, что звезда отличается колоссальной светимостью. Спектр ее напоминал спектр красного сверхгиганта с температурой около 4509 К. Это указывало на образование вокруг ядра сверхновой оболочки огромных размеров. При этом яркость излучения в

ультрафиолетовой области падала, что свидетельствовало о дальнейшем расширении оболочки и понижении ее температуры.

Сразу после начала работы обсерватории «Рентген» Сверхновая 1987А стала для нее объектом наблюдения номер один. Светящаяся оболочка, образовавшаяся при взрыве звезды, сначала была настолько плотной, что не «выпускала» наружу потоки рентгеновского и гамма-излучения, которые теряли свою энергию, как бы «застревая» в ней. Но поскольку оболочка разлетается во все стороны с колоссальной скоростью, она постепенно становится все «прозрачнее». 10 августа 1987 г. обсерваторией «Рентген» было зарегистрировано жесткое рентгеновское излучение от Сверхновой 1987А. Через пять дней это излучение уловил и японский спутник «Гинга».

Излучение такой природы, имеющее аномальный спектр, астрономы никогда раньше не наблюдали. По мнению ученых, оно явилось следствием распада ядер радиоактивного кобальта, большое количество которого должно выбрасываться при взрыве звезды (примерно 7,5% массы Солнца). Распадаясь, кобальт превращается в обычное железо. Таким образом, наблюдения обсерватории «Рентген» позволяют проверить, насколько правильно предположение о том, что тяжелые элементы во Вселенной образуются во время вспышек сверхновых, а затем из этих элементов идет формирование планетных систем и закладываются будущие «месторождения полезных ископаемых».

Основной целью продолжавшихся затем наблюдений Сверхновой 1987А стал поиск рентгеновского пульсара — быстро вращающейся замагниченной нейтронной звезды, родившейся в результате гибели голубого сверхгиганта в соседней с нами галактике.

Еще один проект орбитальной обсерватории — он получил название «Гранат» — реализуется совместными усилиями ученых Советского Союза, Франции, Дании и НРБ. Научный руководитель проекта также член-корреспондент АН СССР Р.А. Сюняев. Запуск обсерватории планируется осуществить в июле 1989 г. Два основных телескопа этой обсерватории — АРТ-П (СССР) и «Сигма» (Франция) — позволяют получать изображения источников излучения в широком диапазоне энергий от 3 до 2000 кэВ.

Рентгеновский телескоп АРТ-П состоит из четырех идентичных модулей, оптические оси которых параллельны. Каждый модуль содержит кодирующую маску, коллиматор,

позиционно-чувствительный детектор и блоки электроники. Угловое разрешение телескопа — 5'; энергетический диапазон 3 — 100 кэВ.

В советско-французском эксперименте «Сигма» планируется произвести картографию небесной сферы с высоким угловым разрешением и чувствительностью в диапазоне 50 — 2000 кэВ. Система получения изображений включает кодирующую маску и позиционно-чувствительный детектор. Предполагается, что за время проведения эксперимента с помощью телескопа «Сигма» можно будет наблюдать более 100 галактических и внегалактических источников; угловое разрешение телескопа 16'.

В состав обсерватории войдет также построенный по традиционной методике рентгеновский телескоп АРТ-С, позволяющий проводить грубую спектрометрию и тайминг с временным разрешением 100 мкс. Телескоп состоит из двух пар устройств детектирования. Каждая пара, благодаря качающемуся коллиматору, наблюдает поочередно источник и фон. Энергетический диапазон этого телескопа 3 — 150 кэВ.

Орбита обсерватории «Гранат» и емкая бортовая память позволят проводить сеансы наблюдений длительностью 24 ч, что наряду с большой площадью детекторов обеспечит исключительно высокую чувствительность.

«Гранат» должен стать и крупнейшим проектом по исследованию гамма-всплесков. Гамма-всплески впервые были обнаружены в начале 70-х годов. За первые восемь лет наблюдений со многих спутников и межпланетных станций было зарегистрировано около 80 гамма-всплесков. При этом природа их оставалась неясной. В эксперименте «Конус», который проводился позже на советских межпланетных станциях «Венера-11» и «Венера-12», было зарегистрировано сразу 150 гамма-всплесков. Они наблюдались также с борта американских и западноевропейских космических аппаратов и советского спутника «Прогноз-7». Но чувствительность используемой в эксперименте «Конус» аппаратуры была в 30 раз выше. Совместный анализ результатов всех наблюдений позволил обеспечить точность определения координат источников импульсного гамма-излучения в несколько угловых минут, а в одном случае — до пяти угловых секунд. Высокая чувствительность аппаратуры и хорошее спектральное разрешение дали возможность ученым прояснить природу источников гамма-излучения. По-видимому, ими являются нейтронные звезды со

сверхсильным магнитным полем. Однако ряд вопросов остался открытым и новые исследования направлены на то, чтобы разрешить их.

Почти 300 гамма-всплесков — из них около 100 космических, остальные — солнечные, обнаружено с борта космических аппаратов «Фобос», запущенных в 1988 г. При этом было достигнуто наиболее высокое для современной гамма-астрономии временное разрешение. Обнаружены новые свойства гамма-всплесков: тонкая временная структура профилей с характерным масштабом около нескольких миллисекунд, многокомпонентность и быстрая переменность спектров, многочисленные спектральные детали.

Главной особенностью исследований гамма-всплесков с борта орбитальной обсерватории «Гранат» станет установка аппаратуры на поворотной платформе. Это даст возможность за несколько секунд наводить приборы на источник гамма-всплесков, что в свою очередь позволит получить его детальные спектры и проследить за временным развитием события. Использование детекторов с узкими полями зрения и смещенными относительно друг друга оптическими осями обеспечит точную (до угловых минут) локализацию источников гамма-всплесков.

Большие надежды в решении перспективных задач рентгеновской астрономии ученые связывают с проектом «Спектр — Рентген — Гамма». В его обсуждении и подготовке сегодня активно участвуют специалисты из Австралии, НБР, Великобритании, ВНР, ГДР, Дании, Италии, Канады, ПНР, Португалии, США, Финляндии, ФРГ, ЧССР, Японии и Европейского космического агентства. Запуск космической обсерватории «Спектр — Рентген — Гамма» запланирован на 1993 г.

Приборы новой орбитальной обсерватории должны дать уникальную информацию о галактических источниках рентгеновского излучения (черных дырах и нейтронных звездах в двойных звездных системах, остатках вспышек сверхновых, горячем межзвездном газе); сверхмассивных черных дырах в ядрах активных галактик; межгалактическом газе в скоплениях галактик; рентгеновском излучении нормальных галактик. Можно будет вести поиск самых удаленных рентгеновских квазаров. Один из них — ОХ-169 — всего за три часа изменяет яркость рентгеновского излучения в два раза. Согласно расчетам, по своим размерам он не больше Солнечной системы, даже примерно вдвое меньше. Самая тяжелая черная дыра подобных размеров должна

иметь массу около 200 млн. масс Солнца. Тогда как объяснить огромный выход энергии из квазаров?

Обсерватории будут доступны для наблюдений сотни тысяч сверхслабых рентгеновских источников, находящихся у границ наблюдаемой Вселенной. Их детальное изучение позволит выяснить природу диффузного рентгеновского фона. Дело в том, что небо в рентгеновском диапазоне не выглядит темным. Существует фоновое «размазанное» излучение, сравнимое с излучением дискретных источников. Предполагается, что это излучает очень разреженный горячий межгалактический газ. Если это так, то по величине диффузного фона можно судить о средней плотности Вселенной и, следовательно, о том, является ли она «закрытой» или «открытой», сменится ли когда-нибудь расширение Вселенной сжатием. Или оно будет продолжаться бесконечно? Может быть, фон — это слившиеся воедино очень далекие и отдельно пока неразличимые точечные источники? Подобно тому как свет далеких звезд сливается в мягкое сияние Млечного Пути...

Важной задачей станет также исследование транзитных (пропадающих) рентгеновских источников и гамма-всплесков. Широкий энергетический диапазон, высокие чувствительность, спектральное и угловое разрешение выдвигают проект «Спектр — Рентген — Гамма» в ряд наиболее интересных научных космических проектов первой половины 90-х годов.

Один из основных инструментов обсерватории «Спектр — Рентген — Гамма» станет советско-датский телескоп — концентратор (он будет установлен вдоль главной оси обсерватории), в котором используется рентгеновская оптика косоугольного падения по схеме конус — конус. Суммарная площадь поверхности рентгеновских зеркал двух идентичных телескопов составит 130 м². Телескопы планируются выводить в космос в сложенном состоянии и затем раскрывать их на орбите. Фокальное расстояние телескопов составит 8 м и его можно будет изменять; угловое разрешение 2'.

Разработка и изготовление оптической структуры телескопа, включая механизм раскрытия, будут выполняться советскими специалистами. Советской стороной проводятся и все расчеты тепловых и механических характеристик телескопа, а также его испытания. В создании телескопа намерены принять участие также специалисты США, Финляндии и ряда других стран. Так, в ЧССР разрабатывается система смены и точного наведения фокальных детекторов.

Еще один телескоп косо́го падения JET-X (он также будет установлен вдоль главной оси обсерватории) предназначается для точной локализации, спектроскопии и построения изображения слабых рентгеновских источников с разрешением $10''$. В состав телескопа войдет оптический монитор с зеркалом диаметром 30 см и устройством с обратной зарядовой связью (кремниевый микрокристалл, поверхность которого содержит сотни тысяч датчиков). Прибор с зарядовой связью регистрирует 700 из каждой тысячи падающих на него квантов. Оптическому монитору будут доступны тысячи звезд вплоть до 20-й и даже 21-й величины на каждой площадке наблюдения. Это может облегчить оптическую идентификацию рентгеновских объектов и позволит синхронно исследовать их переменность в рентгеновском и оптическом диапазонах. Над созданием телескопа JET-X совместно работают специалисты Англии, Италии, СССР, ФРГ и Европейского космического агентства.

Эти два главных инструмента обсерватории дополняют друг друга: советско-датский телескоп благодаря большой собирающей площади зеркал сможет проводить детальную спектроскопию сравнительно слабых источников, а телескоп JET-X вследствие высокого углового разрешения должен дать рекордные результаты при длительных глубоких обзорах неба и наблюдениях сверхслабых объектов. Основные задачи этих инструментов связаны с внегалактической астрономией и космологией.

Вдоль главной оси будет установлен и создаваемый советскими учеными телескоп с кодирующей маской, предназначенный для построения изображений и спектроскопии источников в жестком рентгеновском диапазоне; его угловое разрешение $7''$.

В кооперации специалистов СССР, ГДР и Англии разрабатывается телескоп «нормального» падения для наблюдения источников в диапазоне предельного (экстремального) ультрафиолета и исследований однородности межзвездной среды. Два идентичных телескопа устанавливаются вдоль главной оси обсерватории, два — на поворотной платформе; угловое разрешение телескопа $10''$.

На поворотной платформе планируется разместить также еще один советский телескоп с кодирующей маской для построения изображения и спектроскопии ярких рентгеновских источников и исследования протяженных рентгеновских источников (его пространственное разрешение $7''$), а также чехословацкий телескоп «косо́го» падения для наблюдения ярких ис-

точников в стандартном рентгеновском диапазоне (угловое разрешение $20''$). Для определения положения поворотной платформы в НРБ изготавливается звездный датчик. Одновременно он будет использоваться для оптических наблюдений рентгеновских источников.

Обсерваторию «Спектр — Рентген — Гамма» планируется вывести на сильно вытянутую орбиту с начальными высотами в перигее 500 — 1000 км и апогее 200 тыс. километров. Продолжительность рабочего участка орбиты при этом составит 3—4 сут. В течение года космический аппарат будет дважды входить в тень Земли не более чем на 3 ч.

«В связи со значительным ожидаемым объектом научной информации и необходимостью проведения длительных исследований — отмечает научный руководитель проекта член-корреспондент АН СССР Р.А. Сюняев — основным режимом работы приборов обсерватории станут автономные наблюдения с регистрацией информации в собственных запоминающих устройствах». В очередном сеансе связи накопленная информация будет передаваться на Землю высокочастотным радиокомплексом. Средняя продолжительность сеанса наблюдений в таком режиме составит одни сутки, число сеансов в год: 200 — 250.

Планируется, что орбитальная обсерватория «Спектр — Рентген — Гамма» будет давать несколько миллиардов единиц информации ежедневно. Эту информацию не может обработать полностью ни один из вычислительных центров, ни одна из научных групп. Выход из положения — принятие системы конкурсных заявок на наблюдения. Это откроет доступ к участию в проекте всем обсерваториям, институтам и университетам. По условиям соглашений о сотрудничестве Советский Союз получит значительную часть наблюдательного времени каждого из приборов обсерватории «Спектр — Рентген — Гамма», и это время будет распределено между различными группами астрономов и физиков на конкурсной основе, как это имело место для обсерватории «Эйнштейн» (США), спутников IUE и EXOSAT (Европейское космическое агентство), как это планируется и для «Космического телескопа Хаббла».

Юрий Зайцев,
Институт космических
исследований АН СССР

Книги издательства „Мир“

Дж. Касселс Рациональные квадратичные формы

1982, 23 л. Цена 3 р. 40 к.

В. Клингенберг Лекции о замкнутых геодезических

1982, 27 л. Цена 3 р. 40 к.

Х. Минк Перманенты

1982, 12 л. Цена 1 р. 50 к.

Методы Монте-Карло в статистической физике

1982, 26 л. Цена 2 р. 80 к.

Оптическая голография

В 2-х томах
1982, 44 л. Цена 3 р. 80 к.

А. Пич Операторные идеалы

1982, 30 л. Цена 3 р. 80 к.

У. Флайгер Строение и динамика молекул

В 2-х томах
1982, 51 л. Цена 7 р. 10 к.

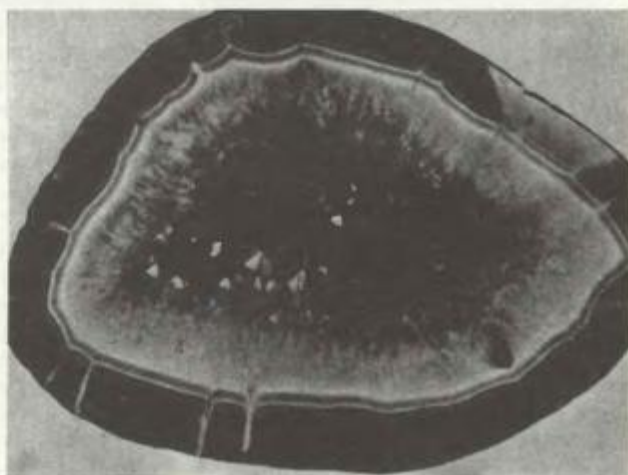
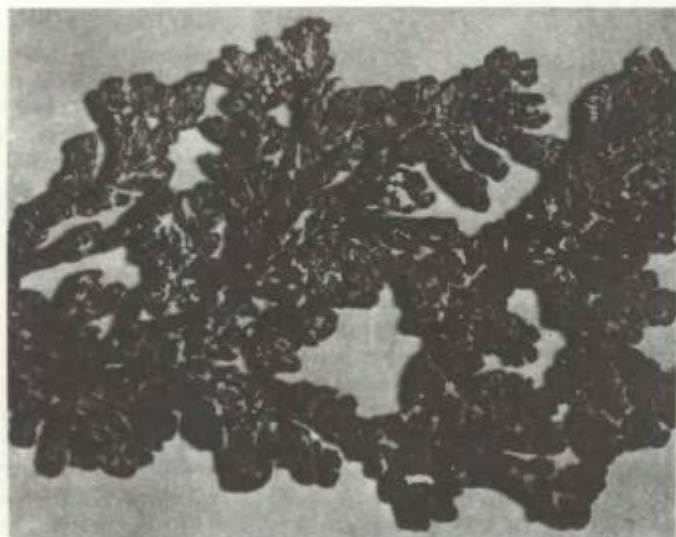
Эти книги вы можете получить
наложенным платежом,
направив заказ по адресу:
125315 Москва, Ленинградский
проспект, 78, магазин № 19 «Мир».



Л. Берри, Б. Мейсон, Р. Дитрих

МИНЕРАЛОГИЯ

Перевод с английского



Книга представляет собой хорошее руководство по минералогии, отвечающее современному высокому уровню этой науки. Она состоит из двух разделов — теоретического и описательного.

В первом разделе излагаются основы кристаллографии, кристаллохимии, химии минералов, причем особое внимание уделяется явлениям изомерфизма, полиморфизма и политипизма. Здесь же рассматриваются физические свойства минералов и их определение современными методами, физико-химические параметры минералообразования с описанием бинарных, тройных и иных, более сложных диаграмм фазового равновесия.

Во втором разделе дается систематическое описание наиболее представительных минералов восьми их классов: самородные элементы, сульфиды и сульфосоли, окислы и гидроокислы, галогениды, карбонаты, нитраты, бораты, сульфаты, хроматы, молибдаты, вольфраматы, фосфаты, арсенаты, ванадаты, силикаты — всего около 200 минеральных видов. Помимо перечня физических свойств и химического состава каждого минерала даются сведения о его происхождении, ассоциациях и практических применениях.

Книга полезна и интересна не только ученым и студентам, но и коллекционерам минералов.

1987, 50 л. Цена 8 р. 10 к.

Книгу можно приобрести в магазине № 5 «Техническая книга» по адресу: 191040 Ленинград, Пушкинская, 2



Кредитные карточки: какими им быть?

НЕСКОЛЬКО лет назад сообщения об электронных кредитных карточках в виде пластмассовых пластинок со встроенными микропроцессорами обещали значительные перемены в сфере денежных расчетов. Предполагалось, что люди будут носить при себе маленькие, удобные в обращении банки данных, содержащие всю необходимую информацию — от их текущих счетов в банках до отпечатков пальцев. Обещалось, что с махинациями в пользовании кредитными карточками будет покончено и что пользоваться ими станет удобнее. Однако ожидаемый переход от обычных пластмассовых пластинок к кремниевому кристаллу так и не состоялся. Электронные кредитные карточки все еще остаются «технологией, ожидающей подходящего применения», говорит Э. Эсбо, управляющий по вопросам применения этих карточек в фирме Visa International.

Новая технология позволяет хранить информацию о покупке непосредственно на самой карточке, а не в памяти большой ЭВМ, установленной в банке, выпустившем карточку, или в специальном центре по проверке платежеспособности покупателей. В памяти такой карточки записан текущий счет ее владельца, автоматически корректируется остаток при каждой покупке (и каждом платеже), а персональный код гарантирует возможность пользоваться ею только владельцем. На одной электронной кредитной карточке могут быть записаны данные о многих банковских счетах, и битком набитый пластмассовыми пластинами бумажник уже не будет придавать солидности его хозяину.

В отличие от обычных кредитных карточек, которые нетрудно скопировать с помощью широко доступной аппаратуры магнитной записи, на электронных кредитных карточках данные хранятся в зашифрованном виде и выдаются только при правильно сформулированном запросе. По словам Р. Уорнара из Национального института стандартов и технологии, «потребуется целая фабрика», чтобы изготовить фальшивую карточку или незаконно изменить записанные на ней данные.

Официальные изготовители кредитных карточек — правительственные организации и специальные фирмы, такие как французская компания Bull S.A., производящая компьюте-

ры, — пытались найти достойное применение новой продукции. Пожалуй, наиболее серьезная попытка была предпринята во Франции, где в 1985 г. фирма Carte Bleue заказала 12 млн. таких карточек фирме Bull. Пока их изготовлено около одного миллиона. В США самым крупным производителем электронных кредитных карточек является компания MasterCard, которая в течение 18 месяцев проводила эксперимент, распространив в шт. Мэриленд и Флорида более 30 тыс. карточек. В Японии фирма Visa International также провела ряд экспериментов начиная с 1986 г. и продолжает их с электронными кредитными «суперкарточками», оснащенными клавиатурой и дисплеем, разработанными совместно с корпорацией Toshiba.

Почему же эти карточки не стали предметом повседневно обихода? В США широко их распространению помешали разногласия по поводу стандартов, возникшие между компаниями MasterCard и Visa после завершения испытаний, которые провела MasterCard в середине 1987 г. Так считает Дж. Эллиот, руководивший разработками в этой фирме.

Важнее, пожалуй, другой вопрос: является ли применение электронных кредитных карточек экономически более выгодным по сравнению с обычными кредитными карточками, широко используемыми в настоящее время? То, что электронная карточка способна сама удостоверять необходимые для покупки данные без подтверждения из центральной конторы, является ценным преимуществом лишь там, где средства телекоммуникации относительно дороги. (Именно так обстоит, например, в Норвегии, где ассоциация банков заказала полмиллиона электронных кредитных карточек для автоматического перевода денег.) И хотя такие карточки могли бы снизить потери, связанные с махинациями и неуплатой, эти потери в настоящее время не столь велики (они примерно равны 1 долл. на карточку в год), чтобы оправдать дополнительные затраты, необходимые для перехода на электронные кредитные карточки.

Следует также отметить, что те 2000 — 8000 знаков, которые способна хранить электронная карточка, пока не нашли себе полезного применения. Обычные карточки с магнитной полоской могут хранить около 240 знаков, и этого вполне достаточно для записи номера счета, имени владельца, его адреса, наименования ор-

ганизации, учредившей карточку, и предпочтительного класса авиабилетов, причем место примерно для 100 знаков еще остается свободным. Дополнительная финансовая информация на электронной карточке занимает очень малый участок. В ходе экспериментов, проводившихся в США и других странах, свободное место в памяти заполняли самой разнообразной информацией, вплоть до сведений из медицинских карт владельца, однако ни одно из этих применений не получило широкого распространения.

Электронные кредитные карточки скорее будут использоваться как дебитные, а не кредитные карточки. Дебитные карточки отличаются от кредитных тем, что клиент платит за них авансом определенную сумму, т. е. покупает их, а затем постепенно списывает ее стоимость, расплачиваясь ею за товары и услуги. Применение дебитных карточек обычно ограничивалось сравнительно мелкими расчетами, такими как плата за стоянку автомашины в гараже, покупка билетов в городском транспорте или оплата услуг за пользование фотокопировальными автоматами. Если бы магнитная дебитная карточка стоила больше нескольких долларов, был бы большой соблазн подделывать их.

Во Франции электронные дебитные карточки используются для мелких расчетов, например за пользование телефонами-автоматами или на автомобильных стоянках. Командование американской морской пехоты выдает электронные карточки вместо бумажных документов новобранцам, проходящим подготовку на о. Парри. Дебитные карточки особенно выгодны финансовым организациям, поскольку владелец карточки платит за нее вперед, и поэтому учреждение, выдавшее карточку, может распорядиться вырученными деньгами до того, как заплаченная за карточку сумма будет израсходована клиентом. При существующей системе обращения кредитных карточек преимущество в этом смысле имеют их владельцы.

Контроль над вооружениями: коммерческий аспект

«ОЧЕНЬ жесткая карточная игра» — так охарактеризовал президент Буш одно из главных наследий администрации президента Рейгана: дальнейшие переговоры о двустороннем 50%-ном ограничении стратегических наступательных вооружений (СНВ). Буш заявил, что также будет стремиться к заключению договора о запрещении химического оружия и к ограничению обычных ви-

дов вооружений. Если мир будет продолжать укрепляться, то как это отразится на оборонной промышленности? Как ни странно, для нее и в этом случае открываются многообещающие перспективы.

Вряд ли договор по СНВ приведет к резкому сокращению расходов на оборону и позволит высвободить тысячи инженеров и менеджеров для невоенных отраслей промышленности. Представители промышленности и сторонники контроля над вооружениями едины в том, что в обозримом будущем ни один из договоров не приведет к сокращению затрат на оборону: системы оружия, такие как бомбардировщик — «невидимка» и ракеты MX, которые будут развернуты даже в случае заключения договора по СНВ, являются намного более сложными системами по сравнению с теми, которым они придут на смену. Кроме того, будет возрастать потребность в таких дорогостоящих средствах, как разведывательные спутники и компьютерные системы, необходимые для обработки огромного потока информации, передаваемой со спутников.

В своем прогнозе на следующие 10 лет, в котором предполагается заключение договора по СНВ в ближайшие 5 лет, ассоциация электронной промышленности США полагает, что хотя давление на федеральный бюджет, вероятно, приведет к 5%-ному уменьшению общего объема закупок на нужды обороны в последующие 5 лет, потребность в электронных системах в этот период не уменьшится. Прогноз предсказывает новые затраты на модернизацию стратегических сил, а также на «сложные и дорогие системы проверки выполнения договоров».

Новые виды вооружений могут также привести к появлению новых рынков. Саймон Рамо, один из основателей компании TRW, полагает, что в будущем может произойти перераспределение ресурсов в пользу ядерных, а обычных видов вооружений, основанных на передовой технологии, а также в пользу оборонительных и разведывательных систем, что позволит компенсировать превосходство стран Варшавского Договора в людских и материально-технических ресурсах.

К каким новым затратам приведет договор по СНВ? Главная проблема заключается в том, что без инспекции на местах практически невозможно подсчитать число крылатых ракет, размещенных на атомных подводных лодках; по этой же причине остается открытым вопрос о запрещении ракет на подвижных пусковых установ-



СИСТЕМА «ЯРЛЫКОВ» была разработана Национальными лабораториями в Сандии. Идентификационный номер на корпусе ракеты покрыт эпоксидной смолой, которая содержит частицы слюды, отражающие свет. При освещении под различными углами (ср. изображения слева и справа) частицы слюды образуют «уникальный рисунок».

ках. Вполне вероятно, что вместо запрещения какого-либо класса ракет, договор по СНВ будет предусматривать размещение стратегических сил лишь в определенных районах, подлежащих инспекции.

Контроль выполнения договора по СНВ будет в основном осуществляться разведывательными системами, создание которых уже запланировано. В этих системах нуждаются также разведывательные службы, независимо от указанного договора. Тем не менее именно военными договорами во многом обусловлена необходимость создания таких систем. Судя по некоторым источникам, сенатский комитет по разведке, ссылаясь на необходимость проверки Договора по РСМД, настоял на создании шести новых разведывательных спутников Lacrosse общей стоимостью 6—12 млрд. долл.

Даже если первые разведывательные системы уже запланированы, заключение договора по СНВ приведет к повышению требований, предъявляемых к ним. Согласно Роджеру Л. Хагенгруберу из Национальных лабораторий в Сандии, занимающемуся разработкой систем проверки выполнения договоров, указанный договор приведет к беспрецедентному повышению уровня требований к техническим средствам, включая спутники и различные средства обнаружения. Хотя считается, что ни одна система проверки выполнения договора не может обеспечить стопроцентный контроль, техническое усовершенствование этих систем нацелено на то, чтобы любая попытка «перехитрить» их не давала бы существенного военного преимущества.

Любая форма договора по СНВ увеличит роль спутниковых разведывательных средств: проверка выполнения договора, который не запре-

щает целый класс вооружений, является более сложной задачей по сравнению с проверкой такого договора, как по РСМД, запрещающего ракеты средней и меньшей дальности. По словам Хагенгрубера, американским разведывательным службам потребуются гораздо больше детальной информации об СССР, с тем чтобы быть уверенными, что эта страна не скрывает ракеты на подвижных пусковых установках.

По оценкам Косты Циписа из Масчусетского технологического института, в настоящее время общие затраты на разведывательные спутники и системы составляют примерно 20 млрд. долл. в год (все данные о разведывательных спутниках, включая затраты на их производство, строго засекречены). Он считает, что заключение договора по СНВ приведет к увеличению этих затрат. Согласно Джеффри Ричелсону из национальных архивов безопасности, частной исследовательской группы, разведывательные системы будут, несомненно, совершенствоваться. В будущем военное командование будет получать необходимую ему видеoinформацию в пределах часа. По словам Ричелсона, на новом спутнике Lacrosse, созданном фирмой Martin Marietta, будет установлен радар с синтезированной апертурой, который позволит получать с большим разрешением изображения земной поверхности ночью или в условиях облачности. Другая спутниковая система, KH-12, построенная компанией Lockheed Missiles and Space, обладает разрешающей способностью в несколько сантиметров. Столь высокое разрешение обеспечивает установленное на спутнике и управляемое компьютером зеркало, способное менять свою форму для компенсации атмосферных искажений, кроме того, для получения

более четких изображений спутник может переходить на более низкие орбиты. Стоимость каждой из этих спутниковых систем превышает 500 млн. долл.

По мнению Ричелсона, спутники будут играть важную роль в деле проверки выполнения договора по СНВ, контролируя каналы связи между командными центрами и расчетами ракет на подвижных пусковых установках. Ципис полагает, что инфракрасные датчики, способные обнаруживать тепловое излучение от промышленных и военных установок, также будут играть важную роль в проверке выполнения указанного договора. Кроме того, исследуется возможность использования с этой целью множества небольших, относительно недорогих разведывательных спутников, которые могли бы обеспечить надежный повсеместный контроль.

Как отметил Хагенгрубер, пытаться извлечь полезную информацию из огромного потока данных, передаваемых со спутников, — это все равно что пробовать «напиться из пожарного брандспойта». По его словам, в анализе этих данных важная роль будет принадлежать системам искусственного интеллекта. Изучается также возможность применения компьютеров, объединенных в нейтральную сеть.

По сравнению с тем, что необходимо для электронной разведки, оборудование, используемое на местах для проверки выполнения договоров, гораздо проще и построено в основном из стандартных элементов. Это объясняется, с одной стороны, удаленностью мест, где оно будет применяться, а с другой — стремлением использовать технологию более низкого уровня с тем, чтобы технологические секреты США не попали в руки советских инспекторов.

Проблема проверки договоров ставит новые задачи перед компаниями, специализирующимися на разработке систем контроля. Например, США предложили снабжать ракеты, остающиеся на вооружении, «ярлыками», с помощью которых производился бы подсчет числа этих ракет. Любая ракета без ярлыка считалась бы произведенной в нарушение договора. В Аргоннской национальной лаборатории исследователи изучают возможность применения портативных электронных микроскопов для проверки на поверхности ракет мельчайших меток, которые невозможно скопировать. Исследуются также электронные метки, хотя, по мнению специалистов, они допускают возможность их копирования «переводным спосо-

бом». С целью исключения возможности переоснащения обычных крылатых ракет в ядерные был предложен ряд способов, включая применение пломб, защищенных от неумелого обращения. Однако высказывается опасение, что в кризисной ситуации пломбы могут быть сорваны.

В настоящее время несколько национальных лабораторий работают над созданием датчиков для подсчета числа боеголовок на ракетах, вывозимых в кожухах с контролируемых мест хранения. Некоторые из этих датчиков основаны на применении гамма- и нейтронных пучков. Согласно Александру Девори из Аргоннской национальной лаборатории, перед исследователями стоит задача создать систему, которая может подсчитывать боеголовки, не «вдаваясь» в детали их конструкции. Ведутся также работы над созданием автоматических датчиков, которые будут следить за тем, чтобы запрещенное договором оружие не покидало контролируемых зон. У Джона Р. Харви родилась, по его словам, «блестящая идея» использовать роботы для сопровождения составных частей оружия.

Подрядчики неохотно делятся своими планами относительно разработки систем для проверки выполнения договоров, однако некоторое представление о системах проверки на местах договора по СНВ можно получить, сравнив их с системами для проверки на местах выполнения договоров по РСМД. Компания Hughes Aircraft заключила контракт на 24 млн. долл., в соответствии с которым она выделит персонал для постоянной инспекции на месте завода по производству ракет в Воткинске (СССР). Американские инспекторы будут использовать в Воткинске рентгеновскую систему контроля стоимостью около 10 млн. долл., изготовленную фирмой Bechtel National, способную обнаруживать в контейнерах любые запрещенные ракеты, вывозимые с предприятия. По оценке представителей конгресса, общие затраты, связанные с инспекциями на местах с целью проверки выполнения договора по РСМД (включая также краткосрочные инспекции некоторых других объектов), будут составлять примерно 200 млн. долл. в год в течение 13 лет. Подобные затраты для проверки выполнения договора по СНВ, вероятно, составят примерно 4 млрд. долл. за 20 лет, хотя число объектов, подлежащих инспекции, будет в 10 — 20 раз больше.

Сам по себе демонтаж ракет в соответствии с договором по СНВ, возможно, станет специализированной отраслью промышленности с вложе-

нием капитала в 1 млрд. долл.. Ее можно сравнить с добывающей промышленностью, оснащенной передовой технологией. По оценкам Теодора Б. Тейлора, одного из создателей ядерного оружия, демонтаж боеголовок привел бы к высвобождению обогащенного урана для нужд электроэнергетики на сумму в несколько миллиардов долларов.

В отличие от договора по СНВ, другие договоры приведут к созданию меньших рынков. В настоящее время совет обороны по природным ресурсам сам устанавливает в Советском Союзе станции сейсмического контроля стоимостью 500 тыс. долл. каждая; совет надеется получить правительственную поддержку и установить более 20 таких станций. Проверка выполнения будущих договоров о запрещении химического оружия и ограничении обычных видов вооружений, вероятно, также потребует применения дистанционных средств контроля.

Общей проблемой для всех тех, кто собирается производить системы контроля над вооружениями, несомненно, является неопределенность. Хагенгрубер встречался с представителями нескольких компаний, желающих производить системы, разработанные Национальными лабораториями в Сандии; он отмечает, что они были разочарованы отсутствием четких технических требований, которые надеялись получить во время длительных секретных переговоров. Однако, если все пойдет хорошо, создание систем проверки выполнения договоров может стать «преуспевающей отраслью».

США перед лицом глобальной угрозы

В следующем столетии жители прибрежных районов Северной Америки будут вынуждены возводить насыпи и дамбы, чтобы воспрепятствовать затоплению в связи с повышением уровня моря. Исчезнут многие прибрежные болота и эстуарии, а во внутренних областях континента повсюду будут вымирать леса. Сотни видов растений и животных окажутся под угрозой исчезновения.

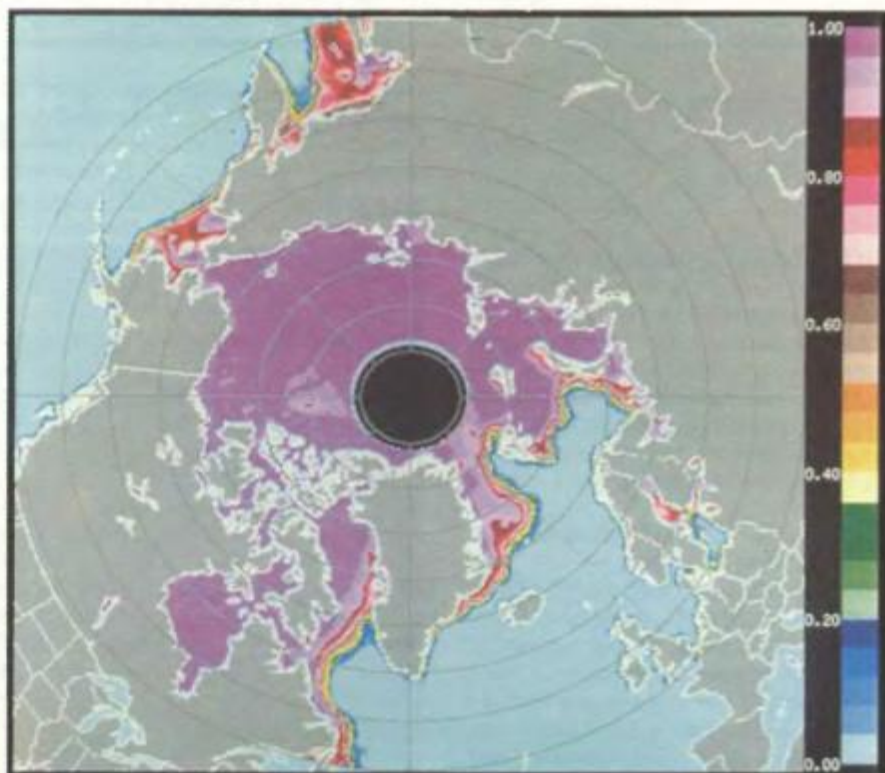
Этот тревожный прогноз получен на основе наиболее тщательного анализа последствий «парникового эффекта» для США. Агентство по охране окружающей среды (АООС) затратило на это исследование, длившееся почти два года, около 2,5 млн. долл.; пока оно не завершено, но вскоре его результаты будут представлены конгрессу.

Упомянутое агентство в 1987 г. продолжило исследования, начатые ранее Национальной академией наук (НАН). По данным НАН, сжигание природных видов топлива, вырубка и выжигание растительности под пахотные земли и другие виды жизнедеятельности человека могут в ближайшие 40 лет привести к тому, что в атмосфере удвоится содержание газов, обуславливающих «парниковый эффект», таких как диоксид углерода и метан. Как следствие, приходит к выводу НАН, температура атмосферы может возрасти на 2—5° С; уровень воды в мировом океане, питаемом талой водой, поднимется не менее чем на два метра. Драматический характер этих предсказаний заставил комиссию по окружающей среде и общественным работам при сенате поставить перед АООС вопрос: чем это грозит США?

Как отмечают сотрудники АООС, гораздо легче предсказать, что случится с миром в целом, который по существу является замкнутой системой, чем прогнозировать будущее для отдельных регионов. Тем не менее, подставив данные, полученные НАН, в модели климата США, ученые из АООС получили ряд сценариев будущего страны. Они, в частности, указывают на то, что экологические системы испытают сильнейшие изменения. До двух третей всех затопляемых земель в стране могут оказаться погубленными либо потому, что они уйдут под воду, либо по той причине, что их придется искусственно защищать от наступающего моря. Птицы, рыбы и другие виды животных, которые могут существовать только при условии доступа к затопляемым землям, в частности креветки, которые размножаются у побережья Мексиканского залива, вероятно, исчезнут.

Пожалуй, наиболее удивительным установленным фактом, как заявила Дж. Смит, принимавшая участие в подготовке доклада АООС, является крайняя чувствительность лесов к изменениям температуры. Повышение ее даже на 1° С может вызвать смещение южной границы лесов на север по всей территории страны. В течение 70 лет леса в южных штатах США, таких как Миссисипи и Джорджия, могут повсюду исчезнуть и на их месте возникнут луга. В северных штатах, таких как Миннесота и Мичиган, типичные для этой зоны деревья, например пихта бальзамическая и береза, могут вымереть и останутся лишь отдельные дубовые рощи.

Эти прогнозы не совсем уж безнадежны. По мнению специалистов АООС, в некоторых северных зонах, возможно, произойдет увеличение ве-



МОРСКОЙ ЛЕД может служить показателем глобального потепления; об этом говорят результаты, полученные П. Глоэрзен из Годдардовского космического центра НАСА и Дж. Кэмпбеллом из Геологической службы США на основе анализа данных, поступавших в течение 15 лет со спутников «Нимбус-5» и «Нимбус-7». Глоэрзен и Кэмпбелл пришли к выводу, что граница морских льдов у полюсов постоянно сжимается. Карта, построенная по данным измерений со спутника «Нимбус-7» в феврале 1987 г., показывает вариации ледового покрова в Арктике в пределах от нуля (бледно-голубой цвет) до 100% (фиолетовый). Серым показана суша, а черный круг — это зона, лежащая за пределами видимости спутника.

гетационного периода и за счет этого потери, обусловленные общим потеплением, снизятся. Новые дамбы могут спасти расположенные на побережье постройки, а улучшенные системы ирригации и культивирование теплолюбивых растений — сохранить плодородие сельскохозяйственных земель на юге страны. Дноуглубительные работы в портах на Великих озерах, где из-за повышения испарения уровень воды должен опуститься на два метра, позволят судам по-прежнему заходить в порты. «К новым условиям можно будет приспособиться, — заявляет Смит, — но стоит это будет очень дорого».

В настоящее время АООС готовит очередной доклад, в котором будут изложены рекомендации по снижению выброса в атмосферу газов, вызывающих «парниковый эффект». Конгресс, озабоченный неотложностью мер, уже рассматривает несколько законопроектов, направленных на достижение этих целей. «Нет сомнения в том, что в следующем десятилетии эта проблема займет важное место, — заявляет Р. Купер, член

сенатской комиссии по окружающей среде и общественным работам. — Вопрос в том, насколько быстро мы будем продвигаться в направлении ее решения, а также последуют ли нашему примеру другие страны или нам придется действовать в одиночку».

**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»



SCIENTIFIC AMERICAN

ЯНВАРЬ 1939 г. «Наконец-то телевидение, это «дитя лаборатории», кажется, вступит во «взрослую» жизнь. Уже объявлено, что со следующей весны две, а может быть и более телестанций, расположенных на востоке США, будут регулярно передавать телевизионные (или как их теперь называют «видео») программы».

«Радий — это сверкающий меч, разрушающий болезни, но меч обоюдоострый, если учитывать, что он имеет обыкновение теряться. Пропавшая микроскопическая частица — не только утерянные огромные деньги (радий в 24 000 раз дороже чистого золота), но и угроза для жизни тех, кто, сам того не зная, попадает под смертельные лучи. Опасность, таящаяся в нескольких потерянных миллиграммах радия, настолько велика, что ученые идут на все ухищрения, чтобы их обнаружить, используя такие сложные приборы, как электроскоп с листочками из золота и счетчик Гейгера — Мюллера».

«Северная Каролина — первый штат в стране, где отдел здравоохранения осуществляет программу по контролю над рождаемостью. Почти в поло-

вине графств штата уже имеются специальные клиники этого профиля. В штате не нашлось противников ни самой этой системы, ни применяемых ею методов. Религиозные и другие общественные деятели заявляют о своей поддержке программы и выражают готовность к сотрудничеству. Пациенты подбираются из числа малообеспеченных замужних женщин, которым нужно помочь ограничить размеры семей или поместить в случае необходимости их детей в детские воспитательные учреждения».

«Богатая фтором питьевая вода, к которой с подозрением относятся в некоторых районах, поскольку она окрашивает зубы у детей (так называемые «крапчатые зубы»), на самом деле может оказаться благом, а не злом. У детей, пьющих эту воду, зубы становятся относительно устойчивыми к кариесу. Это показали опубликованные в «Public Health Reports» результаты четырехгодичного исследования, проведенного д-ром Х. Дэном, стоматологом из Федерального ведомства здравоохранения Соединенных Штатов».

SCIENTIFIC AMERICAN

ЯНВАРЬ 1889 г. «В Колумбийском колледже в Нью-Йорке решено ввести специальный курс электричества. Это

связано с тем, что электричество давно уже выделилось в самостоятельную дисциплину, и, хотя оно связано с другими разделами физики, требует безраздельного внимания от студентов, которые намерены сделать его своей профессией. В наш технический век наилучшей, по-видимому, можно считать программу образования, которая будет ближе всего к практической деятельности молодых людей, окончивших колледж».

«Среди неприятностей нью-йоркской жизни следует упомянуть травмы и увечья, в которых виновата небрежность работников железных дорог, проложенных по высоким насыпям. В настоящее время в городе имеется около сорока миль таких путей. Железнодорожники порой так перегружают углем локомотивы, что излишки его падают вниз с шестиметровой высоты на проходжих; иногда на их головы может вылиться горячая вода или масло, а могут посыпаться и горящие угли».

«Телефон Лоуса — это новый замечательный прибор для передачи речи, отличающийся от телефона Белла и ему подобных аппаратов. В телефоне Лоуса передача звука осуществляется с помощью мембраны, которая непосредственно касается шеи оператора. При говорении вибрации шеи передаются мембране, возбуждая электрические колебания в проводе. Большое преимущество этого устройства в том, что, даже если вокруг оператора очень шумно, передаваться будет только его голос, хотя бы он и говорил шепотом».

«Имея фонограф, можно подписаться на своеобразную газету. Она имеет вид восковых пластинок, называемых фонограммами, которыми нужно обернуть используемый в фонографе цилиндр. На пластинках записан четкий голос диктора, передающего сводку новостей. Таким образом, подписчики могут ознакомиться с новостями, не отрываясь от завтрака».

«Посмотрев на карту штата Колорадо, мы увидим, что городок Оурей — это конечная станция одного из ответвлений железной дороги Денвер — Рио-Гранде. Другое ответвление заканчивается в Силвертоне, отделенном от Оурея высокими горами и глубокими долинами. Вскоре эти два города соединит железнодорожный путь. Рельсы для него перевозят на ослих, привязывая их ремнями к спинам животных. Так, волока концы рельсов по земле, ослы вереницей поднимаются в гору».



Ослы на улицах Силвертона, нагруженные рельсами для новой железной дороги

Книги издательства „Мир“

П. Кири, М. Брукс
ВВЕДЕНИЕ В ГЕОФИЗИЧЕСКУЮ РАЗВЕДКУ

Перевод с английского



Книга известных английских геофизиков представляет собой краткое, но весьма содержательное изложение физических основ, областей приложения, методик измерения, процесса обработки, и приемов интерпретации основных поверхностных геофизических методов: сейсморазведки на отраженных и преломленных волнах, гравиметрии, магнитометрии, электрических и электромагнитных методов.

Во вводной части книги рассмотрено взаимоотношение различных методов, и на примерах показано, как одни и те же геологические объекты проявляют себя в измерениях различных геофизических полей. Это позволяет читателю, незнакомому или мало знакомому с геофизикой, понять необходимость различных методов и возможность их объединения при изучении реальных объектов.

Основное внимание авторы уделили наиболее широко используемому на практике сейсмическому методу, однако и все остальные методы описаны достаточно подробно, чтобы уяснить их потенциальные возможности. Математические выкладки предельно сокращены, оставлено лишь самое необходимое. В то же время книга хорошо иллюстрирована; особую ценность представляют примеры реальных измерений и их геологическая интерпретация.

1988, 23 л. Цена 4 р. 20 к.

Книгу можно приобрести в магазине № 5 «Техническая книга»
по адресу: 191040 Ленинград, Пушкинская, 2



Информация: пределы секретности и свободного доступа



ДЖОН ШЕТТАК,
МЕРИЛ М. СПЕНС

ЗА ПОСЛЕДНЕЕ десятилетие федеральное правительство приняло целый ряд мер, ограничивающих доступ к информации и регламентирующих ее форму, содержание и способы передачи. Среди этих мер — расширение системы секретности, ограничения на обмен несекретной информацией, введение контроля за экспортом технических данных и ограничения на контракты, которые граждане США имеют право заключать с представителями других государств. Федеральная политика в области информации привела также к сокращению участия правительственных органов как в сборе, так и в публикации научных, технических и статистических сведений.

В 1982 г. президент Рейган подписал указ, предоставляющий федеральным чиновникам новые беспрецедентные права в отношении засекречивания информации, уже бывшей достоянием широкой общественности. Этот указ отменил порядок, согласно которому информация должна рассекречиваться по прошествии определенного срока. В 1985 г. министерство обороны настояло на том, чтобы Ассоциация инженеров по фотооптическим приборам не допускала никого, кроме граждан США и Канады, а также лиц, постоянно проживающих в США, к участию в конференциях, на которых будут представлены несекретные работы. В 1986 г. администрация предприняла попытки упразднить или по крайней мере значительно сократить аппарат финансируемой правительством государственной службы технической информации, которая обеспечивала публикацию широкого диапазона научно-технических данных. В 1987 г. Федеральное бюро расследований признало факт существования «программы осведомительной деятельности в библиотеках», согласно которой персоналу библиотек вменялось в обязанность докладывать в ФБР об ученых и других посетителях библиотек, которые вызвали подозрение как «агенты вражеской разведки».

В последние годы федеральное пра-

вительство руководствовалось двумя соображениями при решении вопроса об усилении контроля за информацией: во-первых, оно обязано стоять на страже интересов государственной безопасности и, во-вторых, оно должно заботиться о сокращении расходов, увеличивающих бюджетный дефицит и избегать чрезмерного регулирования научной, экономической и других видов деятельности в стране. Ни один из этих аргументов не устраняет опасности того, что проводимая политика может принести немало вреда. В этом смысле опыт Советского Союза может послужить ярким примером. Так, советские ученые не оказались в числе тех, кто в последнее время сделал ряд важнейших открытий в области сверхпроводящих материалов. Никто не пытался изолировать их, но советские специалисты были ограничены в зарубежных поездках и в возможности контактов с иностранцами.

В то же время нет сомнения в том, что ограничения на обмен научной и технической информацией уже начали наносить ущерб экономике США. В докладе Национальной академии наук за 1987 г. говорится, что контроль за экспортом информации и промышленной продукции ежегодно обходится Соединенным Штатам приблизительно в 188 тыс. рабочих мест и 9 млрд. долл. Эти оценки были основаны на данных, предоставленных экспортными, конкурирующими на рынках Западной Европы и Японии.

Ограничения на участие граждан других стран в экономической жизни США имеют еще одну негативную сторону: они лишают страну необходимых ей иностранных квалифицированных специалистов, например в области проектирования и конструирования новой техники, где наблюдается хронический недостаток американских кадров. Следующей жертвой этих ограничительных мер, по-видимому, станет, как это ни странно, система национальной безопасности. Безопасность США в значительной степени зависит от хорошей научно-технической базы, которая неизбежно пострадает в отсутствие свободного обмена информацией.

Каким образом можно изменить создавшуюся ситуацию? Теперь при новом президенте реформа федеральной политики в области информации должна стать одним из ключевых элементов его программы в науке, экономике и национальной безопасности. Уже в течение первых 100 дней у власти новая администрация должна заявить о своей готовности изменить действующие правила, издать указ о пересмотре системы секретности. Администрации Буша следовало бы

также изменить и систему контроля за экспортом в качестве одной из первоочередных мер. Кроме того, следует ограничить роль Службы управления и бюджета в решении вопросов о доступности сведений, подготавливаемых и распространяемых федеральными агентствами. В то же время президенту следует направить послание конгрессу, в котором был бы изложен его новый подход к федеральной политике в области информации.

Указ о новой информационной политике должен быть провозглашен на основе учета двух главных принципов: во-первых, считать практику свободного и открытого доступа к информации, исходящей как от федерального правительства, так и из неправительственных источников, нормальным явлением; во-вторых, исходить из того, что никакая информация не подлежит ограничениям лишь на том основании, что она предположительно имеет отношение к другой информации и поэтому ее публикация может принести ущерб.

Предлагаемый указ должен нести в себе отказ от принятой ныне презумпции в пользу засекречивания во всех случаях, когда чиновникам не ясно, является ли секретность необходимой. Кроме того, указ должен отодвинуть принятый сейчас «порог» необходимости засекречивания документов и потребовать автоматического рассекречивания по истечении определенного срока, он должен устранить произвол властей в отношении повторного засекречивания информации, уже ставшей достоянием общественности, и ликвидировать ограничения, накладываемые на обмен несекретной информацией между американцами и гражданами других государств.

Федеральные ведомства следует лишить возможности контролировать информацию путем ознакомления с ней еще до публикации результатов исследований, финансируемых федеральным правительством.

Свободный обмен информацией и идеями жизненно необходим по самой природе нашего общества. Двигатели прогресса, управляющие нашей экономикой и гарантирующие нашу безопасность, работают на принципах открытого и неограниченного обмена информацией. Политика правительства, нацеленная на широкий контроль за потоками информации и идей, может в скором времени нанести непоправимый ущерб, если не будет коренным образом пересмотрена. Перемены в федеральной информационной политике должны стать одним из важнейших элементов в программе администрации Буша. Они требуют безотлагательного рассмотрения.

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. Барекамутян, 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



Библиография

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОНСУЛЬТАТИВНЫЙ АППАРАТ ПРИ ПРЕЗИДЕНТЕ

A SCIENTIST AT THE WHITE HOUSE. George B. Kistiakowsky. Harvard University Press, 1976.

SPUTNIK, SCIENTISTS, AND EISENHOWER: A MEMOIR OF THE FIRST SPECIAL ASSISTANT TO THE PRESIDENT FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY. James R. Killian, Jr. The MIT Press, 1977.

SCIENCE AND TECHNOLOGY ADVICE FOR THE PRESIDENT. Ted Greenwood in *The Presidency and Science Advising*, edited by Kenneth W. Thompson. University Press of America, 1986.

PRESIDENT'S SCIENCE ADVISORY COMMITTEE REVISITED. Edited by William T. Golden in *Science, Technology & Human Values*, Vol. 11, Issue 2, No. 55, pages 5—28; Spring, 1986.

SCIENCE AND TECHNOLOGY ADVICE TO THE PRESIDENT, CONGRESS AND JUDICIARY. Edited by William T. Golden. Pergamon Press, 1988.

КАК ДЕЙСТВУЮТ АКТИВАТОРЫ ГЕНОВ

AN OPERATOR AT -280 BASE PAIRS THAT IS REQUIRED FOR REPRESSION OF ARA-BAD OPERON PROMOTER: ADDITION OF DNA HELICAL TURNS BETWEEN THE OPERATOR AND PROMOTER CYCLICALLY HINDERS REPRESSION. Teresa M. Dunn, Steven Hahn, Sharon Ogden and Robert F. Schleif in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 81, No. 16, pages 5017—5020; August, 1984.

FUNCTIONAL DISSECTION OF A EUKARYOTIC TRANSCRIPTIONAL ACTIVATOR PROTEIN, GCN4 OF YEAST. Ian A. Hope and Kevin Struhl in *Cell*, Vol. 46, No. 6, pages 885—894; September 12, 1986.

A GENETIC SWITCH: GENE CONTROL AND PHAGE λ . Mark Ptashne. Cell Press & Blackwell Scientific Publications, 1987.

HOW EUKARYOTIC TRANSCRIPTIONAL ACTIVATORS WORK. Mark Ptashne in *Nature*, Vol. 335, No. 6192, pages 683—699; October 20, 1988.

Маниатис Т., Пташне М. СИСТЕМА ОПЕРАТОР — РЕПРЕССОР В ДНК. В сборнике: «Молекулы и клетки», выпуск 6.—М.: Мир, 1977.

ГЛУБОКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

SHALLOW AND DEEP EARTHQUAKES. K. Wadati in *The Geophysical Magazine*,

Vol. 1, No. 4, pages 162—202; March, 1928.

DEEP-FOCUS EARTHQUAKES AND THEIR GEOLOGICAL SIGNIFICANCE. Andrew Leith and J. A. Sharpe in *The Journal of Geology*, Vol. 44, No. 8, pages 877—917; November-December, 1936.

KIYOO WADATI AND EARLY RESEARCH ON DEEP FOCUS EARTHQUAKES; INTRODUCTION TO SPECIAL SECTION ON DEEP AND INTERMEDIATE FOCUS EARTHQUAKES. Cliff Frohlich in *Journal of Geophysical Research*, Vol. 92, No. B13, pages 13777—13788; December 10, 1987.

LOCALIZED POLYMORPHIC PHASE TRANSFORMATIONS IN HIGH-PRESSURE FAULTS AND APPLICATIONS TO THE PHYSICAL MECHANISM OF DEEP EARTHQUAKES. Stephen H. Kirby in *Journal of Geophysical Research*, Vol. 92, No. B13, pages 13789—13800; December 10, 1987.

ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ЖИДКОСТЕЙ

STIRRING BY CHAOTIC ADVECTION. H. Aref in *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 143, pages 1—21, June, 1984.

FLUID MECHANICAL MIXING—LAMELLAR DESCRIPTION. William E. Ranz in *Mixing of Liquids of Mechanical Agitation*, edited by Jaromir J. Ulbrecht and Gary K. Patterson. Gordon and Breach Science Publishers, 1985.

ANALYSIS OF CHAOTIC MIXING IN TWO MODEL SYSTEMS. D. V. Khakhar, H. Rising and J. M. Ottino in *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 172, pages 419—451; November, 1986.

MORPHOLOGICAL STRUCTURES PRODUCED BY MIXING IN CHAOTIC FLOWS. J. M. Ottino, C. W. Leong, H. Rising and P. D. Swanson in *Nature*, Vol. 333, No. 6172, pages 419—425; June 2, 1988.

Arnold V. I. SUR LA GÉOMÉTRIE DIFFÉRENTIELLE DES GROUPES DE LIE DE DIMENSION INFINIE ET SES APPLICATIONS A L'HYDRODYNAMIQUE DES FLUIDES PARFAITS, Annales de l'Institut Fourier, т. XVI, Fasc. 1, 1966, p. 319—361.

УГЛЕВОДЫ И ДЕПРЕССИЯ

SEASONAL AFFECTIVE DISORDER: A DESCRIPTION OF THE SYNDROME AND PRELIMINARY FINDINGS WITH LIGHT THERAPY. Norman E. Rosenthal, David A. Sack, Christian Gillin, Alfred J. Lewy, Frederick K. Goodwin, Yolande Davenport, Peter S. Mueller, David A. Newsome and Thomas A. Wehr in *Archives of General Psychiatry*, Vol. 41, No. 1, pages 72—80; January, 1984.

D-FENFLURAMINE SELECTIVELY SUPPRESSES CARBOHYDRATE SNACKING BY OBESE SUBJECTS. Judith Wurtman, Richard Wurtman, Sharon Mark, Rita Tsay, William Gilbert and John Growdon in *The International Journal of Eating Disorders*, Vol. 4, No. 1, pages 89—99, February, 1985.

ON THE QUESTION OF MECHANISM IN PHOTOTHERAPY FOR SEASONAL AFFECTIVE DISORDER: CONSIDERATIONS OF CLINICAL EFFICACY AND EPIDEMIOLOGY. Michael Terman in *Journal of Biological Rhythms*, Vol. 3, No. 2, pages 155—172; 1988.

ОХОТА ЗА ПРОКОНСУЛОМ

THE FORE-LIMB SKELETON AND ASSOCIATED REMAINS OF PROCONSUL AFRICANUS. John R. Napier and Peter R. Davis in *Fossil Mammals of Africa*, Vol. 16, pages 1—69, 1959.

MIOCENE HOMINOID POSTCRANIAL MORPHOLOGY. Michael D. Rose in *New Interpretations of Ape and Human Ancestry*, edited by Russell L. Ciochon and Robert S. Corruccini. Plenum Press, 1983.

NEW POSTCRANIAL FOSSILS OF PROCONSUL AFRICANUS AND PROCONSUL NYANZAE. Alan Walker and Martin Pickford in *New Interpretations of Ape and Human Ancestry*, edited by Russell L. Ciochon and Robert S. Corruccini. Plenum Press, 1983.

THE SKULL OF PROCONSUL AFRICANUS: RECONSTRUCTION AND CRANIAL CAPACITY. Alan Walker, Dean Falk, Richard Smith and Martin Pickford in *Nature*, Vol. 305, No. 5934, pages 525—527; October 6, 1983.

NEW WRIST BONES OF PROCONSUL AFRICANUS AND P. NYANZAE FROM RUSINGA ISLAND, KENYA. K. Christopher Beard, Mark F. Teaford and Alan Walker in *Folia Primatologica*, Vol. 47, No. 2, pages 97—118; 1986.

ПОИСК КРАТЧАЙШИХ СЕТЕЙ

STEINER MINIMAL TREES. E. N. Gilbert and H. O. Pollak in *SIAM Journal on Applied Mathematics*, Vol. 16, No 1, pages 1—29; January, 1968.

COMPANION TO CONCRETE MATHEMATICS. Z. A. Melzak. John Wiley & Sons, Inc., 1973.

AN ALGORITHM FOR THE STEINER PROBLEM IN THE EUCLIDEAN PLANE. Pawel Winter in *Networks*, Vol. 15, No. 3, pages 323—345; Fall, 1985.

STEINER PROBLEM IN NETWORKS: A SURVEY. Pawel Winter in *Networks*, Vol. 17, No. 2, pages 129—167; Summer, 1987.

Гэри М., Джонсон Д. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И ТРУДНОРЕШАЕМЫЕ ЗАДАЧИ. — Перев. с англ. М.: Мир, 1982.

АНДРЕ-МАРИ АМПЕР

AMPÈRE. L. Pearce Williams in Dictionary of Scientific Biography, edited by Charles Coulston Gillispie. Charles Scribner's Sons, 1970.

A.-M. AMPÈRE ET LA CRÉATION DE L'ÉLECTRODYNAMIQUE (1820—1827). Christine Blondel. Comité des travaux historiques et scientifiques, 1982.

WHAT WERE AMPÈRE'S EARLIEST DISCOVERIES IN ELECTRODYNAMICS? L. Pearce Williams in *Isis*, Vol. 74, No. 274, pages 492—508; December 1983.

Ампер А.-М. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА. — М.: изд-во АН СССР, 1954.

Белькинд Л. Д. АНДРЕ-МАРИ АМПЕР. — М.: Наука, 1968 г.

Головкова Н. И., Околотин В. С. АНДРЕ-МАРИ АМПЕР. — М.: Молодая гвардия, 1989, в печати.

Поваров Г. М. АМПЕР и КИБЕРНЕТИКА. — М.: Советское радио, 1977.

НАУКА ВОКРУГ НАС

POLARIZATION AND SCATTERING CHARACTERISTICS IN THE ATMOSPHERES OF EARTH, VENUS, AND JUPITER. David L. Coffeen in *Journal of the Optical Society of America*, Vol. 69, No. 8, pages 1051—1064; August, 1979.

RAYLEIGH SCATTERING. Andrew T. Young in *Physics Today*, Vol. 35, No. 1, pages 42—48; January, 1982.

SUNSETS, TWILIGHTS, AND EVENING SKIES. Aden Meinel and Marjorie Meinel. Cambridge University Press, 1983.

COLORS OF THE SKY. Craig F. Bohren and Alistair B. Fraser in *The Physics Teacher*, Vol. 23, No. 5, pages 267—272; May, 1985.

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

THE PRESENTATION OF SELF IN EVERYDAY LIFE. Erving Goffman. Doubleday & Company, Inc., 1959.

THE PUZZLING ADVENTURES OF DR. ECCO. Dennis Shasha W. H. Freeman and Company, 1988.

Вниманию
читателей!

А. Ромер, Т. Парсонс

АНАТОМИЯ ПОЗВОНОЧНЫХ

Перевод с английского Авторитетное руководство по сравнительной анатомии позвоночных. Первоначально созданное выдающимся морфологом и палеонтологом США А. Ромером, оно было доработано в дальнейшем его учеником и сотрудником Т. Парсонсом. Перевод делается с последнего, 6-го издания. В т. 1 излагаются принципы сравнительной анатомии, основы эволюции и систематики, ранние стадии эмбриогенеза, системы органов позвоночных (кожа, скелет, мышцы). В т. 2 рассматриваются следующие темы: полости тела, рот, глотка и органы дыхания; пищеварительная, выделительная, репродуктивная и нервная системы, кровообращение, органы чувств, эндокринные органы.

1990, 65 л. Цена 7 р. 10 к.
за комплект.



В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 17.02.89.
По оригинал-макету. Формат 60×90^{1/8}.
Гарнитуры таймс, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 6,75 бум. л.

Бумага офсетная № 1.

Усл.-печ. л. 13,50.

Уч.-изд. л. 17,60.

Усл. кр.-отт. 56,36.

Изд. № 25/6781. Заказ 154.

Тираж 23500 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

В/О «Совэкспорткнига»

Государственного комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 129820, ГСП, Москва, И-110, 1-й Рижский пер., 2.

Набрано в Межиздательском фотонаборном центре издательства «Мир»

Типография В/О «Внешторгиздат»

Государственного комитета СССР по делам издательства,

полиграфии и книжной торговли.

127576, Москва, Илимская, 7

Книги издательства „Мир“

- Айгнер М.* КОМБИНАТОРНАЯ ТЕОРИЯ, 1982, 2 р. 60 к.
- Алефельд Г., Херцбергер Дж.* ВВЕДЕНИЕ В ИНТЕРВАЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ, 1987, 3 р. 40 к.
- Баннаи Э., Ито Т.* АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ КОМБИНАТОРИКА: АССОЦИАТИВНЫЕ СХЕМЫ, 1987, 3 р.
- Билз И. и др.* СТРОГО ПСЕВДОВЫПУКЛЫЕ ОБЛАСТИ В S^n , 1987, 2 р. 30 к.
- Бурбаки Н.* ГРУППЫ И АЛГЕБРЫ ЛИ. Гл.9, 1986, 1 р.
- Гловински Р. и др.* ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИОННЫХ НЕРАВЕНСТВ, 1979, 2 р. 50 к.
- Годен М.* ВОЛНОВАЯ ФУНКЦИЯ БЕТЕ, 1987, 3 р. 10 к.
- Гренандер У.* ЛЕКЦИИ ПО ТЕОРИИ ОБРАЗОВ, т. 2, АНАЛИЗ ОБРАЗОВ, 1981, 2 р. 30 к., т. 3, РЕГУЛЯРНЫЕ СТРУКТУРЫ, 1983, 2 р. 90 к.
- Деккер К., Вервер Я.* УСТОЙЧИВОСТЬ МЕТОДОВ РУНГЕ—КУТТА ДЛЯ ЖЕСТКИХ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ, 1988, 3 р. 80 к.
- Деврой Л., Дьерфи Л.* НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ, 1988, 3 р. 20 к.
- Дончев А.* СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ: ВОЗМУЩЕНИЯ, ПРИБЛИЖЕНИЯ И АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ, 1987, 1 р. 10 к.
- Кадич А., Эделен Д.* КАЛИБРОВОЧНАЯ ТЕОРИЯ ДИСЛОКАЦИЙ И ДИСКЛИНАЦИЙ, 1987, 1 р. 40 к.
- КИБЕРНЕТИЧЕСКИЙ СБОРНИК. Вып. № 25, 1988, 2 р. 50 к.
- Клингенберг В.* ЛЕКЦИИ О ЗАМКНУТЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ, 1982, 3 р. 40 к.
- Кози Дж., Боксма О.* ГРАНИЧНЫЕ ЗАДАЧИ В ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, 1987, 2 р. 70 к.
- Крафт Х.* ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ТЕОРИИ ИНВАРИАНТОВ, 1987, 2 р. 20 к.
- Лакс П., Филлипс Р.* ТЕОРИЯ РАССЕЯНИЯ ДЛЯ АВТОМОРФНЫХ ФУНКЦИЙ, 1979, 1 р. 80 к.
- Обен Ж.-П.* НЕЛИНЕЙНЫЙ АНАЛИЗ И ЕГО ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ, 1988, 2 р. 90 к.
- Обен Ж.-П., Экланд И.* ПРИКЛАДНОЙ НЕЛИНЕЙНЫЙ АНАЛИЗ, 1988, 3 р. 90 к.
- Пич А.* ОПЕРАТОРНЫЕ ИДЕАЛЫ, 1982, 3 р. 80 к.
- Поммаре Ж.* СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ С ЧАСТНЫМИ ПРОИЗВОДНЫМИ И ПСЕВДОГРУППЫ ЛИ, 1983, 3 р. 30 к.
- Ремпель С., Шульце Б.В.* ТЕОРИЯ ИНДЕКСА ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ, 1986, 4 р. 30 к.
- Рид М., Саймон Б.* МЕТОДЫ СОВРЕМЕННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ. т. 4: АНАЛИЗ ОПЕРАТОРОВ, 1982, 2 р. 20 к.
- Саломая А.* ЖЕМЧУЖИНЫ ТЕОРИИ ФОРМАЛЬНЫХ ЯЗЫКОВ, 1986, 70 к.
- Сендов Б., Попов В.* УСРЕДНЕННЫЕ МОДУЛИ ГЛАДКОСТИ, 1988, 2 р. 20 к.
- Снэйт В.* АЛГЕБРАИЧЕСКИЙ КОБОРДИЗМ И К-ТЕОРИЯ, 1983, 1 р. 70 к.
- Трауб Дж. и др.* ИНФОРМАЦИЯ, НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ, СЛОЖНОСТЬ, 1988, 1 р. 50 к.
- Трибель Х.* ТЕОРИЯ ИНТЕРПОЛЯЦИИ, ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОСТРАНСТВА, ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ОПЕРАТОРЫ, 1980, 3 р. 50 к.
- Шоу А.* ЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ, 1981, 1 р. 70 к.

Заказы на приобретение этих книг направляйте в магазин № 5 «Техническая книга» по адресу: 191040, Ленинград, Пушкинская, 2. Заказы высылаются наложенным платежом.



В следующем номере:



О СОВЕТСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЕ

ГЕНЫ ЦВЕТОВОГО ЗРЕНИЯ

ГИГАНТСКИЕ ВОДОПАДЫ В ОКЕАНЕ

НОВЫЕ СВЕРХПРОВОДНИКИ: ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

ОТ ПЕНИЯ ПТИЦ К НЕЙРОГЕНЕЗУ

ХИМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ УЛЬТРАЗВУКА

РЕКОНСТРУКЦИЯ ЗАСЕЛЕНИЯ АЗИИ

ПЕРВОБЫТНЫМ ЧЕЛОВЕКОМ

ИСТОРИЯ ПЕРЕПИСИ НАСЕЛЕНИЯ В США

И ОБРАБОТКИ ЕЕ ДАННЫХ

ЧТО ДОЛЖЕН ДЕЛАТЬ ВОДИТЕЛЬ,
КОГДА ТРЕБУЕТСЯ БЫСТРО ЗАТОРМОЗИТЬ

УВЛЕКАТЕЛЬНОЕ ПУТЕШЕСТВИЕ ПО МНОЖЕСТВУ
МАНДЕЛЬБРОТА