

В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



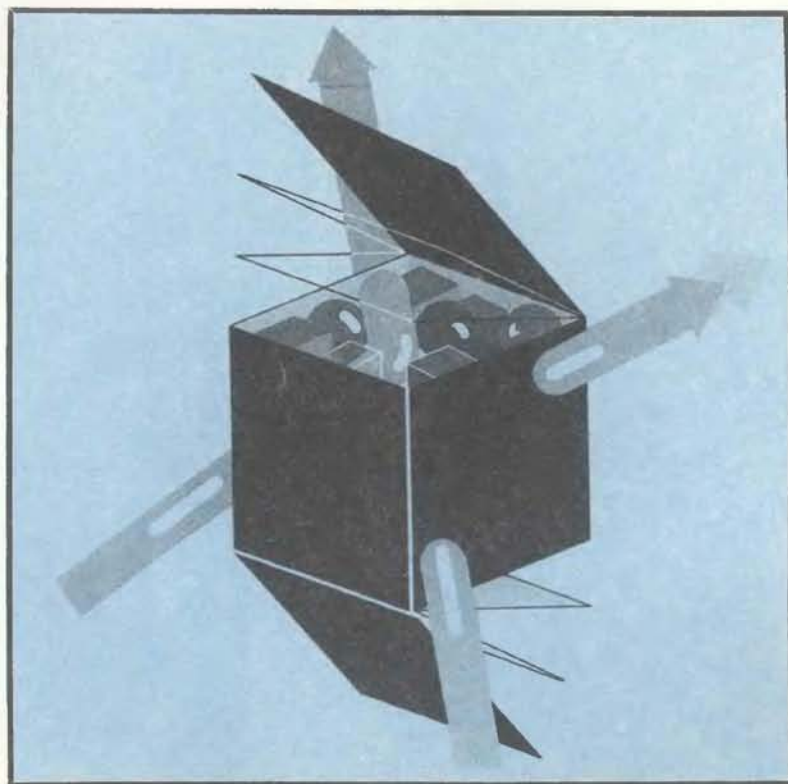
Август **8** 1990

СВЕРХТЕКУЧИЕ СОСТОЯНИЯ ^3He

Внимание читателей!

К. Уэстерхоф, К. ван Дам

ТЕРМОДИНАМИКА И РЕГУЛЯЦИЯ ПРЕВРАЩЕНИЙ ЭНЕРГИИ В БИОСИСТЕМАХ



Книга Уэстерхофа (США) и ван Дама (Нидерланды) представляет собой законченное изложение современных представлений в области термодинамики, кинетики и регуляции биохимических процессов, связанных с образованием и утилизацией энергии в клетке. Рассмотрение проводится на основе обобщенного термодинамического подхода к исследованию сложных процессов преобразования свободной энергии и превращений веществ в биосистемах, объединяющего классическую химическую термодинамику с неравновесной статистической механикой, кинетикой и теорией управления.

В монографии освещены как общие теоретические вопросы, так и конкретные приложения — исследования окислительного фосфорилирования и фотосинтеза.

Для специалистов — биохимиков, биофизиков, биоэнергетиков, а также для студентов, специализирующихся по указанным специальностям, аспирантов, преподавателей вузов.

1991 г. 39 л. Цена 5 р. 10 к.

Эту книгу вы сможете заказать в магазинах научно-технической литературы



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»

№ 8 АВГУСТ 1990

В номере:

СТАТЬИ

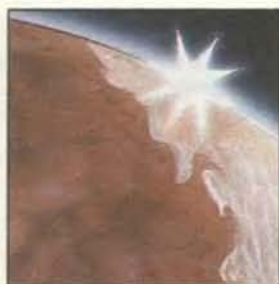
(Scientific American, June 1990, Vol. 262, No. 6)



6 Препарат RU 486

Андре Ульманн, Жорж Тетш, Даниель Филибер

Это лекарство в настоящее время используется для прерывания нежелательной беременности. Однако создавался препарат с иной целью, и применение его может быть разнообразным



14 Плутон

Ричард П. Бинцель

Эта девятая планета имеет огромный спутник; ее поверхность покрыта замерзшим метаном, а тонкая атмосфера, по-видимому, периодически превращается в снег. Вполне возможно, что Плутон является реликтом процессов образования Солнечной системы



24 Эхолотатор с нейронным вычислительным устройством у летучих мышей

Нобуо Суга

Из своих биолокационных сигналов летучие мыши извлекают поразительно детальную информацию о том, что их окружает. Нейроны слуховой системы высоко специализированы для решения такой задачи



34 Система срединно-океанических хребтов

Кеннет К. Макдональд, Поль Дж. Фокс

Эта самая длинная горная цепь и наиболее активная вулканическая зона до последнего времени оставалась наименее доступной для исследований областью. Новые карты дают поразительную картину образования и эволюции сегментов срединных хребтов

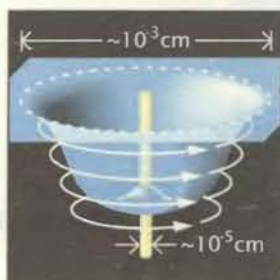
Наука в картинках



44 Рыбы-клоуны

Теодор В. Питч, Дэвид Б. Гробекер

Замаскировавшись под коралл, подводный камень или другой предмет морского дна, эти необычайно прожорливые хищники приманивают добычу колебаниями видоизмененного спинного плавника. Подплывшая слишком близко неосторожная жертва проглатывается почти мгновенно



52 Сверхтекучие состояния ^3He

Олли В. Лоунасмаа, Джордж Пиккетт

Удивительные свойства этой жидкости при температурах порядка милликельвина свидетельствуют о проявлении законов квантовой механики на макроскопическом уровне. При температурах порядка нанокельвина могут существовать еще более необычные состояния этой жидкости



60 Сбалансированное сельское хозяйство

Джон П. Рейганольд, Роберт И. Папендик, Джеймс Ф. Парр

Возврат к старым методам земледелия в сочетании с современной технологией и отказом от потенциально опасных химических средств делает сельское хозяйство экологически чистым и экономически более рентабельным



68 Оливер Хевисайд

Пол Дж. Нахин

Выдающийся физик викторианской эпохи, замкнутый человек, выступавший с резкой критикой своих оппонентов на страницах печатных изданий, Хевисайд был одним из основоположников современной теории электричества

РУБРИКИ

4 Об авторах

5 50 и 100 лет назад

13, 22, 32, 42, Наука и общество

59, 75, 85

76 Наука вокруг нас

80 Книги

98 Эссе

99 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan Piel
EDITOR

John J. Moeling, Jr.
PUBLISHER

BOARD OF EDITORS

Alan Hall
Laurie Burnham
Timothy M. Beardsley,
Elizabeth Corcoran,
Deborah Erickson
Corey S. Powell
John Horgan, June Kinoshita
Philip Morrison (BOOK EDITOR)
John Rennie, Philip E. Ross,
Ricki L. Rusting, Russel Ruthen,
Paul Wallich, Karen Wright

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR

Richard Sasso
VICE-PRESIDENT
PRODUCTION AND DISTRIBUTION

SCIENTIFIC AMERICAN, INC.

Claus-Gerhard Firchow
PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER

Georg-Dieter von Holtzbrinck
CHAIRMAN OF THE BOARD

Gerard Piel
CHAIRMAN EMERITUS

© 1990 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, А. В. Белых

ЛИТЕРАТУРНЫЙ РЕДАКТОР
О. В. Мошкова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. К. Аносов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
Л. И. Желуховцева

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОАБОРА
В. С. Галкин

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
А. В. Лыткина

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», 1990

На обложке



СВЕРХТЕКУЧИЕ СОСТОЯНИЯ ^3He

На обложке изображено вращение сверхтекучего гелия в контейнере. Законы квантовой механики «запрещают» вращение этой жидкости как целого — вместо этого на ее поверхности появляется «решетка» из миниатюрных вихрей. Редкий изотоп ^3He , который становится сверхтекучим только при температурах порядка милликельвина, образует четыре типа таких вихрей (см. ст. Олли В. Лоунасмаа и Джорджа Пиккетта «Сверхтекучие состояния ^3He » на с. 52).

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: George V. Kelvin

СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
7	Roussel-Uclaf Molecular Modeling Department		University of Rhode Island, and Suzanne M. Carbotte		History (<i>вверху и в середине</i>); Patricia J. Wynne (<i>внизу</i>)
8	Edward Bell	38	Ian Worpole	48	David B. Grobecker
9—11	Carol Donner	39	Laura J. Perram	49	Theodore W. Pietsch
12	Edward Bell	40	Ian Worpole (<i>вверху</i>), Laura J. Perram, Daniel S. Scheirer and Marie-Helene Cormier, University of California, Santa Barbara (<i>внизу</i>)	50—51	Patricia J. Wynne
15	Hank Iken			53—57	Joe Lertola
16	U.S. Naval Observatory (<i>слева</i>), Gabor Kiss (<i>справа</i>)			61—61	Thomas C. Moore
17—20	Gabor Kiss			62—63	U.S. Department of Agriculture Soil Conservation Service
21	Gabor Kiss (<i>вверху и внизу слева</i>), Mark V. Sykes, Steward Observatory University of Arizona (<i>внизу справа</i>)	41	Ian Worpole	64—65	USDA Agricultural Research Service
		44—45	© Scott Johnson, Animals Animals	66	Johnny Johnson
		46	Allan Hancock- Foundation, Hancock Library of Biology and Oceanography, University of Southern California (<i>вверху слева и в середине; внизу в середине и справа</i>), Museum of Victoria, Melbourne (<i>вверху справа</i>), British Museum of Natural History (<i>внизу слева</i>)	69	Portrait of Heinrich Hertz, Burndy Library
25	Russell C. Hansen			70	Andrew Christie (<i>вверху</i>), Steven Homer/First Light (<i>внизу</i>)
26—31	Patricia J. Wynne			71	Andrew Christie
34—35	Stephen P. Miller, Daniel S. Scheirer, Charles M. Weiland, Suzanne M. Carbotte and Laura J. Parram, Stacey A. Tighe,			72	AIP Niels Bohr Library
36	Ian Worpole			73	Paul J. Nahin
37	Nancy R. Grindlay,	47	British Museum of Natural	76—78	Michael Goodman

Об авторах

André Ulmann, Georges Teutsch, Daniel Philibert "RU 486" (АНДРЕ УЛЬМАНН, ЖОРЖ ТЁТШ, ДАНИЕЛЬ ФИЛИБЕР "Препарат RU 486") — сотрудники фирмы Roussel-Uclaf в Ромэнвилле (Франция). Ульманн — нефролог и эндокринолог, руководитель медицинской части; возглавлял клинические испытания RU 486. Тётш — химик, руководит эндокринологическими исследованиями; занимается в основном синтезом стероидов и пептидов, а также получением новых антибиотиков. Филибер — физик и фармаколог, отвечает за изучение эффектов на уровне клетки и организма RU 486 и других стероидных препаратов.

Richard P. Binzel "Pluto" (РИЧАРД П. БИНЦЕЛЬ "Плутон") — доцент планетологии и геофизики Массачусетского технологического института. Степень доктора философии в области астрономии получил в Техасском университете в Остине в 1986 г. Первую научную работу опубликовал в 15-летнем возрасте и с тех пор активно занимается астрономическими исследованиями. Бинцель ведет также наблюдения и теоретические исследования структуры, поведения и эволюции астероидов. Автор и главный редактор книги "Астероиды II", опубликованной недавно издательством Аризонского университета.

Nobuo Suga "Biosonar and Neural Computation in Bats" (НОБУО СУГА "Биолокатор с вычислительным нейронным устройством в мозге у летучих мышей") родился в Японии и учился в Токийском городском университете, где в 1958 г. получил степень бакалавра и в 1963 г. степень доктора философии в области биологии. После этого стал научным сотрудником в Гарвардском университете; там он и занялся изучением летучих мышей вместе с Дональдом Р. Гриффином. С 1976 г. работает в Университете Вашингтона в Сент-Луисе (шт. Миссури); в настоящее время профессор биологии.

Kenneth C. Macdonald, Paul J. Fox "The Mid-Ocean Ridge" (КЕННЕТ К. МАКДОНАЛЬД, ПОЛ ДЖ. ФОКС "Срединно-океанические хребты") работали вместе во многих экспедициях на Восточно-Тихоокеанском поднятии и Срединно-Атлантическом хребте. Макдональд — профессор морской геофизики в Калифорнийском университете в Санта-Барбаре. В 1975 г. получил степень доктора философии

по морской геофизике в Массачусетском технологическом институте и Океанографическом институте в Вудс-Холе. Макдональда влекут в море его научные интересы, хобби (виндсерфинг) и жена Рейчел Хаймон, морской геолог. Фокс — профессор океанографии в Род-Айлендском университете. В 1972 г. получил степень доктора философии по морской геофизике в Колумбийском университете.

Theodore W. Pietsch, David B. Grobeker "Frogfishes" (ТЕОДОР В. ПИТЧ, ДЭВИД Б. ГРОБЕКЕР "Рыбы-клоуны") провели совместно несколько исследований. Питч — профессор-ихтиолог Вашингтонского университета, где работает с 1978 г. Признанием его заслуг в области систематики, поведения и экологии морских рыб явилось избрание его членом Линнеевского общества в Лондоне и членом Калифорнийской академии наук. Степень бакалавра Питч получил в Мичиганском университете, а докторскую степень в Южно-Калифорнийском университете. Гробекер в настоящее время является директором Тихоокеанского фонда научных исследований в Каилуа-Кона (Гавайи). До этого он был аспирантом Питча в Сизтле. Степень бакалавра получил в Калифорнийском университете в Лонг-Бич, степень доктора ему присвоена в Вашингтонском университете.

Olli V. Lounasmaa, George Pickett "The ^3He Superfluids" (ОЛЛИ В. ЛОУНАСМАА, ДЖОРДЖ ПИККЕТТ "Сверхтекучие состояния ^3He ") изучают поведение веществ при температурах порядка милли- и микрокельвинов. Лоунамаа — профессор Академии Финляндии и директор Лаборатории низких температур Хельсинкского технологического университета. Его научные интересы включают криогенику, физику сверхнизких температур и магнетозцефалографию (исследования магнитных полей мозга с помощью очень чувствительных датчиков). Пиккетт — профессор физики низких температур Университета Ланкастера, где работает в области физики конденсированного состояния и разработки техники для проведения экспериментов вблизи абсолютного нуля. В 1979 г. со своими коллегами Т. Гейно и Я. Миллером он основал Ланкастерскую группу.

John P. Reganold, Robert I. Papendick, James F. Parr "Sustainable Agriculture"

(ДЖОН П. РЕЙГАНОЛЬД, РОБЕРТ И. ПАПЕНДИК, ДЖЕЙМС Ф. ПАРР "Сбалансированное сельское хозяйство") — ученые-почвоведы, которые в течение многих лет занимаются вопросами сбалансированного сельского хозяйства и органического земледелия. Рейганольд преподает в Университете шт. Вашингтон введение в почвоведение, способы защиты и обработки почвы; он провел несколько сравнительных исследований по использованию традиционных и органических способов ведения сельского хозяйства. Папендик является начальником Отдела по изучению способов обработки и ухода за почвой и охраны водных ресурсов Службы сельскохозяйственных исследований министерства сельского хозяйства США в Пулмене (шт. Вашингтон). Он был руководителем и координатором исследований, результаты которых изложены в докладе "Сообщения и рекомендации по "органическому" сельскому хозяйству", опубликованному в 1980 г. Парр является руководителем программы по повышению плодородия почв Службы сельскохозяйственных исследований в Белтсвилле (шт. Мэриленд), авторитетным специалистом по использованию растительных остатков и охране водных ресурсов.

Paul J. Nahin "Oliver Heaviside" (ПОЛ ДЖ. НАХИН "Оливер Хевисайд") — ассистент кафедры электротехники Нью-Гэмпширского университета в Дареме, автор книги *Oliver Heaviside: Sage in Solitude*. Получил степень бакалавра наук в Станфордском университете и степень магистра наук — в Калифорнийском технологическом институте. После 8 лет работы в аэрокосмической промышленности возобновил свои исследования по электротехнике в Калифорнийском университете в Ирвине, который в 1972 г. присудил ему степень доктора. Затем занимался научной работой в Исследовательской лаборатории ВМС США в Вашингтоне (округ Колумбия) и работал в Исследовательском институте по вопросам обороны, Исследовательском центре ВМС, Колледже Гарви Мадда и Школе аспирантов ВМС. Работает в Нью-Гэмпширском университете с 1975 г. Нахин опубликовал более 20 научно-фантастических рассказов и имеет кота по имени Хевисайд.

Ralph Gomory "Essay" (РАЛФ ГОМОРИ "Эссе") — президент фонда Альфреда П. Слоана. В 1989 г. ушел на пенсию с должности старшего вице-президента по науке и технике в корпорации IBM.

50 и 100 лет назад



ИЮНЬ 1940 г. «Представьте себе сосновый бор, шепчущиеся между собой величественные деревья — источник строительной древесины. Нашествие жуков-короедов — и через несколько недель многие деревья мертвы; в отдельных местах лес станет прозрачным, безжизненным призраком. Сосновые жуки-короеды не иноземные враги, которые незаметно пробираются в наши леса. Эти насекомые время от времени приносят опустошение в лесные массивы, полностью восстанавливающиеся лишь через 150 лет. Таковы законы Природы. Разрушение больших деревьев в самом расцвете может быть и соответствует им, но не соответствует планам людей; они не могут 150 лет ждать естественного исправления ущерба, наносимого природными вредителями».

«Обычный человек знает, что рентген — это медицинское средство. За последние 4 года рентген нашел себе еще одно применение, на этот раз в пищевой промышленности. Изготовители и упаковщики пищевых продуктов в последние годы сумели создать различные экраны, фильтры, магнитные сепараторы, применили фотоэлементы для удаления посторонних предметов из всех видов пищевой продукции. Но оказалось, что в некоторых отношениях флюороскопическое наблюдение является лучшим из всех. Рентген позволяет не только обнаруживать примеси; в одном случае три флюороскопа общей стоимостью 10 тыс. долл. сэкономили 60 тыс., когда специалисты обнаружили, что апельсины из большой партии, запланированной к уничтожению, оказались неповрежденными при замораживании».

«Сравнительно недавно применяющийся анализ пыльцы растений не так известен и не так хорошо разработан, как анализ древесных колец. Однако он обещает дополнить наши познания в области изучения изменений климата. Анализ образцов торфа, содержащего пыльцу различных видов деревьев, составляющих соседние леса со времени образования болота, позволяет проследить их историю. Несмотря на кажущуюся хрупкость, пыльца обладает исключительно прочной внешней оболоч-

кой. Эта оболочка у разной пыльцы имеет характерные особенности: бесформенная, дырявая, пересеченная полосами, с шипами, как у морского ежа. Пыльца лесных деревьев легко подразделяется на роды, а иногда даже на виды».

«В наши ужасные времена мы должны волей-неволей быть заинтересованы в таком пилотажном искусстве, как бомбометание с пикирования. Нападение Германии на Польшу продемонстрировало значимость этого метода при отражении танковых атак, и для поддержки пехоты. Пикирование позволяет увеличить вертикальную скорость бомбы, и ее пробивная способность становится такой же, как у снаряда, сброшенного с большой высоты при горизонтальном полете. По этой причине, несмотря на то что пикирующий бомбардировщик на малых высотах уязвим для зенитного огня, этот вид бомбометания, должно быть, станет одним из наиболее сильных методов воздушных атак.

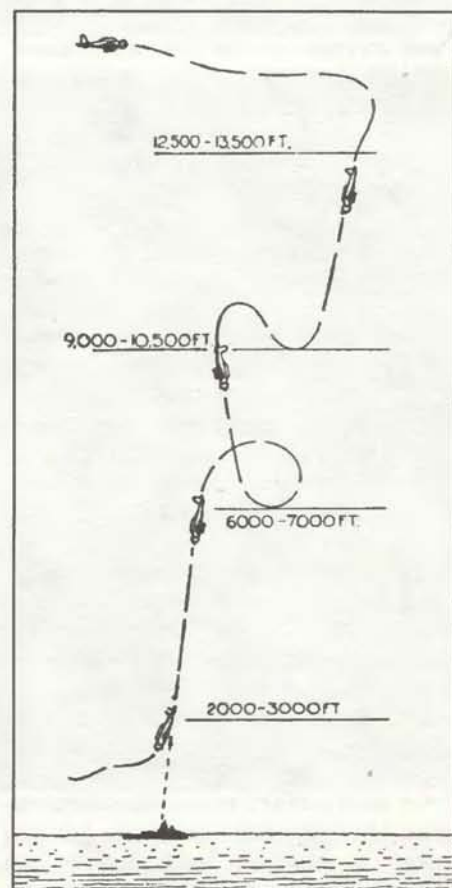


ИЮНЬ 1890 г. «Профессор С. П. Лэнгли исследовал природу света, испускаемого жуком-светляком, с помощью спектроскопа. Он обнаружил, что свет, в основном из зеленой части спектра, имеет чрезвычайно узкий диапазон преломляемости — от линии F до линии C — с максимумом в зеленой части и, таким образом, практически не несет тепловой энергии. Количество выделяемой теплоты, как отмечено при помощи удивительно чувствительного «болоскопа» профессора Лэнгли, составляет менее 0,5% той теплоты, которую выделяет свеча или другие обычные источники света».

«Посетители Британского музея часто с трудом осваиваются на месте. Час, проведенный в залах музея, неизменно вызывает у впервые посетившего его головную боль. Это недомогание, по утверждению некоторых, вызывается специфическим запахом, образующимся при хранении большого количества книг. Вы можете получить некоторое представление об этом запахе, если подойдете к своему книжному шкафу, который в течение 24 часов был закрыт, и откроете одну дверцу; немедленно ваши органы обоняния почувствуют самый затхлый запах,

какой только можно себе представить. Библиоманы открыто признают, что любят этот «аромат», и многие заявляют, что не могут считать ценной книгу, если она не издает этого безошибочно определяемого и неискоренимого запаха, которым она заражается, как только пересечет море в трюме корабля».

«Чудеса современного производства не ограничиваются только ископаемыми, добываемыми из недр земли, или органической жизнью, которая процветает на ее поверхности. Человеческая изобретательность усовершенствовала искусство переработки отходов, и таким образом остатки предыдущей деятельности представляют собой материал, над которым трудятся новые рабочие. Шлак из доменных печей в течение многих лет вываливали в овраги и на пустыри, теперь его извлекают оттуда, в отдельных случаях переплавляют, перерабатывают в асбест или используют в дорожных покрытиях. Оконные рамы и двери делаются из отходов древесины, пыль и грязь превращаются в разнообразные строительные материалы, а между тем отходы газоперерабатывающих заводов более дорогостоящие, чем исходное сырье».



Искусство бомбардировки с пикирования

Препарат RU 486

Это лекарство в настоящее время используется для прерывания нежелательной беременности.

Однако создавался препарат с иной целью, и применение его может быть разнообразным

АНДРЕ УЛЬМАНН, ЖОРЖ ТЁТШ, ДАНИЕЛЬ ФИЛИБЕР

В 1980 г. один из наших коллег синтезировал соединение, у которого обнаружилось неожиданное свойство. По химической структуре оно напоминало гормон прогестерон и, подобно прогестерону, прочно связывалось с клеточными рецепторами прогестерона. Однако, вместо того чтобы вызывать свойственные этому гормону эффекты, новое соединение их блокировало. Поскольку прогестерон играет решающую роль в сохранении беременности, такое свойство открывало возможность использовать полученное вещество в качестве средства для прерывания беременности.

Этот препарат, обозначаемый RU 486 (по названию выпускающей его фирмы Roussel-Uclaf), продается сейчас во Франции и является предметом дискуссий во всем мире. Всеобщий интерес — как положительный, так и отрицательный (со стороны противников-абортов) — сосредоточен на использовании RU 486 для намеренного прерывания беременности на ранних сроках.

Под названием мифепристон RU 486 применяется в таблетках в комбинации с небольшими дозами простагландина, который увеличивает интенсивность маточных сокращений, необходимых для изгнания плода. Во Франции эта комбинация препаратов разрешена для прерывания беременности на сроках до 49 дней (считая от первого дня последнего менструального цикла) и 25—30% женщин, решивших прервать беременность на ранних сроках, сейчас отдают предпочтение этому «химическому» способу, а не стандартным хирургическим методам.

Вероятно, в ближайшие годы препаратом RU 486 можно будет пользоваться с этой целью и в других странах. Фирма-производитель предполагает найти сбыт его в Великобритании, Нидерландах и Швеции, где уже собраны данные, требующиеся для получения разрешения. Кроме того, этот препарат может пригодиться также для иных целей, помимо конт-

роля рождаемости: он имеет ряд возможных терапевтических применений, включая лечение некоторых раковых заболеваний.

ПРИ ПОЛУЧЕНИИ RU 486 не преследовалась цель создать средство прерывания беременности. Тем не менее к тому времени, когда он был синтезирован, события в социальной и научной сферах подготовили почву для такого его применения. Международные организации призывали к введению в практику новых способов контроля рождаемости в надежде, что упрощенные или как-то иначе усовершенствованные методы помогут стабилизировать глобальные демографические процессы, обусловленные огромным ростом населения в развивающихся странах. Увеличение численности человечества может привести в будущем к нехватке пищи, воды и других ресурсов и таким образом ставит под угрозу благополучие людей и даже само их существование.

Среди желательных подходов к овладению демографической ситуацией назывались новые способы прерывания беременности. Для многих женщин в развивающихся и в меньшей степени в развитых странах основным способом контроля рождаемости является прерывание беременности. Несмотря на безопасность и эффективность разрешенных хирургических методов, они обладают рядом известных недостатков. В первые 3 месяца беременности обычно применяется вакуум-экстракция (иногда этой процедуре предшествует расширение шейки матки). При этом плодное яйцо и ткани эндометрия, с которым оно связано, удаляются путем отсасывания. На более поздних сроках беременности, как правило, требуются более сложные операции. По мере развития беременности возрастает опасность кровотечения, инфекции, а впоследствии спаек, нарушения репродуктивных функций. В развивающихся странах, где хирургическое оборудование часто не отвечает соот-

ветствующим требованиям, опасность еще больше; из-за отсутствия должных условий и оборудования аборт нередко является причиной смерти, обычно в результате сильного кровотечения или инфекции.

Исследования стероидных гормонов (один из них — прогестерон) указывали на возможность неинвазивных и потенциально более безопасных способов прерывания беременности. Альтернативой хирургическому вмешательству мог бы стать медикаментозный подход, если бы удалось создать препарат, обладающий специфическим антипрогестероновым действием (как RU 486), который вводится в организм путем инъекций или в виде таблеток.

Эта идея возникла на основе независимой работы, проделанной в 1960—1970-х гг. Э. Джензенем из Чикагского университета, Э.-Э.Болье из Института медицинских исследований INSERM (Франция) и Б. О. Мэлли из Медицинского колледжа Бэйлора в Хьюстоне (шт. Техас), которые открыли главный механизм индукции синтеза белков в клетке под действием стероидных гормонов. К этим гормонам, предшественником которых является холестерол, относятся прогестины (прогестерон и подобные ему соединения), эстрогены (эстрадиол и др.), андрогены (например, тестостерон), глюкокортикоиды (кортизон и др.), а также минералокортикоиды (в том числе альдостерон).

Эти исследователи показали, что стероиды в отличие от большинства других гормонов проникают внутрь клеток-мишеней и связываются с рецепторами в клеточном ядре. Образовавшиеся комплексы, состоящие из молекулы гормона (лиганда) и его активированного рецептора, далее присоединяются к хроматину (комплексу ядерной ДНК с белками) и таким образом инициируют транскрипцию определенных генов, т. е. образование информационных РНК (мРНК), служащих матрицами для синтеза белков, кодируемых этими генами. Так как индуцируемый прогестероном синтез

белков в матке необходим для сохранения беременности, было ясно, что если найти соединение, способное связываться с рецепторами прогестерона, но не оказывать соответствующего действия, тем самым будет открыт эффективный и избирательный способ прерывания беременности.

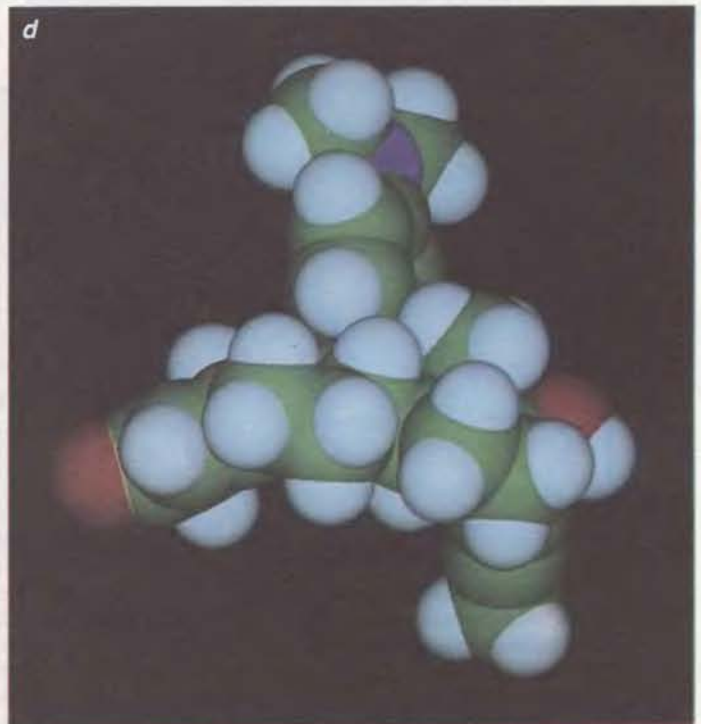
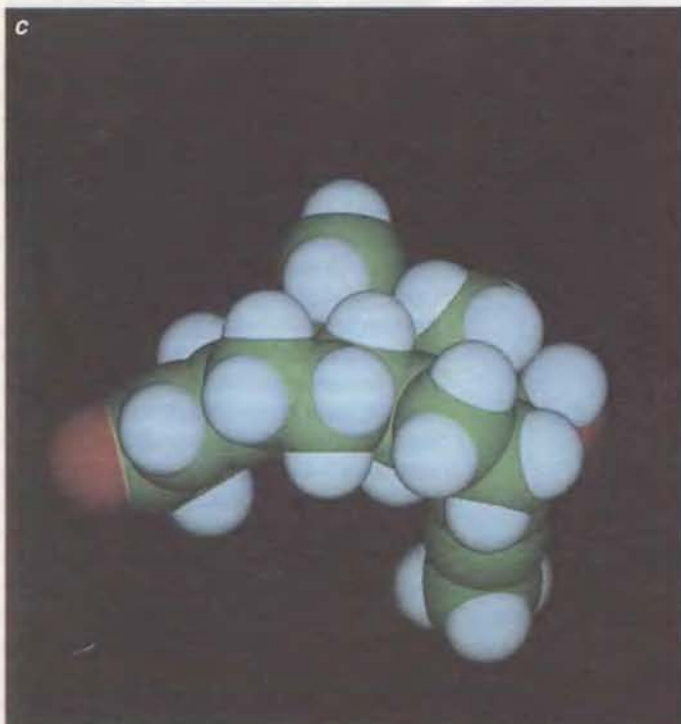
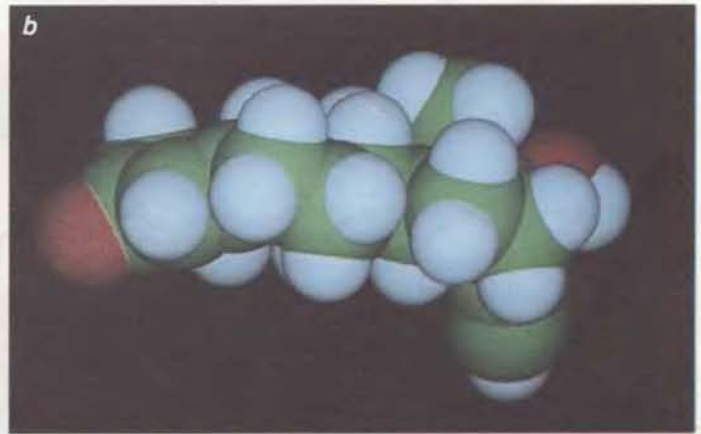
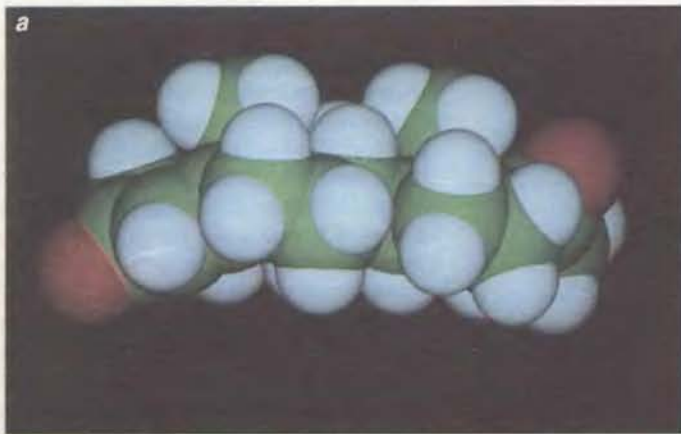
ПРЕДПОЛАГАЛОСЬ, что антагонист прогестерона будет предотвращать имплантацию оплодотворенного яйца или же вызывать отторжение плодного яйца из стенки матки в зависимости от того, на каком сроке беременности он вводится в организм. Детали того, каким образом могут быть вызваны эти эффекты, можно представить себе, рассмотрев процесс менструального цикла и беременности.

В первой половине менструального цикла под действием эстрогенов и других гормонов развивается единственный фолликул (яйцеклетка с окружающими ее клетками), а также происходит пролиферация клеток эндометрия (слизистой оболочки матки). После овуляции во второй половине цикла оставшаяся часть фолликула превращается в желтое тело, являющееся временной железой, секретирующей прогестерон.

Под влиянием прогестерона разрастающийся эндометрий превращается в ткань, способную к имплантации и обеспечению жизнедеятельности развивающегося плодного яйца: повышается его секреторная активность, образуются новые кровеносные сосуды, в клетках синтезируется и запасается гликоген. Прогестерон также

вызывает расслабление мышц матки, предотвращая сокращения, которые могут привести к изгнанию плодного яйца, а в дальнейшем он укрепляет мышцы шейки матки и препятствует ее расширению, что исключает опасность самопроизвольного аборта. Последние эффекты частично обусловлены способностью прогестерона подавлять секрецию простагландинов маткой.

Если произошло оплодотворение яйца, то примерно через 6 суток начинается его имплантация. Вскоре из трофобласта (наружного слоя клеток зародышевого пузырька, при помощи которого эмбрион первоначально получает питание от стенки матки) поступает сигнал желтому телу продолжать секрецию прогестерона до тех пор, пока плацента полностью не



ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА молекулы прогестерона (a) и трех его производных. Два из них, норетиндрон (b) и RU 42764 (c), имитируют активности этого гормона, необходимые для сохранения беременности. RU 486 (d) является антагонистом прогестерона; причиной такого его

свойства, по-видимому, является громоздкий «выступ» над основной плоскостью молекулы. (На этих компьютерных изображениях атомы углерода — *зеленые*, водорода — *голубые*, кислорода — *красные*, азота — *фиолетовые*.)

сформируется, что достигается примерно через 8 недель беременности. Если же оплодотворения не было, приблизительно через 12 суток начинается дегенерация желтого тела и к концу менструального цикла падение концентрации прогестерона приводит к удалению всего, кроме постоянного основного слоя эндометрия, что сопровождается маточным кровотече-

нием, т. е. цикл начинается сначала.

Можно ожидать, что введение антагониста прогестерона до имплантации будет предотвращать те изменения эндометрия, которые необходимы для этого. Если же препарат вводится после имплантации, должно происходить отторжение плодного яйца. Блокирование секреторной активности эндометрия послужит нача-

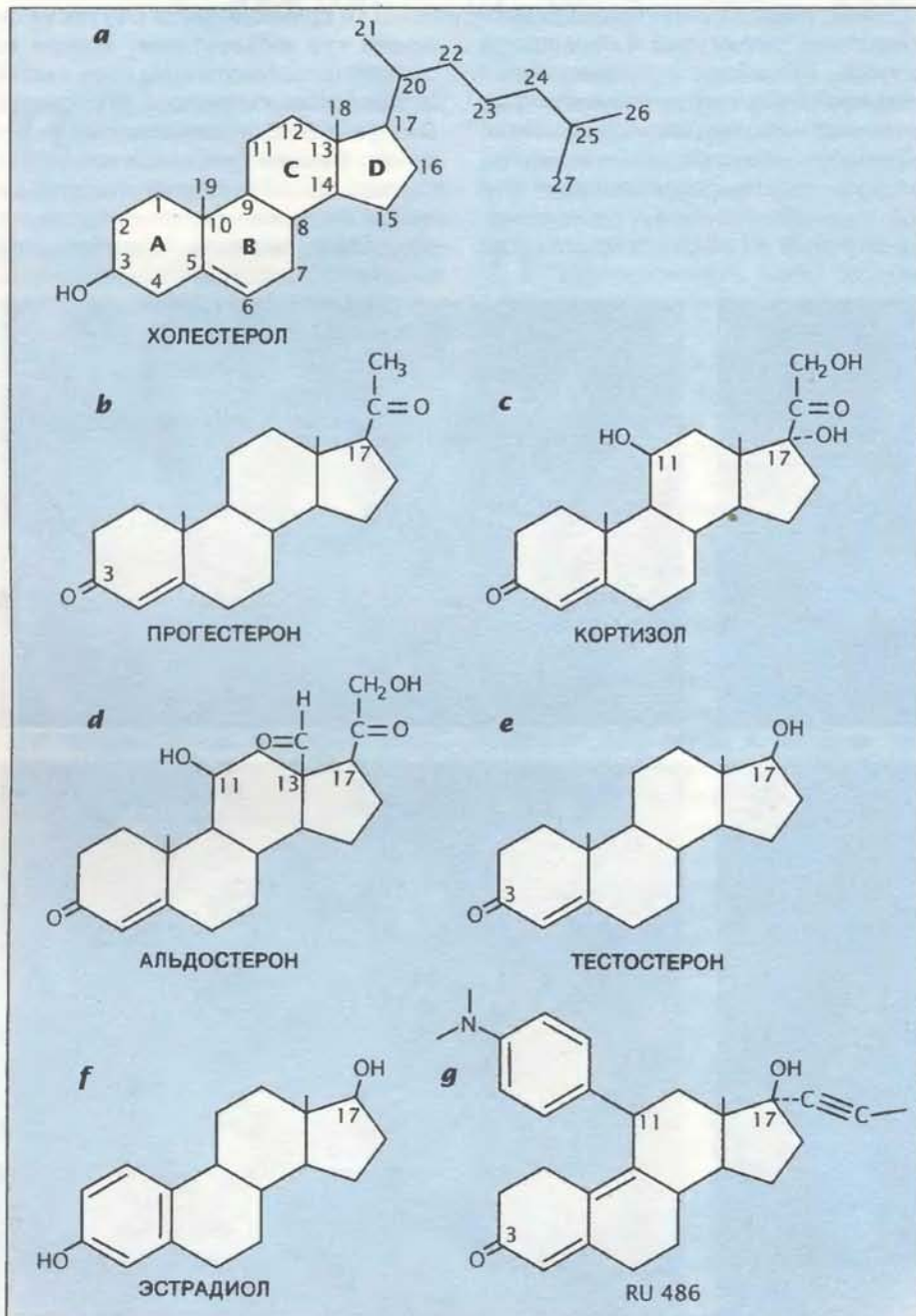
лом его дегенеративных изменений. Это приведет к отторжению развивающейся плаценты и плодного яйца. Затем начнется дегенерация желтого тела, в результате чего значительно уменьшится секреция прогестерона, что будет способствовать дальнейшим дегенеративным изменениям эндометрия. В то же время из-за снижения уровня прогестерона усилятся маточные сокращения, расслабится и расширится шейка матки. В конце концов произойдет изгнание эмбриона.

Несмотря на такие предсказания относительно действия гипотетического препарата и годы исследований, которые велись главным образом в Национальных институтах здоровья США, ни одного соединения, реально претендующего на роль антагониста прогестерона, не предлагалось вплоть до того момента, как в 1980 г. был синтезирован RU 486. По иронии судьбы тогда в Roussel-Uclaf не занимались активными поисками антагониста прогестерона.

ИСТОРИЯ открытия RU 486 начинается несколько раньше, в 1975 г. Один из авторов этой статьи, а именно Тётц, изучал влияние небольших химических модификаций на способность стероидов к связыванию и активации соответствующих рецепторов. В ходе своих исследований он разработал метод получения синтетических производных стероидов. А. Беланже, работавший с нами после защиты докторской диссертации, синтезировал эти новые вещества.

В соответствии с установленным порядком, каждое соединение ряда стероидов, синтезированное в фирме Roussel-Uclaf, должно было проверяться фармакологически — это было первым этапом выяснения возможных эффектов нового вещества в организме. Основываясь на предположении, что молекула, способная связываться с рецептором, может активировать рецептор или же блокировать его функционирование, фармакологи определили средство ряда синтезированных соединений к рецепторам для каждого из 5 классов стероидов. Группой исследователей под руководством Р. Дерэ было обнаружено, что некоторые из новых веществ чрезвычайно прочно связывались с рецептором прогестерона, другие — с рецептором глюкокортикоидов, а третьи — с обоими.

Во многих случаях стероидная молекула, прочно связывающаяся с рецептором, является агонистом природного лиганда, т. е. вызывает те же эффекты. В связи с этим Тётц решил выяснить, так ли ведут себя новые синтетические соединения. Будучи ответствен-



СТЕРОИДЫ являются производными холестерина (a). Стероидные гормоны подразделяют на несколько классов: прогестины (b), глюкокортикоиды (c), минералокортикоиды (d), андрогены (e) и эстрогены (f); представители разных классов структурно сходны между собой. Благодаря такому сходству синтетические стероиды иногда способны связываться с более чем одним типом рецепторов стероидов. Например RU 486 (g), будучи производным прогестерона, прочно связывается с рецепторами как прогестинов, так и глюкокортикоидов. Это соединение представляет собой замещенный в 11-м положении 19-норстероид: при углеродном атоме в 11-м положении имеется группировка, отсутствующая в прогестероне, а в 19-м положении нет метильной группы. (Здесь приведена стандартная нумерация атомов углерода в молекуле холестерина.)

ным, помимо всего прочего, за исследования, касающиеся глюкокортикоидов, он попросил фармакологов проверить активность вещества, обозначенного RU 25055, которое обладало очень высоким сродством к рецептору глюкокортикоидов.

Но соединение RU 25055 не проявило ожидаемых свойств. При добавлении его к клеткам, в норме реагирующим на глюкокортикоиды, не наблюдалось сколько-нибудь заметной глюкокортикоидной активности, в частности эффекта сжатия клеток тимуса. Это позволяло предположить, что данное вещество на самом деле является антагонистом глюкокортикоидов. Способное прочно связываться с рецептором глюкокортикоидов, но не вызывающее соответствующих эффектов, RU 25055 могло бы, вероятно, предотвращать эти эффекты или ослаблять их.

После этого открытия Тётш и его коллеги изменили свое представление о соотношении между сродством к рецепторам и активностью соединений исследуемой серии. Теперь они полагали, что соединения с наибольшим сродством к рецептору глюкокортикоидов должны быть сильнейшими их антагонистами, а не агонистами. Это была очень важная идея, так как препарат, обладающий антагонистическим действием, можно использовать в различных терапевтических целях. Например, антагонист глюкокортикоидов мог бы ускорять заживление ожогов или других поврежденных кожи, противодействуя глюкокортикоидам, которые замедляют заживление раны.

К концу 1979 г. сотрудник Roussel-Uclaf Э. Сакиц разработал официальный проект дальнейших исследований с целью создания антагонистов глюкокортикоидов. В осуществлении этого проекта приняли участие мы и другие сотрудники компании, а также приглашенные в качестве научных консультантов Д. Бартон (лауреат Нобелевской премии по химии за 1969 г.) и Э.-Э. Болье, признанный авторитет в области изучения стероидов. Один из нас, а именно Филибер, координировал проект и курировал исследования биологической активности.

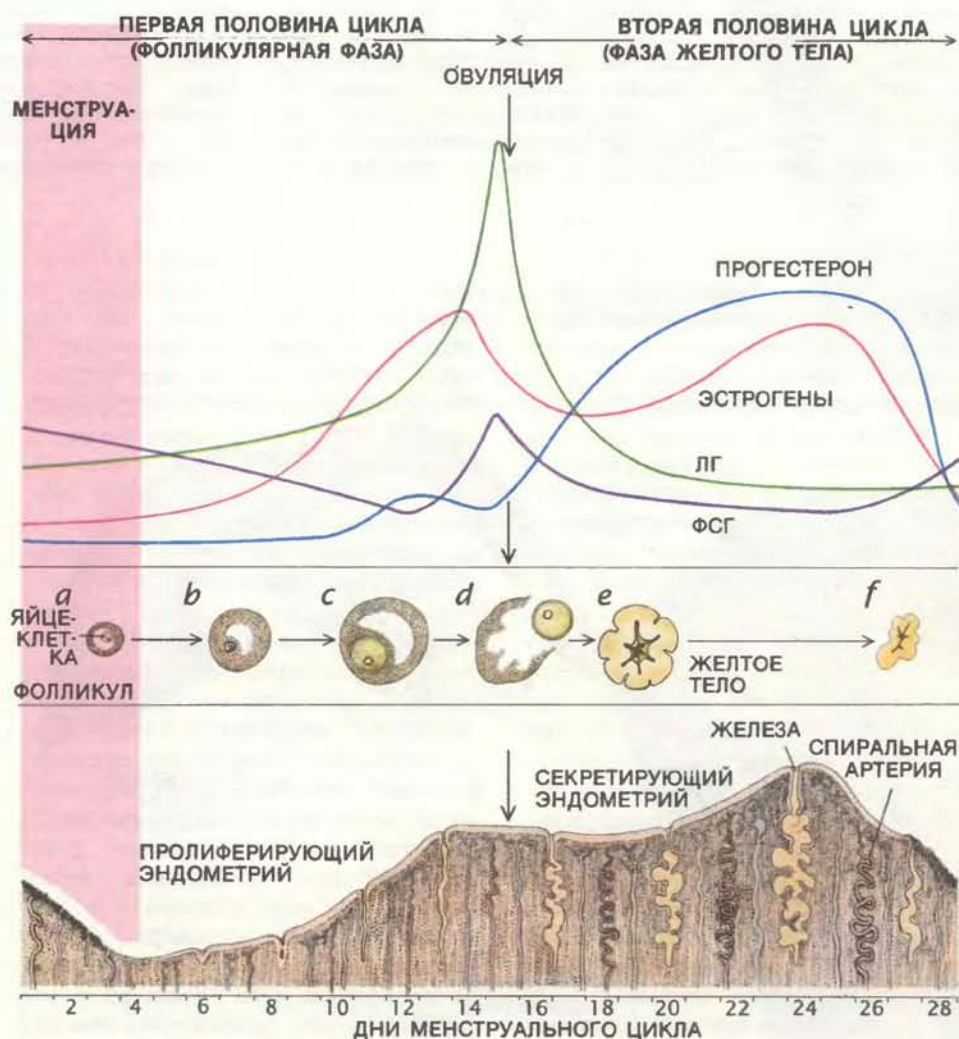
В апреле 1980 г. в рамках нового проекта были последовательно получены и направлены на испытания три синтетических соединения: RU 38140, RU 38473 и RU 38486 (последний позже стали обозначать кратко RU 486). Все они характеризовались высоким сродством к рецептору глюкокортикоидов и препятствовали определенным эффектам этих гормонов в культурах клеток. Из них сильнейшим антагонистом было RU 486, что прояв-

лялось, например, в наиболее эффективном блокировании действия мощного синтетического глюкокортикоида дексаметазона.

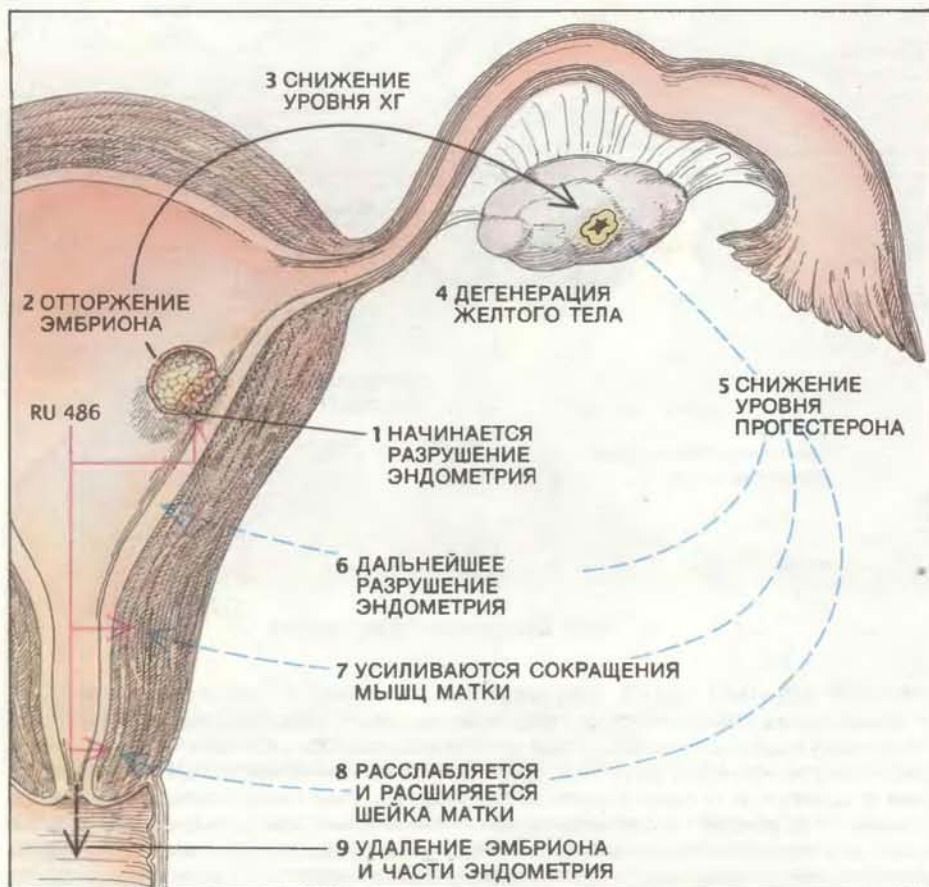
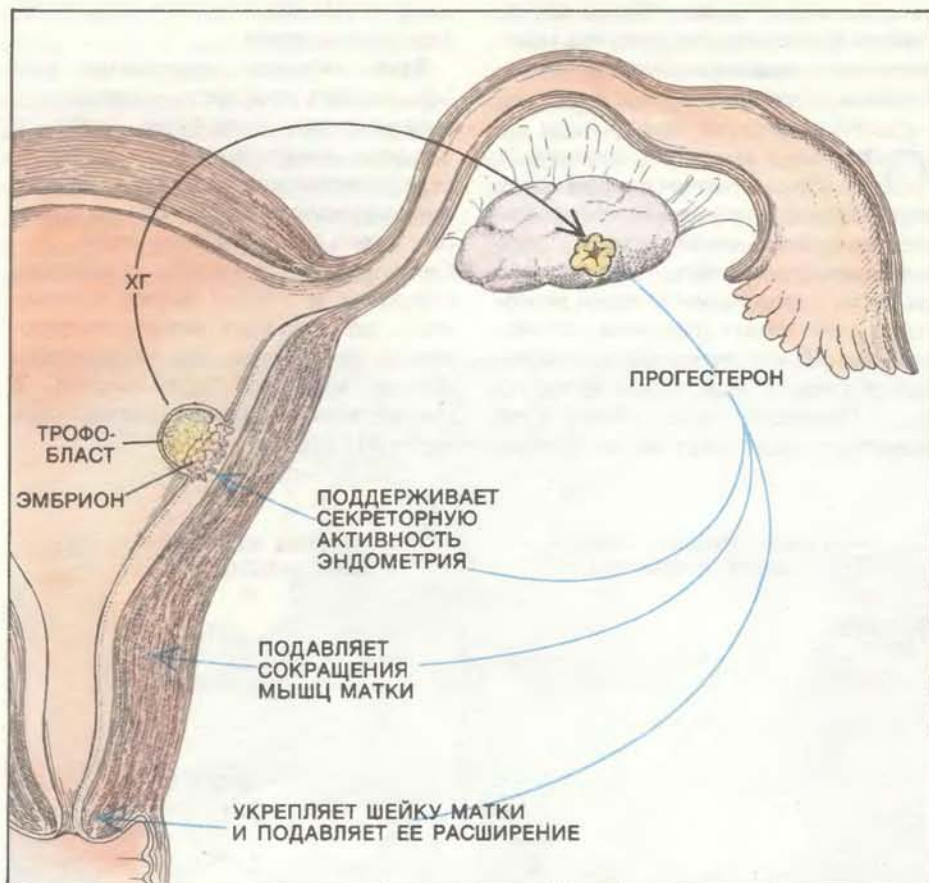
ОДНАКО высокая активность RU 486 как антагониста глюкокортикоидов оказалась не единственным выдающимся свойством этого соединения. Филибер, изучив его сродство к различным классам рецепторов стероидных гормонов, установил, что RU 486 очень прочно связывается также с рецептором прогестерона. Предварительная проверка на животных нескольких видов показа-

ла, что RU 486 является антагонистом прогестерона.

Таким образом, неожиданно удалось создать препарат — антагонист прогестерона, появления которого так долго ожидали ученые и клиницисты, занимающиеся проблемами контроля рождаемости. Болье, который сам давно интересовался этим, особенно оценил важность сделанного открытия и убедил фирму продолжить исследования антипрогестероновых препаратов как химического метода контроля фертильности. В связи с этим началась серьезная проверка RU 486.



МЕНСТРУАЛЬНЫЙ ЦИКЛ регулируется несколькими гормонами (вверху). В конце цикла передняя доля гипофиза начинает секретировать фолликулостимулирующий гормон (ФСГ), под действием которого в яичнике (в середине) развивается незрелый фолликул (а). В первой половине нового цикла созревающий фолликул (b, c) секретирует эстрогены, которые поддерживают рост фолликула, стимулируют пролиферацию клеток эндометрия (внизу слева) и повышают его чувствительность к прогестерону. В середине цикла выброс другого гипофизарного фактора — лютеинизирующего гормона (ЛГ), вызывает овуляцию (d). Во второй половине цикла остатки фолликула в яичнике становятся желтым телом (e), которое секретирует прогестерон и эстрогены. Прогестерон вызывает превращение эндометрия в секреторную ткань, густо пронизанную кровеносными сосудами (внизу справа), которая способна обеспечить питание имплантировавшейся оплодотворенной яйцеклетки. Если оплодотворения не произошло, желтое тело дегенерирует (f), в результате чего падает уровень прогестерона, происходит деградация эндометрия и удаление этой ткани, что сопровождается кровотечением. Затем цикл повторяется вновь.



RU 486 ПРЕРЫВАЕТ БЕРЕМЕННОСТЬ, выступая антагонистом прогестерона. При нормальном течении беременности (вверху) трофобласт (через эту структуру происходит питание зародыша на ранних стадиях) вырабатывает хорионический гонадотропин (ХГ), благодаря которому сохраняется желтое тело. Оно секретирует прогестерон, который вызывает ряд процессов, обеспечивающих поддержание беременности. Когда действие прогестерона блокируется RU 486 (внизу), деятельность эндометрия нарушается и происходит отторжение эмбриона вместе с поверхностными слоями эндометрия.

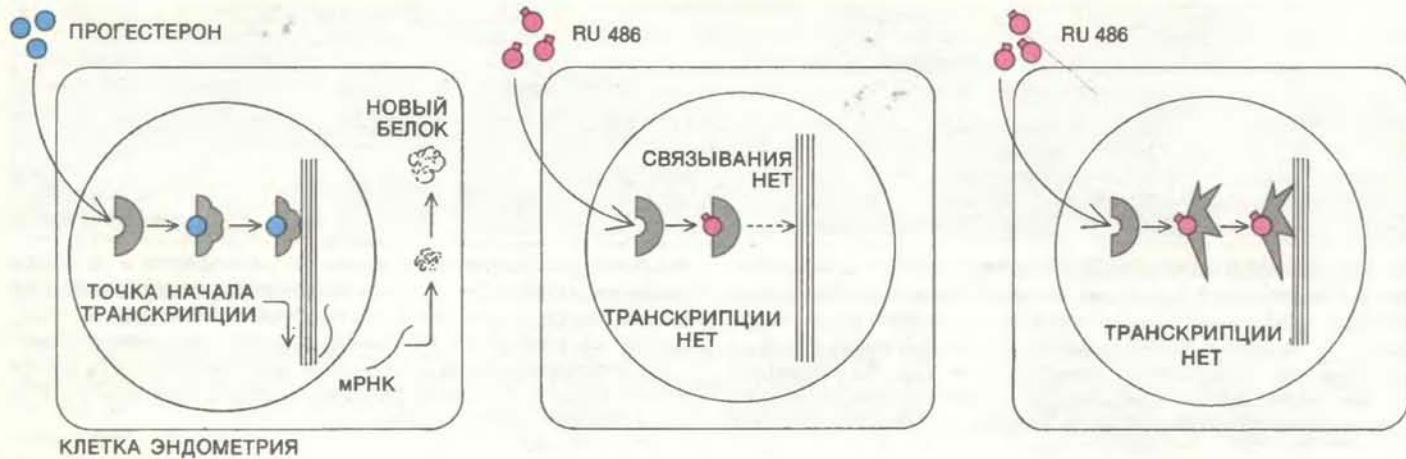
Среди фактов, послуживших аргументом в пользу продолжения этих исследований, было открытие того, что *in vitro* сродство RU 486 к рецептору прогестерона в 3 раза выше, чем у самого прогестерона. Отсюда можно было предположить, что в организме синтетическое соединение «победит» в конкуренции с прогестероном за связывание с рецептором. Эксперименты с культурами клеток подтвердили это предположение, продемонстрировав, что после инкубации клеток — мишеней прогестерона с небольшими количествами RU 486 эффекты гормона блокируются.

Истинной проверкой возможностей соединения как лекарственного средства является изучение его активности *in vivo*. Результаты первоначальных исследований действия RU 486 на животных обнадеживали. В ряде экспериментов изучалось влияние препарата на эндометрий неполовозрелых крольчих. Сначала им вводили эстрадиол (этот эстроген стимулирует рост эндометрия и синтез рецепторов прогестерона в клетках). Затем одни особи получали прогестерон, что вызывало у них превращение растущего эндометрия в секретирующую ткань, а другой группе самок давали RU 486 через рот. Сам по себе RU 486 не вызывал таких изменений. Однако, когда этот препарат вводили вместе с прогестероном, он действительно блокировал способность прогестерона индуцировать переход эндометрия из пролиферирующего состояния в секреторное, как того и следовало ожидать от антагониста гормона.

Наблюдения действия RU 486 *in vivo* были важны, но все еще оставался нерешенным основной вопрос: будет ли результатом его антагонистического эффекта прекращение беременности? Эксперименты на самках крыс и обезьян *Macaca fascicularis* позволили дать положительный ответ.

Первые исследования на обезьянах показали, что у небеременных самок однократный прием RU 486 через рот или путем инъекции во время второй половины менструального цикла вызывал через 48 часов преждевременную менструацию. Впоследствии Г. Ходжен и его коллеги в Медицинской школе Университета Восточной Виргинии показали, что у беременных обезьян с помощью этого препарата можно прервать беременность. В других исследованиях на животных было установлено, что даже в высоких дозах RU 486 не токсичен.

Эти факты давали основания начать клинические испытания, и в октябре 1981 г. Боле предложил своему коллеге У. Херрманну из клиники Женевского университета проверить RU 486 на добровольцах. Результаты



ПРОGESTERON вызывает характерные для него эффекты, действуя внутри клетки (слева). В результате связывания гормона с соответствующим рецептором в ядре клетки изменяется структура последнего и он обретает способность присоединяться к хроматину (комплексу ДНК с белками), что необходимо для начала транскрипции определенного гена, т. е. образования информационной РНК (мРНК), служащей матрицей для синтеза белка, кодируемого данным

геном. RU 486 тоже связывается с рецептором прогестерона, но это не приводит к транскрипции. Возможно, дело в том, что при этом не происходит должного изменения структуры рецептора и он не присоединяется к хроматину (в середине). Не исключено также, что изменение рецептора, индуцируемое RU 486, обеспечивает его взаимодействие с хроматином, но препятствует присоединению каких-то факторов, необходимых для транскрипции (справа).

оказались вполне обнадеживающими: препарат вызвал удаление плодного яйца из матки у 9 из 11 женщин.

ВСКОРЕ под эгидой компании Roussel-Uclaf, Всемирной организации здравоохранения и Совета по проблемам народонаселения (некоммерческой организации в Нью-Йорке) был проведен ряд клинических испытаний. Работы в Roussel-Uclaf возглавил Ульманн.

Первые крупномасштабные исследования, осуществленные в 1985 г., имели целью определить наиболее эффективную схему применения RU 486. Выяснилось, что наилучшие результаты дает однократный прием препарата в дозе 600 мг. В ходе этих исследований были сформулированы необходимые требования к препарату. Применение RU 486 считалось успешным, если удалялось плодное яйцо и все ткани, кроме самого глубокого слоя эндометрия, так что не требовалось никаких хирургических процедур. (При неполном удалении необходимо хирургическое вмешательство — обычно вакуум-экстракция, — так как остатки ткани могут стать причиной инфекции.)

В соответствии с такими требованиями RU 486 сам по себе обеспечивал успех максимум в 80% случаев. Было также установлено, что этот метод можно использовать только на ранних сроках беременности — в течение недели после того, как должна была бы начаться менструация. Поскольку многие женщины проверяют, не беременны ли они, только после недельной задержки цикла, ясно, что применение RU 486 как такового ограничено.

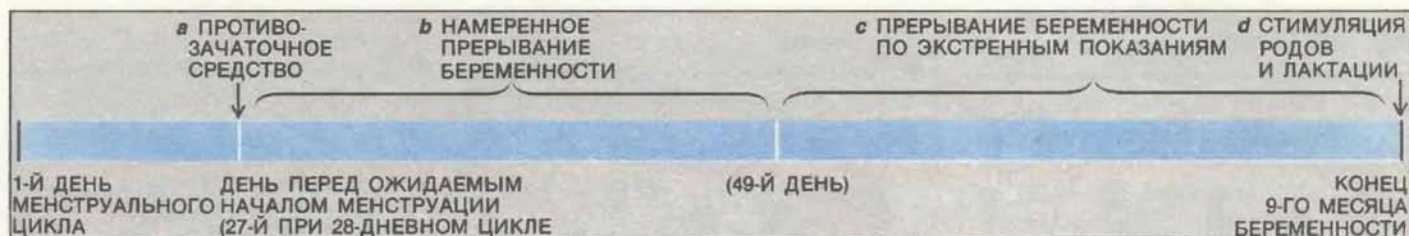
Чем объясняется 20% неудач? Одна из обоснованных гипотез заключается в том, что сам по себе антагонизм с прогестероном не приводит к интенсивным сокращениям матки, необходимым для удаления эмбриона вместе с тканью эндометрия. Стремясь бороться в этой проблеме, М. Бигдеман из Королевского института в Стокгольме, контролировавший клинические испытания, предложил назначать RU 486 вместе с небольшими дозами одного из простагландинов. Ранее им было показано, что RU 486 увеличивает чувствительность мышц матки к простагландинам, которые вызывают ее сокращения. Новые клинические испытания были начаты во Франции, Великобритании, Швеции и Китае для проверки действия препарата, принимаемого по следующей схеме: однократная доза RU 486 в 600 мг с последующим (через 36—48 часов) приемом простагландина. Промежуток времени между введением в организм двух препаратов не должен быть короче, так как требуется время, чтобы RU 486 «подготовил» мышцы матки к действию простагландина. Результаты значительно улучшились: успех достигался в 96% случаев, т. е. примерно так же часто, как при хирургическом способе, который сам по себе не надежен. В ходе исследований проверялся также эффект применения комбинации препаратов на более поздних стадиях беременности — до 3 недель после срока первого не наступившего менструального цикла; при этом доля успешных случаев тоже составляла 96%.

В большинстве случаев плодное яйцо с фрагментами ткани эндометрия удалялось в первые сутки после при-

ема простагландина. При спонтанных аборт (выкидышах), когда беременность прекращается самопроизвольно, изгнание развивающегося эмбриона и слоя эндометрия неизбежно сопровождается маточным кровотечением. В описываемых исследованиях у 4—5% пациенток кровотечение было сильным, как это может быть при естественном выкидыше. Иногда требовалось хирургическое вмешательство, чтобы остановить кровотечение, а в исключительных случаях — переливание крови. Эти результаты говорили о том, что из-за риска кровотечения применять простагландиновый препарат следует в медицинском стационаре, где в течение нескольких часов за состоянием женщины будут вести наблюдение и при необходимости окажут помощь.

В дальнейшем клинические исследования показали, что боль в области брюшной полости, обусловленная сокращающим эффектом простагландина, — обычное явление. Оказалось также, что при той дозе RU 486, которая необходима для прерывания беременности (600 мг), не наблюдаются проявления антагонизма по отношению к глюкокортикоидам. Поэтому можно было не опасаться осложнений из-за того, что RU 486 вызывает такие нежелательные эффекты, связанные с антагонизмом к глюкокортикоидам, как сильная утомляемость и нарушение уровней электролитов и глюкозы в крови.

Как только эти исследования были окончены и проверены, компания Roussel-Uclaf обратилась в государственные здравоохранительные органы Франции за разрешением на производство RU 486 для продажи. Оно было



RU 486 ШИРОКО ПРИМЕНЯЕТСЯ для контроля рождаемости и в акушерстве. Препарат может служить противозачаточным средством типа «таблетки следующего утра», которое принимается после полового сношения, но не сразу, а за день до ожидаемой менструации (а). Во Франции RU 486 назначают в комбинации с простагландином для прерывания беременности на сроках до 49 суток (б). Эту

комбинацию препаратов можно использовать и на более поздних сроках при угрозе жизни матери, нарушениях развития плода или его внутриутробной гибели (в). Исследования на обезьянах показали, что RU 486 способствует своевременным родам (повышая чувствительность матки к окситоцину, стимулирующему родовую деятельность) и стимулирует лактацию (г).

получено 23 сентября 1988 г. Применение препарата находится под контролем действующего во Франции закона, согласно которому процедура прерывания беременности должна проводиться только в медицинских или иных компетентных учреждениях. В отношении RU 486 существует дополнительное ограничение. Хотя закон допускает намеренное прерывание беременности на сроках до 12 недель, использование RU 486 ограничивается сроком в 7 недель по данным официальных клинических испытаний.

С осени 1988 г. уже более 40 тыс. женщин добровольно прервали свою беременность с помощью комбинации RU 486 и простагландина. Согласно опубликованному в марте 1990 г. результатам обследования, охватившего 2115 женщин, в 96% случаев достигался успех, а в 4—5% случаях были тяжелые кровотечения. Это обследование показало также, что в 86% случаев успешного прерывания беременности удаление плодного яйца происходило в пределах 24 часов после введения простагландина.

Кровотечение продолжалось в среднем 9 суток. Но время удаления плодного яйца, продолжительность кровотечения и интенсивность болевых ощущений варьировали в зависимости от дозы простагландина. При высоких дозах изгнание эмбриона происходит быстрее, но сопровождается более продолжительным кровотечением и интенсивной болью.

Помимо данных клинических испытаний имеется опыт медицинской практики. Так, во Франции у двух женщин, получавших RU 486, после приема простагландина наблюдались тяжелые нарушения сердечной деятельности. Такие случаи редки и не смертельны, но указывают на то, что женщинам с заболеваниями сердца или входящим в группу риска по таким заболеваниям (например, много курящим) простагландины следует назначать очень осторожно.

ПРОШЛО 10 лет с тех пор, как был впервые синтезирован RU 486. Препарат начал реализовывать свои возможности как химическое средство прерывания беременности на ранних сроках, но это только одно из многочисленных его применений, связанных с контролем рождаемости и проблемами акушерства.

Теоретически RU 486 можно использовать как противозачаточное средство типа «таблетки следующего утра», но, так сказать, *post factum*, принимая его в конце менструального цикла (при продолжительности цикла 28 дней — на 27-й день). Так как препарат не всегда эффективен в этом качестве, женщина должна обследоваться через 10—15 дней, чтобы убедиться, что она не беременна. По той же причине он не годится в роли обычного противозачаточного средства, применяемого после полового сношения.

RU 486 можно использовать, когда женщина решила прервать беременность на ранних сроках с помощью вакуум-экстракции. Ряд клинических исследований показал, что эта процедура облегчается, если за 36—48 часов до нее пациентка принимает RU 486. Препарат способствует расслаблению и расширению шейки матки.

На более поздних сроках беременности, вплоть до последней трети, комбинация RU 486 и простагландина может служить альтернативой хирургическому вмешательству, когда необходимо прервать беременность из-за серьезных нарушений в развитии плода или угрозы здоровью матери. Установлено, что такой подход эффективен и менее опасен, чем хирургические методы, которые обычно применяются для прерывания беременности по истечении первой ее трети. Комбинация препаратов показана также в случае внутриутробной гибели плода. В таких случаях плод обычно удаляется через естественные родовые пути, и стимуляция этого процесса связана с большими сложностями. Применение

RU 486 в комбинации с простагландином облегчает удаление плода.

Эксперименты на обезьянах свидетельствуют, что RU 486 помогает родам произойти своевременно. Показано, что препарат способствует действию гипофизарного гормона окситоцина, высокие дозы которого часто применяют при вялотекущих родах для стимуляции родовой деятельности. Как обнаружил Ходжен, после приема RU 486 для увеличения частоты маточных сокращений нужно вводить лишь очень небольшое количество окситоцина. Таким образом, применение RU 486 может заменить кесарево сечение. Результаты, полученные Ходженом, указывают также еще на один аспект использования RU 486: по крайней мере у обезьян он инициирует лактацию и увеличивает объем образующегося молока.

Кроме применения, связанного с проблемами акушерства, с помощью RU 486, похоже, возможно лечение злокачественных новообразований, клетки которых несут рецепторы прогестерона, в том числе некоторых случаев рака молочной железы. Исследования *in vitro* показали, что RU 486 замедляет рост опухолей, имеющих такие рецепторы.

Рост некоторых доброкачественных опухолей, клетки которых синтезируют рецепторы прогестерона, также можно было бы контролировать или замедлять RU 486; к числу таких опухолей относятся менингиомы (опухоль мозговых оболочек). В настоящее время ведутся клинические испытания препарата с целью использовать его для лечения злокачественных и доброкачественных опухолей.

И наконец, RU 486 может найти применение как антагонист глюкокортикоидов. Например, сейчас проверяют возможность лечения им синдрома Кушинга — патологического состояния, возникающего в результате перепроизводства кортизона и приводящего к таким симптомам как гипертен-

зия, быстрое ожирение верхней части тела, остеопороз.

Итак, ясно, что RU 486 — антагонист прогестерона, ставший коммерческим лекарственным препаратом,

имеет большие возможности применения помимо контроля рождаемости, где его использование — лишь первый этап в истории этого соединения.

Наука и общество

Смягчить трагедию

ДО СИХ ПОР не было средств сохранить способность к ощущениям и движению после тяжелых повреждений спинного мозга. Теперь же есть по крайней мере одно лекарство и, возможно, оно предвещает разработку более эффективных методов лечения. Многие специалисты высказывают уверенность, что в конце концов появится возможность в каждом конкретном случае в зависимости от специфики травмы и особенностей больного подбирать подходящий препарат или комбинацию нескольких препаратов.

А. Фейден из Калифорнийского университета в Сан-Франциско, изучавший влияние ряда препаратов при травмах мозга и позвоночника, считает, что лет через десять у врачей будет выбор средств, рассчитанных на различные локализацию и степень повреждения, а также продолжительность времени между моментом травмы и оказанием медицинской помощи.

Вера в возможность помощи больным с травмами спинного мозга до сих пор имела мало оснований. За последние годы некоторые исследователи пришли к выводу, что паралич является результатом не только непосредственного повреждения нервных структур, но и биохимических процессов, развивающихся в организме в ответ на травму. Предполагается, что волна этих вторичных процессов распространяется из серого вещества, занимающего «сердцевину» спинного мозга, в окружающее его белое вещество, и это за сутки сводит на нет остаточные нервные функции. Но хотя эксперименты на животных дали обнадеживающие результаты, в клинических условиях не было получено доказательств того, что вторичное повреждение имеет большое значение и что его можно предотвратить.

В марте прошлого года в ходе широкомасштабного исследования по острому повреждению спинного мозга, проводившегося в ряде медицинских центров на средства Национальных институтов здоровья (НИЗ), удалось добиться успеха при помощи давно известного и доступного сред-

ства — стероидного препарата, называемого метилпреднизолоном. Это вещество испытывалось ранее, но тогда оно не проявило себя. На этот раз метилпреднизолон применялся в большой дозе (около 10 г за 24 часа) и оказался эффективным, если его вводили пострадавшему не позже чем через 8 часов после травмы.

«Конечно, большинство пациентов не встанут, и двигательная способность вряд ли восстановится,» — замечает Х. Эйзенберг из Техасского университета, участвовавший в упомянутом исследовании. Речь идет «всего лишь» о том, что человек, обреченный, казалось бы, на полную беспомощность из-за неподвижности тела ниже уровня повреждения спинного мозга, сможет обеспечить себя хотя бы в малом, скажем будет владеть рукой настолько, чтобы управлять инвалидной коляской.

Ряд данных свидетельствует о том, что метилпреднизолон наиболее эффективен, если вводится в первые 4 часа после травмы. Следовательно, он должен быть в арсенале скорой помощи, чтобы такую помощь можно было оказывать пострадавшему прямо на месте происшествия. В НИЗ планируется изучить этот подход, который, может быть, годится и не для всякого пациента. У больных, получавших метилпреднизолон, не наблюдалось серьезных побочных эффектов, однако, поскольку это соединение представляет собой стероид, для некоторых людей его применение потенциально рискованно. Например, метилпреднизолон может мешать активности инсулина и, значит, опасен для диабетиков, которым потребуются безотлагательное врачебное наблюдение.

По-видимому, действие метилпреднизолона при травмах спинного мозга не связано с его стероидной природой. Участник исследования НИЗ У. Янг из Нью-Йоркского университета полагает, что эффект метилпреднизолона состоит в подавлении действия свободных радикалов (высокоактивных молекул, содержащих атом кислорода с неспаренным электроном), которые высвобождаются из поврежденных клеток и вызывают нарушение структуры мембран соседних клеток.

Риск нежелательных побочных эффектов вполне можно совершенно снять, если использовать другие препараты, которые сейчас планируется испытать в сравнении с метилпреднизолоном. Окончательный выбор еще не сделан, но к числу возможных заменителей относятся лазароиды. Эти аналоги стероидов противодействуют свободным радикалам, но не обладают биологической активностью стероидов. Согласно Янгу, одно из таких соединений сейчас проходит проверку на токсичность у больных с повреждениями позвоночника.

Представляются перспективными также вещества, блокирующие активность эндорфинов (эндогенных пептидов, подобных по своему эффекту опию, которые участвуют в механизмах болеутоления). Эндорфины, выделяющиеся тотчас после травмы позвоночника, вызывают резкое ослабление кровотока в области повреждения, и тем самым нервные клетки лишаются жизненно необходимых питательных веществ и кислорода. Один из антагонистов эндорфинов, налоскон, испытывался вместе с метилпреднизолоном, но статистически значимого эффекта при взятых дозах не наблюдалось. Сейчас в нескольких лабораториях изучаются другие антагонисты эндорфинов типа налоксона. Ведутся также клинические испытания иного антагониста опиоидов — гормона, стимулирующего секрецию тиротропина (ТРГ). В опытах на животных природный ТРГ проявлял эффективность, если вводился не позже чем через 24 часа после травмы. Это дает основания надеяться, что он или его синтетический аналог будут полезны и в тех случаях, когда упущены критические для метилпреднизолона первые 8 часов.

По мнению Фейдена, многое обещают и соединения, противодействующие активности нейромедиаторов, в частности глутамата. При повреждении спинного мозга нейромедиаторы высвобождаются из разрушенных и гибнущих клеток и во множестве связываются с окружающими клетками. Эти вещества усиливают поступление ионов и молекул воды внутрь клеток, из-за чего те набухают и структура их мембран может нарушиться. В опытах на животных с помощью антагонистов нейромедиаторов удавалось после травмы спинного мозга сохранить способность ходить.

Эйзенберг преисполнен надежд, что продолжение этих исследований приведет к разработке более совершенных средств лечения последствий повреждений спинного мозга.

Плутон

Эта девятая планета имеет огромный спутник; ее поверхность покрыта замерзшим метаном, а тонкая атмосфера, по-видимому, периодически превращается в снег. Вполне возможно, что Плутон является реликтом процессов образования нашей Солнечной системы

РИЧАРД П. БИНЦЕЛЬ

ХОТЯ 18 февраля этого года отмечалось 60-летие открытия Плутона, девятая планета Солнечной системы продолжает надежно хранить свои секреты. Этот бесплодный мир так мал и так далек от нас, что даже в самые мощные наземные телескопы выглядит как бесформенное пятнышко. Это единственная планета, которую еще не исследовали космические аппараты.

Несмотря на эти трудности, за прошедшее десятилетие начала вырисовываться новая картина Плутона. Интенсивные наблюдения с использованием разнообразных современных инструментов в условиях благоприятного расположения небесных объектов принесли некоторые сюрпризы. У Плутона есть спутник — Харон, имеющий такие большие размеры, что эти два объекта можно считать двойной планетой. На Плуtone есть яркие полярные шапки, и более темная весьма неоднородная экваториальная область. Большая часть поверхности планеты покрыта слоем замерзшего метана. У Плутона имеется даже тонкая атмосфера: когда планета наиболее удалена от Солнца, атмосфера — вся или частично, — по-видимому, замерзает и “выпадает” на поверхность в виде снега. Поверхность Харона, которая, вероятно, сильно отличается от поверхности Плутона, может в значительной степени оказаться покрытой толстым слоем замерзшей воды.

Размер и плотность Плутона сходны с размером и плотностью Тритона — крупного спутника Нептуна, — который недавно исследовал космический аппарат “Вояджер-2”. Эти совпадения, а также сходство других моментов приводят к предположению о том, что Плутон и Тритон могут оказаться сохранившимися со времени зарождения Солнечной системы остатками планетезималей, которые не были выброшены внешними планетами-гигантами за пределы Солнечной системы. Согласно такому

сценарию, Тритон был захвачен Нептуном, тогда как Плутон сохранился как независимая планета на собственной орбите вокруг Солнца.

Первым Плутон обнаружил К. Томбо в 1930 г. во время проведения фотосъемки по заказу П. Ловелла, состоятельного бостонца, увлекшегося поиском транснептуновой планеты. Сразу же стало ясно, что во многих отношениях Плутон — это “белая ворона”. Все другие внешние планеты обращаются вокруг Солнца по орбитам, близким к круговым, Плутон же имеет сильно эксцентричную орбиту, на которой он находится от Солнца на расстояниях в 30—50 раз больших, чем расстояние от Солнца до Земли, иногда приближаясь к Солнцу ближе, чем Нептун. Именно таково положение с 1979 г.: снова самой удаленной планетой Плутон станет в 1999 г. Плоскость орбиты Плутона наклонена на 17° к плоскости, в которой Земля обращается вокруг Солнца, что гораздо больше, чем у других планет.

В течение 50 лет после открытия кроме орбиты с определенной степенью точности удалось определить лишь немногие характеристики Плутона. Ловелл и другие предсказывали существование девятой планеты на основе наблюдаемых гравитационных возмущений орбит Нептуна и Урана, оценивая массу этой планеты в 10 масс Земли. Однако Плутон оказался гораздо менее ярким, чем предполагалось, следовательно, его размер должен быть гораздо меньше. Если же Плутон имеет приемлемую плотность, оценки его массы должны быть примерно в 10 раз меньше. В 60-х годах астрономы уточнили измерения орбит Урана и Нептуна, после чего оценка массы Плутона была снижена еще в 10 раз.

Определение диаметра Плутона — тоже очень сложная задача. Неспкойная земная атмосфера искажает приходящие лучи света. Атмосферная турбулентность ограничивает разрешающую способность наземных те-

лескопов примерно 1" (1/3600°). При наблюдении с Земли диаметр диска Плутона имеет размер гораздо меньше 1", поэтому оценки его диаметра были очень приближенными. В течение долгого времени они колебались от 0,5" до 0,2", что соответствует диаметру от 14 000 до 6000 км. Последнее значение, составляющее половину диаметра Земли, стало наиболее часто использоваться.

На основе этих оценок массы и диаметра плотность Плутона должна быть сходна с плотностью каменных планет земной группы внутренней области Солнечной системы и гораздо больше, чем у планет-гигантов внешних областей Солнечной системы. В середине 70-х годов стало ясно, что Плутон представляет собой ледяное тело с высоким коэффициентом отражения и что он, по-видимому, меньше по размерам и менее плотный, чем предполагалось ранее.

КОРЕННОЕ изменение в понимании природы Плутона началось в 1978 г., когда Д. Кристи из Морской обсерватории США обнаружил, что у Плутона есть крупный спутник. Кристи занимался точными измерениями

ПЛУТОН И ХАРОН оказались неожиданно разными. Замерзший метан на поверхности Плутона стал красноватого оттенка под действием солнечных лучей. Слабая сила тяжести на Хароне “позволила” метану уйти с поверхности планеты, открыв слой водяного льда. Оба тела имеют крупные каменные ядра; очевидно, из-за каких-то процессов во внешних областях Солнечной системы образование каменных пород было более предпочтительно, чем образование льдов. При покрытии звезды диском Плутона в 1988 г. она мерцала перед своим исчезновением, обнаружив тем самым тонкую туманную атмосферу Плутона. Начиная с 1985 г. Харон проходит перед и за Плутоном, что позволило осуществить первые точные измерения размеров Плутона.

положения Плутона для уточнения элементов его орбиты. Такого рода измерения имеют для астрономии фундаментальное значение, однако эта работа, как правило, утомительна и редко приносит удовлетворение. Кристи изучал фотопластинки с изображениями Плутона, полученные на 1,5-метровом телескопе Морской обсерватории во Флагстаффе (шт. Аризона), всего лишь в нескольких километрах от того места, где Томбо впервые обнаружил Плутон.

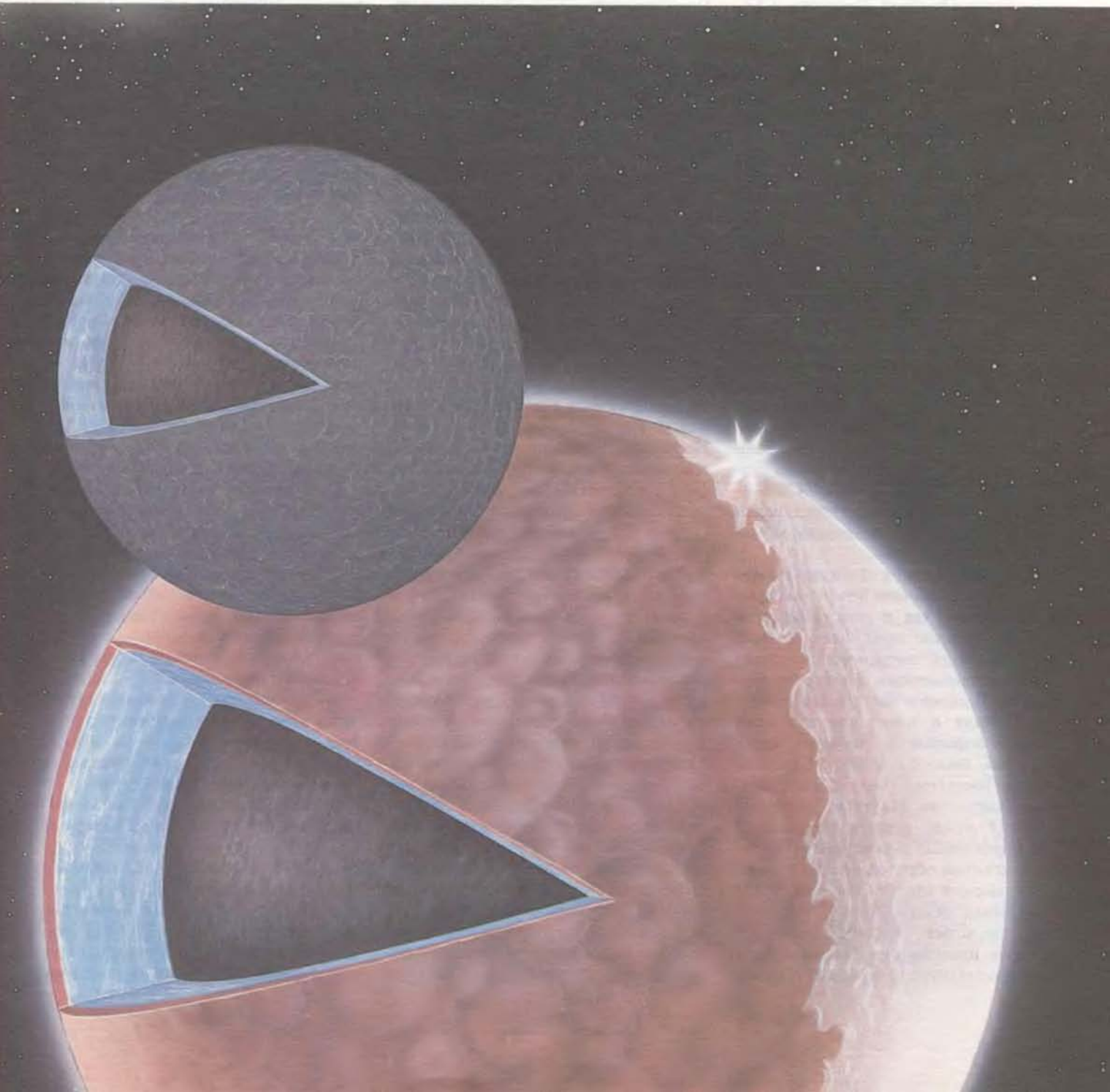
На одной пластинке Кристи обнаружил, что на изображении Плутона в верхней его части виден небольшой "бугор". При этом изображения звезд на пластинке выглядели круглыми. Анализ пластинок, полученных в другое время, показал, что "бугор" дви-

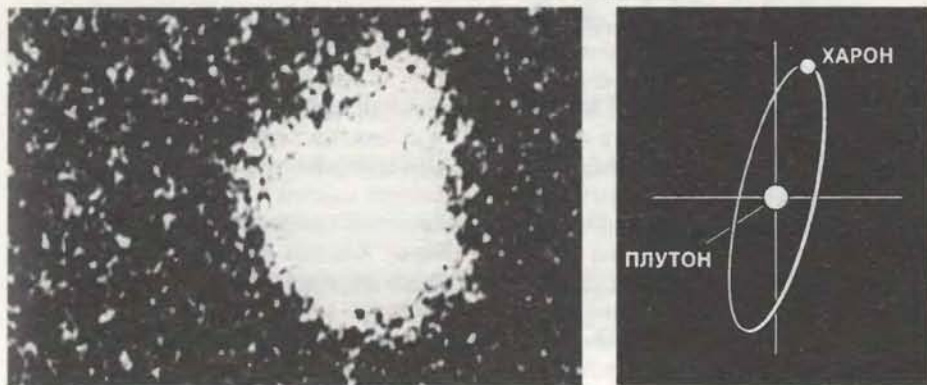
жется вокруг планеты с периодом 6,4 сут, т. е. с таким же, что и период вращения Плутона вокруг своей оси. Кристи и его сотрудник Р. Харрингтон пришли к выводу, что в действительности "бугор" — это спутник на орбите, гравитационно синхронизированной с вращением планеты. В результате этого Плутон и его спутник все время обращены друг к другу одной и той же стороной, подобно тому как Луна повернута к Земле. Кристи предложил назвать спутник Хароном по двум соображениям: в честь его жены Харлин и лодочника Харона (из греческой мифологии), который перевозил через реку Стикс души умерших в подземное царство теней, где правил бог Плутон.

Планетологи с радостью сообщили

об открытии Харона, поскольку наконец-то можно было рассчитать точное значение массы Плутона. Для двух обращающихся вокруг друг друга объектов период обращения определяется расстоянием между ними, их полной массой и хорошо известными законами гравитации. Измерения орбиты Харона выявили, что полная масса системы Плутон — Харон составляет около 1/400 массы Земли, т. е. еще в 10 раз меньше самых последних оценок. Последующие измерения только слегка уточнили это значение.

Вскоре после открытия Харона астрономы заметили, что дважды на протяжении 248-летнего пути Плутона вокруг Солнца расположение Плутона и Земли таково, что орбита Ха-





ХАРОН БЫЛ ОБНАРУЖЕН, как показывает фотография, полученная 2 июля 1978 г. на Морской обсерватории США (слева), в виде "бугра" на изображении Плутона. Дж. Кристи, получивший снимок, сделал вывод, что "бугор" — это объект, обращающийся вокруг Плутона по орбите. Истинные масштабы обоих тел размыты земной атмосферой, однако они могут быть определены косвенными методами (справа).

рона видна с "ребра". В это время Харон проходит перед Плутоном и позади него с интервалом 3,2 сут (каждые полпериода). Эти взаимные события принято называть затмениями, не смотря на то что диск Харона меньше диска Плутона; строго говоря, их называют или прохождениями (когда Харон находится перед Плутоном) или покрытиями (когда Харон находится за Плутоном).

Хотя такое событие происходит один раз в столетие, по счастливой случайности оказалось, что астрономам не придется долго этого ждать. Первые предсказания указывали на то, что затмения должны произойти через один — два года после открытия Харона. Когда был уточнен наклон орбиты Харона, предсказание времени серии затмений сдвинулось на первую половину 80-х годов. Если бы Кристи не заметил "бугор" на изображении Плутона, эта серия затмений (первая со времен гражданской войны в Соединенных Штатах) могла пройти незамеченной.

Приближающиеся затмения вызвали среди астрономов почти такое же возбуждение, как и само открытие Харона. Трудно придумать лучший "естественный" эксперимент по определению диаметров и свойств поверхностей Плутона и Харона. По моментам начала и окончания затмений можно определить диаметры этих двух тел. Вместе с новыми оценками полной массы системы это дает плотность вещества Плутона, величина которой имеет решающее значение для определения внутренней структуры и истории образования Плутона.

Суммарная яркость Плутона и Харона меняется по мере того, как спутник закрывает темные и светлые участки поверхности Плутона (или наоборот, Плутон закрывает Харон).

Повторяющиеся покрытия и прохождения позволяют составить приближенную карту полусферы каждого тела. Затмения Харона Плутоном дают возможность получить индивидуальные спектры Плутона и Харона и, следовательно, определить состав их поверхностей.

Планетологи ринулись в бой, стремясь использовать возможности, предоставленные удачным стечением обстоятельств. Совместно с Дж. Малхоландом из Университета шт. Флорида мы начали систематические наблюдения Плутона на Обсерватории Мак-Дональд Техасского университета. В эти наблюдения были вовлечены и наши коллеги Д. Толен из Гавайского университета и Э. Тедеско из Лаборатории реактивного движения в Пасадене (шт. Калифорния). Первоначально наши наблюдения заключались в измерении яркости Плутона с точностью до нескольких сотых процента. В земные телескопы Плутон и Харон видны как одно слившееся изображение. Затмение вызвало бы падение суммарной яркости по мере того, как часть поверхности одного из тел скрывалась бы за Хароном или Плутоном.

Во время первых затмений Плутон и Харон лишь слегка закрывали друг друга самым краем и яркость менялась всего лишь на несколько процентов. Регистрация наступления момента максимального затмения требовала хорошего знания периодических изменений яркости Плутона при его вращении вокруг собственной оси. Такие изменения, предположительно вызываемые темными и светлыми пятнами на его поверхности, впервые были зарегистрированы в 1950 г. и использовались для определения периода обращения планеты, который равен 6,4 сут. Интересно, что по мере

приближения Плутона к перигелию (точка на орбите, где расстояние до Солнца минимально) амплитуда флуктуаций увеличилась от 10 до 30%, причем абсолютная яркость планеты упала примерно на 30%.

Такое поведение является скорее всего результатом изменения геометрии расположения Плутона и Земли и необычного расположения оси вращения Плутона. Оси вращения у большинства планет ориентированы почти перпендикулярно плоскости орбиты планеты и вращение происходит против часовой стрелки (прямое движение), если смотреть на Солнечную систему сверху.

Открытие Харона позволило определить угол наклона оси вращения Плутона, поскольку гравитационные силы, которые синхронизируют орбиту Харона с вращением Плутона, совместили плоскость орбиты Харона с плоскостью экватора Плутона. По измерениям орбиты Харона обнаружилось, что ось вращения Плутона наклонена на 122°. Плутон перевернут как бы "вверх ногами" и его северный полюс (определяемый по вращению против часовой стрелки) лежит под плоскостью его орбиты. Подобная картина наблюдается у Венеры и Урана, оси вращения которых наклонены на 177° и 98° соответственно.

Сильный наклон оси вращения Плутона приводит к существенному изменению его вида при наблюдениях с Земли, когда планета перемещается по орбите. В начале 50-х годов южный полюс Плутона был направлен примерно в сторону Земли. С движением планеты по орбите ориентация медленно менялась, так что теперь земные наблюдатели видят области Плутона, более близкие к экватору.

Р. Марсиалис из Аризонского университета и М. Бюи из Института космического телескопа попытались смоделировать распределение темного и светлого вещества на поверхности Плутона так, чтобы это соответствовало наблюдаемому с Земли изменению.

Темные и светлые пятна, которые вызывают переменность яркости Плутона с периодом 6,4 сут расположены, по-видимому, на низких широтах и появляются и исчезают из поля зрения по мере вращения планеты. Постепенное потемнение планеты с течением времени свидетельствует об относительно высоком альбедо (отражательной способности) полярных областей Плутона. В начале 50-х годов Плутон выглядел ярче, поскольку его южная полярная область с более высоким коэффициентом отражения была ориентирована в сторону Земли. Большая часть этой области была видна все время, поэтому вращение

вызывало лишь слабые изменения яркости Плутона. По мере того как в поле зрения появлялись темные, более различающиеся по яркости экваториальные области, Плутон становился темнее, а флуктуации яркости увеличивались (см. рисунок на с. 18).

К одному из неизвестных факторов относится вклад Харона в наблюдаемую кривую блеска при вращении Плутона. В предельном случае у Харона одна сторона может быть белая, а другая черная, при этом его вклад в периодические изменения блеска может достигать половины. Плутон может также испытывать сезонные изменения отражательной способности из-за своего большого наклона оси вращения и сильных изменений расстояния до Солнца.

НЕТОЧНЫЕ знания наклона орбиты Харона и относительных размеров Плутона и его спутника затрудняли определение времени первого затмения. Кроме того, наблюдениям могли помешать свет от Солнца и Луны, а также пасмурная погода. Попытки обнаружить затмения в 1982, 1983 и 1984 годах не увенчались успехом. Наконец, наше терпение было вознаграждено. Ясным утром 17 февраля 1985 г. во время сеанса фотометрических измерений на 91-сантиметровом телескопе Обсерватории Мак-Дональд было зарегистрировано заметное снижение яркости Плутона — примерно на 3% за 2 ч, что свидетельствовало о частичном прохождении Харона перед Плутоном. Яркость ближайших звезд оставалась постоянной в пределах 0,5%, что оз-

начало, что потемнение не было вызвано земными облаками или дымкой.

Время наступления события подтвердили пробные наблюдения Э. Тедеско и Б. Бюратти из Лаборатории реактивного движения, проводимые 16 января 1985 г. Они не сообщили о своих результатах, поскольку не были уверены в точности результатов измерений из-за неполадок в приборах. Д. Толен подтвердил, что затмения в системе Плутон — Харон начались 20 февраля, когда с помощью 2,2-метрового телескопа на Мауна-Кеа он зафиксировал 2%-ное снижение яркости во время прохождения Харона за Плутоном на противоположном участке своей орбиты.

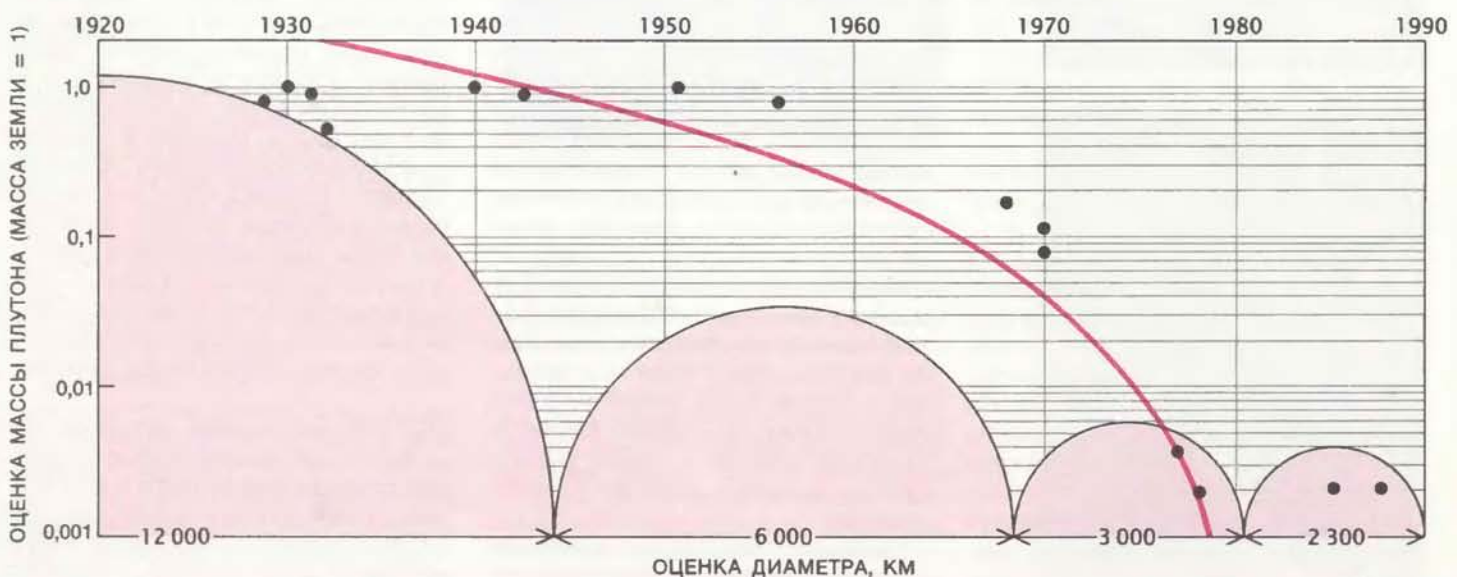
Изменяющееся расположение Солнца, Земли и Плутона создает непрерывно эволюционирующую картину прохождений и покрытий (см. рисунок на с. 19). Если бы мы наблюдали затмение с Солнца, относительное положение Харона и его тени во время последовательных прохождений следовало бы простому увеличению справа налево. Земля же «прыгает» с одной стороны Солнца на другую каждые 6 месяцев. Это приводит к цикличности в наблюдаемом расположении Плутона и Харона: относительное положение их дисков определяется линией Земля — Плутон, тогда как расположение тени — линией Солнце — Плутон.

Во время первых затмений 1985 г. Харон проходил перед северным полюсом Плутона и скрывался за его южным полюсом, но их диски перекрывались лишь чуть-чуть. В течение

1986 г. Харон и Плутон закрывали друг друга гораздо сильнее. Как при прохождении, так и при покрытиях закрывалась одинаковая площадь поверхности, однако прохождения вызывали более сильное потемнение. Очевидно, эта площадь на Плуtone дает больший вклад в светимость, чем соответствующий участок Харона; следовательно Харон в основном покрыт более темным материалом, чем Плутон. Кроме этого Плутон отражает примерно половину падающего света, в то время как Харон — менее 2/5.

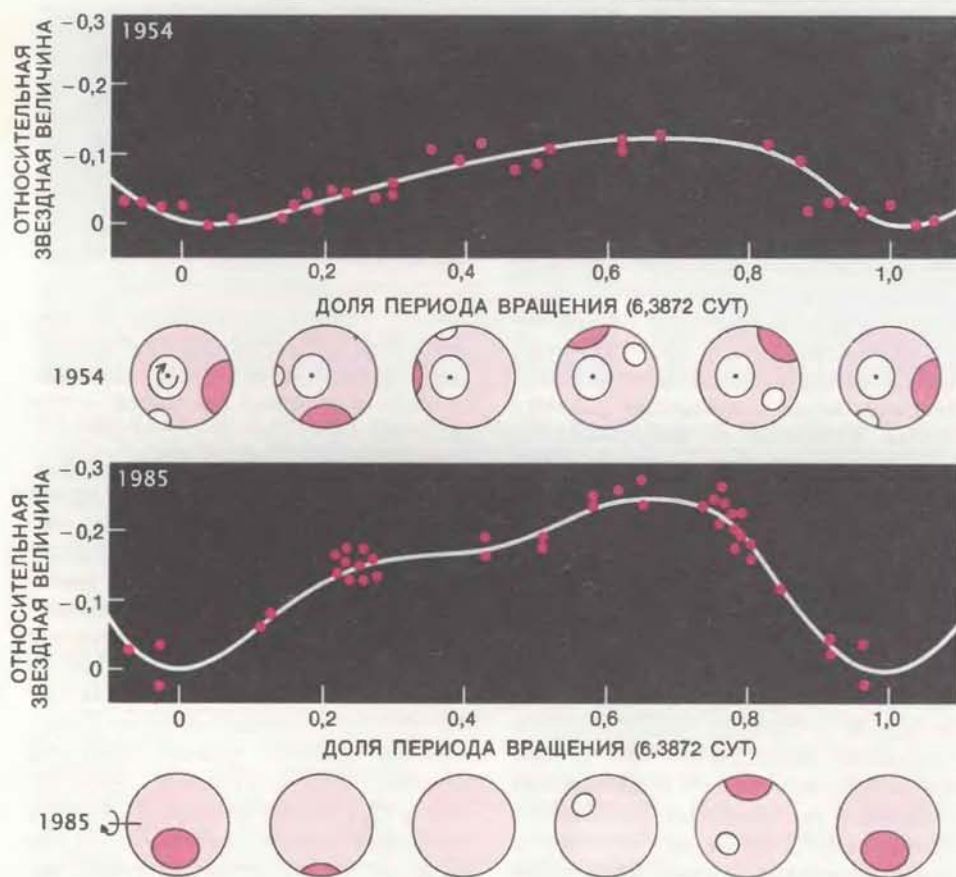
Полные покрытия Харона Плутоном начались в 1987 г. В это же время впервые появилась возможность получить отдельно спектр каждого из этих тел. Любой элемент или химическое соединение поглощают свет особым, характерным образом, поэтому по спектру можно определить состав исследуемого объекта. Во время покрытий Харон исчезал примерно на час, поэтому впервые удалось получить отдельно спектр Плутона. Вычитая спектр Плутона из суммарного спектра Плутона и Харона (полученного до или после затмения), можно получить индивидуальный спектр Харона.

Из-за замороженного на поверхности Плутона метана (CH_4), поглощающего свет в ИК-области, спектр Плутона имеет глубокий «провал» (минимум) в инфракрасном диапазоне около 0,9 мкм (несколько больше, чем длины волн видимого красного света). Впервые это было обнаружено в 1976 г. Д. Крукшэнком, Д. Моррисоном и К. Пилчером из Гавайского университета.



ОЦЕНКИ МАССЫ И РАЗМЕРА Плутона первоначально были завышены, поскольку астрономы ошибочно думали, что сила притяжения Плутона вносит возмущения в орбиты Урана и Нептуна. После длительного времени переоценок в сторону уменьшения массы появилась даже шутка, что если экс-

траполировать на будущее кривую оценок массы этой планеты, то получится, что она должна была совсем исчезнуть в 1980 г.! В конечном итоге анализ орбиты Харона выявил истинную массу системы — около 1/400 массы Земли.



ЯРКОСТЬ ПЛУТОНА меняется при его вращении вокруг собственной оси. В 1954 г. южный полюс Плутона был направлен в сторону Земли, и поэтому все время был виден (вверху). С тех пор Плутон переместился по орбите и в настоящее время виден сбоку. Вся его экваториальная область то появляется, то исчезает из поля зрения, что приводит к изменению яркости на 30% (внизу). При этом яркость планеты в целом упала; это свидетельствует о том, что экваториальные области темнее областей около южного полюса.

Спектр Харона, напротив, не имеет больших пиков или минимумов на длинах волн короче 1 мкм. При наблюдении невооруженным глазом Харон показался бы нейтрально серым, а Плутон — красноватым. Измерения спектра Харона в более далекой ИК-области показали, что он покрыт водяным льдом. Таким различием в химическом составе, по-видимому, и объясняется большая отражательная способность Плутона по сравнению с Хароном.

Как могут два так тесно связанных тела иметь настолько различающиеся поверхности? Возможно, сила тяжести на Хароне недостаточно велика для того, чтобы удерживать метан, испаряющийся при нагреве удаленным Солнцем. Метан ушел с поверхности Харона, обнажив лежащие глубже слои более плотного водяного льда. На Плутоне же сила тяжести достаточно для того, чтобы удержать внешний слой замерзшего метана. Астрономы считают, что оба этих тела имеют одинаковый внутренний химический состав, поэтому, возможно, под метановой поверхностью Плутона лежит слой водяного льда.

БЛАГОДАРЯ прошедшей серии затмений были получены точные размеры Плутона и Харона. Точные измерения моментов покрытия и прохождения могут быть пересчитаны в размеры объектов при условии, что известно расстояние между Хароном и Плутоном. В настоящее время наилучший метод определения этого расстояния — так называемая спеклинтерферометрия; в этом методе для проведения высокоточных измерений используются очень короткие экспозиции, позволяющие «заморозить» влияние земной атмосферы, размывающее получаемые изображения. Данные спекл-наблюдений, выполненных Д. Белетиком и Р. Гуди из Гарвардского университета, в комбинации с результатами измерения моментов затмений привели к оценке радиуса орбиты Харона в 19640 км с точностью 2%.

Наиболее обширные измерения диаметров Плутона и Харона по моментам затмений, проведенные Д. Толеном, дают значения 2300 км для Плутона и 1186 км для Харона с точностью около 1%. Таким образом, Плутон — самая маленькая пла-

нета в нашей Солнечной системе. Его диаметр примерно вдвое меньше, чем у Меркурия (который до сих пор считался самой небольшой планетой), и составляет всего лишь 2/3 диаметра Луны. Диаметр Харона равен примерно половине диаметра Плутона, т. е. Харон — самый крупный спутник в Солнечной системе по отношению к планете, у которой он находится на орбите. До открытия Харона этот рекорд принадлежал Луне, диаметр которой немного больше 1/4 диаметра Земли. Если принять, что Плутон и Харон имеют одинаковую плотность, то центр масс этой системы должен находиться на высоте 1200 км над поверхностью Плутона. У всех же других таких систем центр масс лежит глубоко под поверхностью планеты. На основе этого факта некоторые астрономы называют Плутон и Харон двойной планетой.

Знание диаметров и суммарной массы Плутона и Харона позволяет рассчитать их среднюю плотность. Обнаружение метана в спектре Плутона в 70-х годах привело к предположению, что Плутон состоит из замерзшего метана, воды и других легких соединений, которые, как считают, должны были присутствовать во внешних областях туманности, из которой образовалась Солнечная система. Это означает, что плотность Плутона должна быть низкой, по-видимому, не больше плотности воды (1 г/см^3).

Последние расчеты показали, что на самом деле плотность Плутона составляет немногим более 2 г/см^3 . Это означает, что помимо льдов Плутон содержит существенное количество каменистого материала. Измерения орбитальной скорости и радиуса Харона дают только суммарную массу системы, так что вычисленная плотность представляет собой усредненную плотность Плутона и Харона. С помощью космического телескопа «Хаббл», который будет находиться выше атмосферы Земли, можно будет точно определить радиус орбиты и центр масс системы, а затем — относительные массы обоих объектов и их плотности, а также принципиальные различия во внутреннем строении.

ХОТЯ наблюдения затмений позволили продвинуться в понимании природы поверхности и внутреннего строения Плутона и Харона, они не дали никакой информации о возможности существования тонкой атмосферы вокруг Плутона. На протяжении последнего десятилетия этот вопрос горячо дискутировался. Явные признаки метана, отмеченные в спектре Плутона в 1976 г., первоначально

чально интерпретировались как результат наличия замерзшего метана на поверхности Плутона. В 1980 г. У. Финк из Аризонского университета провел более точные измерения и пришел к заключению, что метан в газообразной форме действительно существует. Однако отсутствие хороших лабораторных спектров метана при температурах и давлениях, соответствующих условиям на Плуtone, не позволило на основании только телескопных наблюдений прийти к окончательному выводу о том, что же это — газ или лед. Большинство исследователей ситают, что присутствует и то и другое.

К счастью, природа дала нам метод для однозначной регистрации и измерения толщи атмосферы планет — это покрытие звезд. Когда планета или другой объект проходит на фоне звезды, атмосфера будет искажать и ослаблять свет характерным способом. На протяжении 30 лет астрономы тщательно искали звезду, которая лежала бы непосредственно на пути Плутона при наблюдениях с Земли, однако на его пути не встречалось достаточно ярких звезд. Короткое мерцание, зарегистрированное в 1980 г. во время близкого прохождения к звезде, было, вероятно, вызвано Хароном. Возможное покрытие из-за неблагоприятных условий. Точное положение Плутона относительно звезд трудно предсказать из-за отклонений в его движении, вызванных гравитационным притяжением Харона. Неопределенность диаметра Плутона также мешала попыткам предсказать покрытие.

В 1985 г. Д. Минк из Гарвардского университета и А. Клемола из Ликской обсерватории отождествили в созвездии Девы звезду 12-й звездной величины, лежащую, как казалось, точно на пути Плутона, и предсказали покрытие, которое должно было произойти 9 июня 1988 г. Дополнительные расчеты Л. Вассермана из Обсерватории им. Ловелла показали, что тень от Плутона упадет на часть Австралии, Новую Зеландию и южную часть Тихого Океана.

Две группы астрономов под руководством Р. Миллса из Обсерватории им. Ловелла и Дж. Эллиотта и Э. Дунхама из Массачусетского технологического института (МТИ) организовали экспедиции для наблюдения затмения. Они согласовали работу с обсерваториями в Австралии, Новой Зеландии и Тасмании. В конечном итоге наблюдения были успешно выполнены в восьми местах.

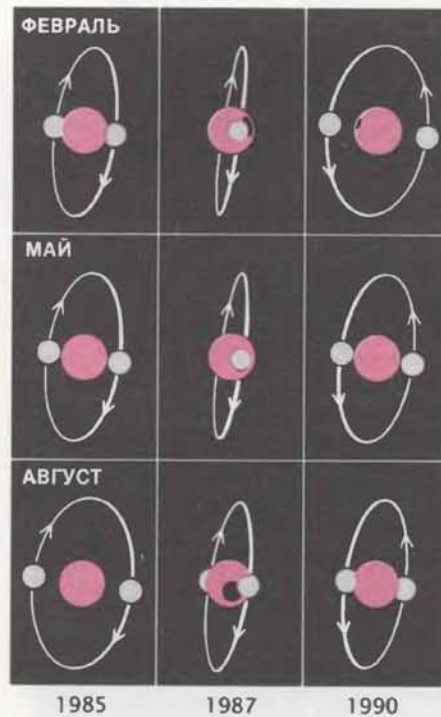
Звезда не исчезла резко за диском Плутона, а меркла постепенно. Такое

поведение характерно для рефракции и рассеяния звездного света при прохождении сквозь все более глубокие слои атмосферы. При погружении звезды в верхние слои атмосферы Плутона на кривой блеска происходит постепенный спад. Однако, после того как изображение звезды прошло нижние слои атмосферы, яркость уменьшилась скачкообразно.

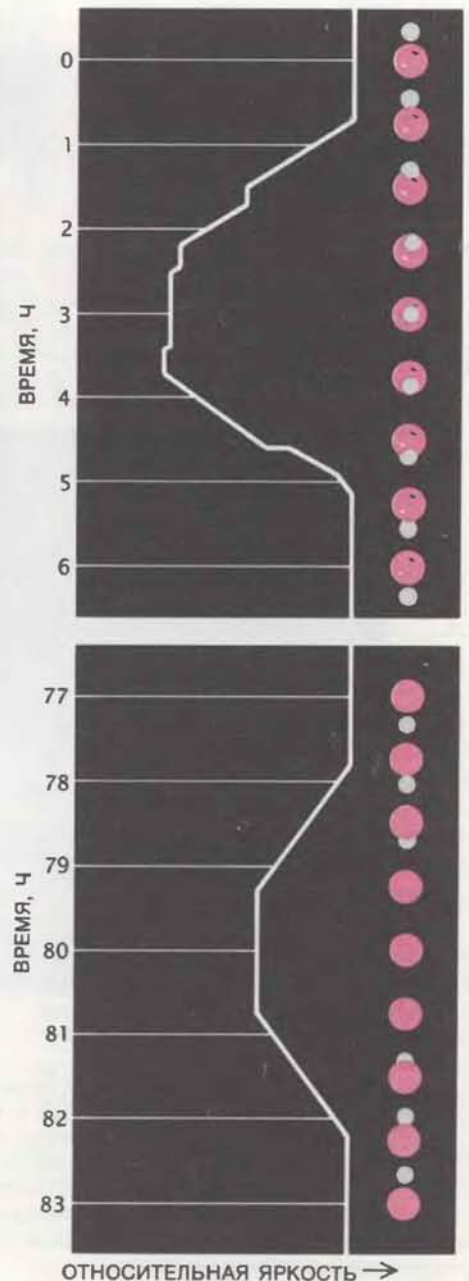
По-видимому, прозрачные верхние слои атмосферы Плутона лежат над менее прозрачными нижними слоями. Граница между ними выглядит очень резкой. Для описания этой структуры было предложено две модели. Согласно первой, атмосфера Плутона имеет приблизительно равномерное распределение температуры, но под воздействием солнечных лучей замерзшие газы на поверхности Плутона испаряются, создавая на низких

высотах дымку, поглощающую свет. Согласно второй модели, неожиданное поглощение вызывается резким температурным скачком между двумя слоями атмосферы. Теплый и холодный воздух "разбрасывают" свет по различным направлениям — это такой же эффект, что вызывает мерцание звезд в земной атмосфере.

По моделям, предложенным группами из МТИ и Аризонского университета, пока еще невозможно определить, какое из объяснений больше подходит. Пока только сравнительно хорошо определены основные свойства атмосферы Плутона. Она чрезвычайно тонкая — давление на поверхности Плутона составляет всего лишь одну стотысячную долю земного. Кроме метана атмосфера Плутона может содержать более тяжелые газы, такие как аргон, азот (N_2), моно-



УДАЧНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ Земли, Харона и Плутона привело к серии взаимных "затмений". Эволюционирующая геометрия затмений (вверху) сделала возможным построение приближенных карт Плутона и Харона. Суммарная яркость обоих тел меняется по мере того, как они закрывают друг друга. Темные и светлые участки проявляются на кривых блеска в виде нерегулярности во время затмения (справа). Орбита Харона синхронизирована с вращением Плутона, так что спутник всегда проходит перед одной и той же стороной Плутона. Затмения подтверждают, что у Плутона яркая южная полярная шапка и более темная экваториальная область; Харон более темный, чем Плутон.



оксид (окись) углерода (CO) и кислород (O₂). В атмосфере Тритона азот — основной компонент, и это заставляет многих ученых предполагать, что и на Плуtone большую часть атмосферы составляет азот.

Чтобы предсказать, какие газы могут вымораживаться из атмосферы Плутона, необходимо знать температуру его поверхности. М. Сикес с коллегами из Аризонского университета на основе данных, полученных с помощью Международного инфракрасного спутника IRAS, принадлежащего Национальному управлению по

авиации и исследованию космического пространства (НАСА), получили значение температуры экваториальной области около 58 К. Такое значение соответствует присутствию метана в атмосфере Плутона.

Существование атмосферы может помочь ответить на вопрос, который возник во время наблюдений взаимных затмений: почему у Плутона такая яркая поверхность? В среднем отражательная способность Плутона в 7 раз выше отражательной способности Луны. Это несколько удивляет, поскольку за миллионы лет эволюции

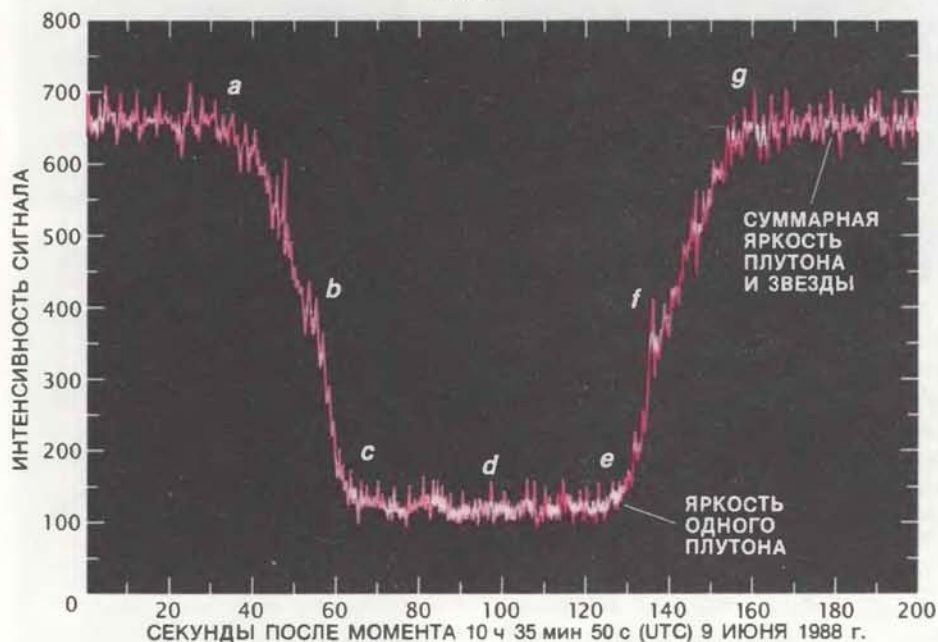
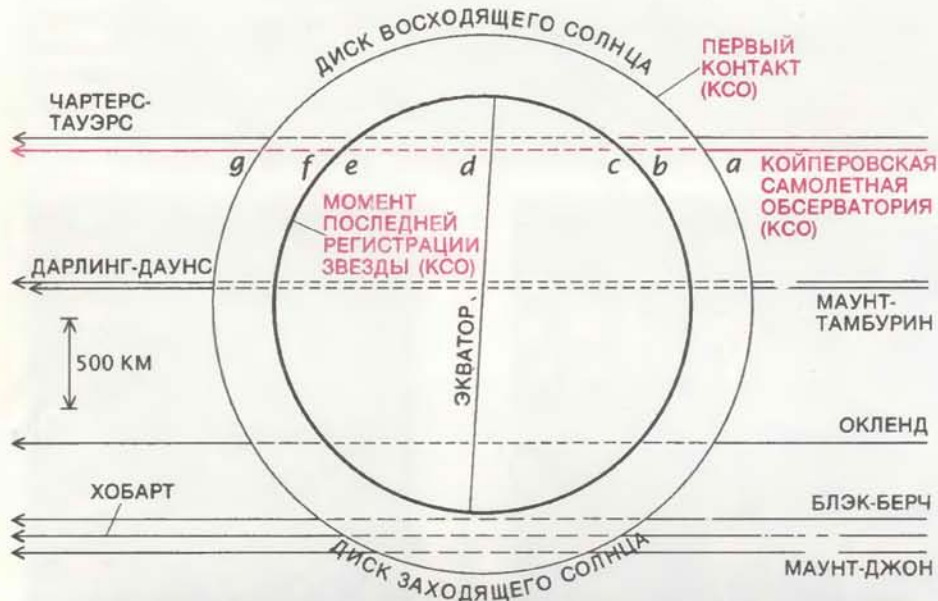
яркая поверхность метанового льда должна была бы стать темной с красноватым оттенком из-за химических реакций под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца и высокоэнергичных частиц космических лучей. Необходим некий механизм для постоянного поддержания "свежести" отражающей поверхности Плутона.

Такой механизм был предложен А. Штурном из Колорадского университета в Боулдере совместно с Л. Трифтоном из Техасского университета и Р. Гладстоуном из Калифорнийского университета в Беркли. Поскольку Плутон имеет сильно эксцентричную орбиту, его расстояние до Солнца очень меняется — от 4,5 до 7,4 млрд. км, что приводит к экстремальным колебаниям температуры. Атмосфера Плутона в зависимости от ее состава может оказаться вообще временным явлением, которое имеет место, только когда планета максимально приближается к Солнцу.

Плутон достиг перигелия в 1989 г. По мере удаления от Солнца он будет становиться холоднее и, возможно, через 20 — 40 лет метан из его атмосферы может конденсироваться на поверхности, покрыв планету свежим слоем метанового снега. Этот слой останется на поверхности до следующего приближения Плутона к Солнцу.

НАБЛЮДЕНИЯ затмений в системе Плутон — Харон и покрытия звезд обнаружили так много новых деталей о физических характеристиках Плутона, что в конечном итоге появилась возможность рассмотреть вопрос об образовании Плутона. Плотность Плутона больше плотности других внешних планет Солнечной системы, состоящих из газов, а также большинства их ледяных спутников. Это вызвало удивление исследователей — особенно в более ранние годы, когда считалось, что плотность Плутона еще выше, поскольку, возможно, он образовался где-то в другом месте, например в окрестностях Земли и других тел с высокой плотностью во внутренней части Солнечной системы.

Выполненные Дж. Сюзсманом и Дж. Уисдомом расчеты орбитального движения Плутона, охватывающие период в 845 млн. лет, показали, что на больших интервалах времени орбита Плутона проявляет хаотическое поведение. Плутон действительно мог сформироваться где-то еще и впоследствии эволюционировать на свою современную орбиту. Эти ученые продолжают считать наиболее



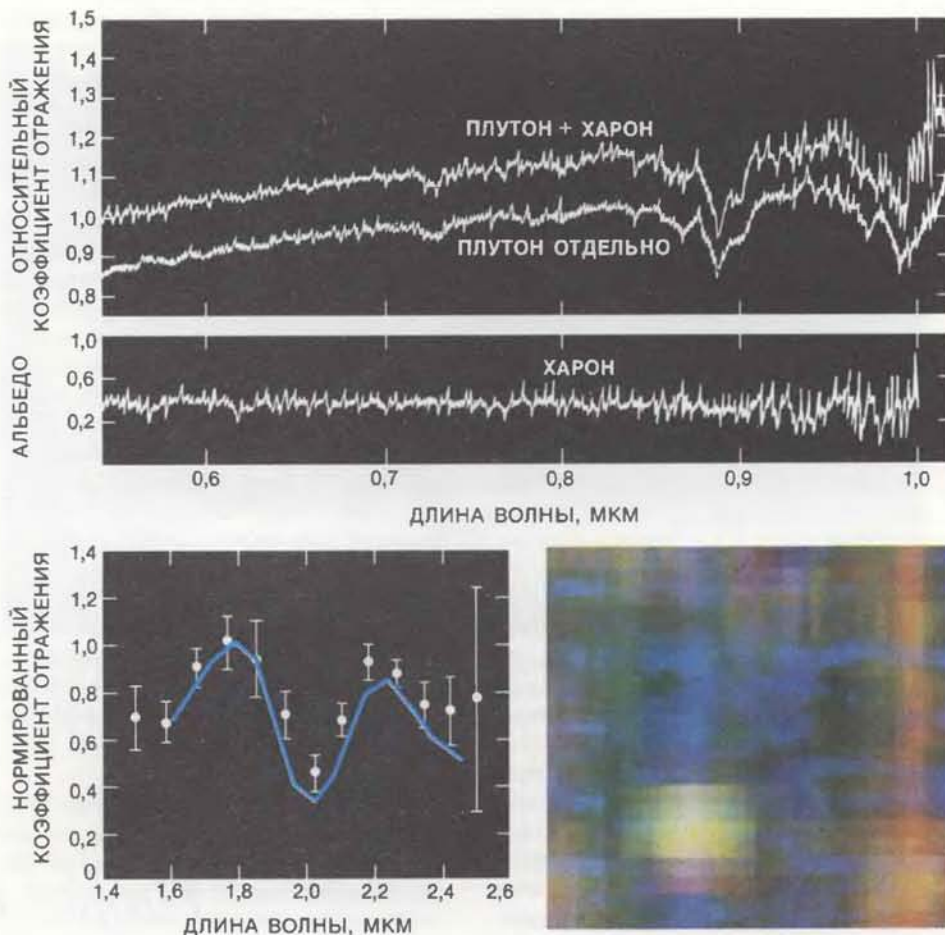
МЕРЦАНИЕ СВЕТА ЗВЕЗДЫ свидетельствует о наличии атмосферы у Плутона. Астрономы наблюдали 9 июня 1988 г. в восьми разных пунктах прохождения Плутона перед далекой звездой (вверху). Звезда меркла постепенно по мере того, как ее свет проходил через все более глубокие слои атмосферы. Резкий спад на кривой блеска (b и f), наблюдавшийся с борта Койперовской самолетной обсерватории, указывает на существование переходного слоя в атмосфере Плутона (внизу). Это могут быть низкие слои дымки или зона резкого изменения температуры в атмосфере.

вероятной возможность образования Плутона в другом месте Солнечной системы с последующим перемещением его на нынешнюю эксцентричную сильно наклоненную орбиту из-за хаотического поведения.

Согласно современным теориям, Солнечная система образовалась из сконденсировавшейся газо-пылевой туманности. Несколько последних исследований предполагают, что на окраинах этой туманности могли сформироваться сравнительно плотные тела. При тех низких температурах и давлениях, которые имеются в этих областях, большая часть углерода вступает в реакцию с кислородом, давая монооксид углерода (окись углерода), и лишь небольшая доля углерода идет на образование метана. Кислород более распространен, чем углерод. Остатки свободного кислорода могут вступать в реакцию с кремнием (образуя, например, SiO_2 , обычный речной песок) и с металлами, образуя каменные материалы. Водяной лед (H_2O) — результат взаимодействия кислорода с водородом. Исследования предсказывают наличие каменных материалов и льда в количестве 75 и 25% соответственно. Окись углерода должна быть «выметена» сильным солнечным ветром зародившегося Солнца, оставив позади более плотный материал.

Основываясь на таком предположении, У. Маккиннон из Вашингтонского университета, С. Мюллер из Южного методистского университета и Д. Симонелли из Эймского исследовательского центра НАСА создали детальную картину формирования Плутона и его внутреннего строения. Наблюдаемая плотность Плутона хорошо объяснялась бы, если от 68 до 80% материала планеты составляли бы каменные материалы, а остальное — смесь разных видов льдов. Тогда Плутон должен быть более каменным телом, чем спутники Сатурна и Урана, которые сформировались вблизи образующихся протопланет, где высокие температуры и плотности разрушили окись углерода и привели к обогащению образующимися метаном и водяным льдом, имеющими низкую плотность. Низкие плотности этих спутников внешних планет-гигантов исключают существовавшую ранее гипотезу о том, что Плутон — это «убежавший» спутник Нептуна.

Долгое время планетологи считали, что Плутон сходен с Тритоном — крупным спутником Нептуна. До пролета космического аппарата «Вояджер-2» мимо Нептуна в прошлом году астрономы знали о Плуtone больше, чем о Тритоне, однако те-



СПЕКТРЫ ПЛУТОНА И ХАРОНА обычно накладываются друг на друга. Когда Харон скрыт за Плутоном, свет приходит от одного лишь Плутона. «Провалы» в спектре Плутона обусловлены метаном. Вычитая спектр Плутона из суммарного спектра обоих тел, можно получить «плоский» спектр Харона (вверху). Очевидно, на Хароне отсутствует метан; в длинноволновой области (внизу слева) его спектр похож на спектр водяного льда (голубая линия). Плутон и Харон наблюдались с помощью спутника IRAS (внизу справа). Голубым и красным цветом обозначено излучение более холодных и более теплых областей соответственно; полученные результаты согласуются с наличием ледяной поверхности и тонкой атмосферы.

перь ситуация прямо противоположная. Диаметр Тритона (2700 км), его плотность ($2,08 \text{ г/см}^3$) и толщина атмосферы близки к плутонианским. Это свидетельствует о том, что и Плутон и Тритон образовались как независимые тела в холодных и внешних областях протопланетной туманности, где доминировала окись углерода.

Тритон, по-видимому, был захвачен вскоре после образования и в конечном итоге оказался на своей необычной орбите с обратным движением вокруг Нептуна. Плутон занял стабильную резонансную орбиту 3:2 с Нептуном, так что Нептун совершает три оборота вокруг Солнца за то же время, когда Плутон совершает два. В результате Плутон никогда не приближается к Нептуну на расстояние менее 2,7 млрд. км, избегая таким образом разрушительного тесного сближения.

Захват Тритона Нептуном повер-

нул его судьбу в другое русло. Гравитационные нагрузки и приливные силы, воздействующие на Тритон, могли нагреть его внутренние области. Этот нагрев мог оказаться причиной образования сложной «беспорядочной» структуры, наблюдаемой на поверхности Тритона. В результате взаимодействия Плутона с Хароном внутренние области Плутона могли также подвергаться нагреву, хотя это зависит от того, как образовался Харон.

По-видимому, когда Плутон сформировался, его внутренние области имели достаточно высокую температуру составляющих компонентов, чтобы они разделились по плотности: каменные породы стекла в центр, образовав ядро, в середине была вода, а метан всплыл наверх, образовав наблюдаемую ныне поверхность метанового льда.

Если Плутон и Харон сформировались вместе как двойная планета, то

они могут иметь сходный внутренний состав и быть практически неразличимыми образцами туманности, из которой образовалась Солнечная система. Если Харон сформировался в результате столкновения Плутона с другим объектом (например, с небольшой планетезималю), то и в этом случае внутренние области Плутона испытали бы нагрев после формирования планеты, и составы этих двух тел могли бы сильно различаться. В настоящее время такая "столкновительная" гипотеза пользуется большой популярностью у многих исследователей для объяснения природы Луны. Определение относительных плотностей Плутона и Харона поможет разгадать природу Харона.

Различия в поверхностях Плутона и Харона могут быть также вызваны эксцентричной орбитой Плутона и как следствие его сезонными вариациями. У Плутона может оказаться наиболее сильное среди всех планет взаимодействие между поверхностью и атмосферой. Однако всестороннее изучение динамики атмосферы невозможно до тех пор, пока Плутон не будет исследован с близкого расстояния космическим аппаратом. Визит к Плутону, первоначально запланированный в рамках концепции "Большого путешествия" 70-х годов (которая в конце концов привела к полету "Вояджеров") был урезан из-за ограниченного финансирования и из-за предвзятого мнения, что Плутон не представляет особого интереса.

НОВЫЕ данные о сложной природе Плутона возродили интерес научной общественности к космическому полету в этот далекий мир. Траектория полета к Плутону будет представлять компромисс между временем путешествия и временем встречи с Плутоном, в течение которого можно будет проводить научные исследования. Высокоскоростная траектория обеспечивает быстрый полет к Плутону и увеличивает вероятность того, что аппарат будет работать надежно к тому моменту, когда он достигнет планеты. Но это также означает, что аппарат пройдет мимо планеты на высокой скорости, поэтому будет очень мало времени для фотографирования с высоким разрешением. При более низких скоростях повышаются требования к надежности всей системы из-за длительного путешествия, однако тогда может быть более "спокойная" встреча.

В одной из подготовленных схем полета предполагается использовать два сравнительно простых космических аппарата, на каждом из которых будет установлена фотографирующая

система, спектрометр и магнитометр (для измерения магнитных полей в окрестностях Плутона). Каждый аппарат должен иметь также один или несколько детекторов частиц, функционирующих на протяжении всего полета и выполняющих измерения солнечного ветра и огромного "пузыря" заряженных частиц, окружающего Солнце. Аппараты предполагается послать по различным траекториям, используя гравитационное поле Земли и Юпитера для ускорения, так что они пройдут мимо Плутона с перерывом в один год. Они могли бы быть запущены в начале следующего века и через 14 лет достичь Плутона. Встреча продлилась бы несколько месяцев, однако детальные измерения, возможные при тесном сближении, проходили бы только в течение нескольких часов.

Посылка двух аппаратов увеличивает вероятность того, что хотя бы одна из встреч будет удачной, а благодаря экономии, обусловленной мас-

штабом мероприятия, расходы на него составят лишь немногим больше, чем в случае запуска одного аппарата. Если полет обоих аппаратов окажется успешным, то появится возможность изучать явления на Плуtone, развивающиеся во времени (например, процессы в атмосфере), и получать изображения с высоким разрешением обоих полушарий Плутона и Харона, что невозможно при одной встрече из-за вращения планеты и ее спутника.

Полет к Плутону, будь он удачным, явился бы завершающим в нашем стремлении осуществить предварительную разведку всех крупных тел Солнечной системы. По мере проникновения в тайны каждой планеты, перед нами предстает все более прекрасная и поражающая воображение картина мироздания во всем ее разнообразии. Плутон, как мы надеемся, раскроет перед нами нечто неожиданное.

Наука и общество

Гены древних растений

НЕНАСТНЫМ осенним днем 20 млн. лет назад на берегу высыхающего озера, которое находилось на территории нынешнего штата Айдахо, лист магнолии, сорванный с дерева ветром, упал в холодную стоячую воду, погрузился на дно и, оказавшись затем между слоями ила и сланцев, остался неизменным, даже когда озеро высохло. А в прошлом году его обнаружили ученые. «Когда мы вскрыли осадочный слой, лист был еще зеленый и влажный», — вспоминает Д. Джианнази из Университета шт. Джорджия.

Доисторический лист сохранил не только внешний вид, но и хрупкие молекулы ДНК, содержащие ряд генов. В опубликованной в журнале "Nature" статье Джианнази, Э. Голенберга и М. Клегга из Калифорнийского университета в Риверсайде, а также других исследователей описываются выделение и анализ этой ДНК. Их работа — одна из первых попыток объединить силы палеонтологии и молекулярной биологии с целью выяснить эволюционную историю растений.

Ископаемые остатки, как правило, сильно минерализованы и потому не содержат ДНК. Например, окаменелость дерева представляет собой как бы слепок тканей растения, в которых

органическое вещество замещено неорганическим. Найденный Голенбергом с коллегами лист магнолии, подобно множеству других остатков древних растений, рыб и насекомых в сланцах Кларкиа близ Москоу (шт. Айдахо), принадлежит к особому типу ископаемых, образующихся благодаря специфическим условиям захоронения. Этот лист на дне озера был сдвинут в холодных, не содержащих свободного кислорода отложениях, что предотвратило его разложение.

В конце 1970-х годов Джианнази и К. Никлас (сейчас он работает в Корнеллском университете) показали, что в ряде образцов древних растений из сланцев Кларкиа содержатся биологические макромолекулы и субклеточные структуры, сходные с таковыми современных растений. Джианнази и Клегг предположили, что в этих образцах есть и интактная ДНК, но в то время еще не существовало методов, позволяющих выделять и анализировать ДНК из ископаемых остатков, в которых ее очень мало.

Однако за последнее десятилетие технология молекулярно-биологических исследований сделала огромный шаг вперед. В частности, разработан метод цепной полимеразной реакции, с помощью которого можно копировать и получать в нужном количестве

ДНК, исходно имеющуюся в очень малом количестве. Появились также быстродействующие компьютеры, которые облегчили анализ нуклеотидных последовательностей.

В июле прошлого года в сланцах Кларкиа были собраны фрагменты 55 листьев ископаемых растений известной таксономической принадлежности. Как отмечает Клегг, найденные образцы приходилось сразу же готовить для анализа, иначе за несколько минут пребывания на воздухе в результате разложения,ждавшего своего часа, они чернели и жухли.

Голенберг выделил из листа древней магнолии и проанализировал фрагмент гена, обозначаемого *rbc L*, который имеет значение для фотосинтеза. Он сравнил нуклеотидные последовательности этого гена и аналогичного гена современной магнолии и обнаружил, что ген *rbc L* очень мало изменился за прошедшие миллионы лет: различались лишь 17 нуклеотидных пар из 820. При сравнении с менее родственными растениями число различий получилось больше.

По мнению Джианнази, сравнительный анализ генетического материала ископаемых и нынеживущих видов может прояснить картину ветвления линий эволюционного развития растений и формирования их признаков. Многие неродственные виды внешне похожи, так как в ходе эволюции сложились в сходных условиях внешней среды; однако свидетельством истинного родства является сходство генов. Следующим этапом исследований должно быть установление нуклеотидных последовательностей аналогичных генов для десятка или более древних видов растений. Голенберг уже проделал это для ископаемого платана и начал анализ одного из представителей вымершей группы растений, называемой *Pseudophagus*.

Другие исследователи выделили ДНК из ископаемых животных остатков возрастом несколько десятков тысяч лет. Быть может, находки рыб и насекомых в Кларкиа, возраст которых исчисляется миллионами лет, тоже могут послужить источником ДНК? «Похоже, это вполне возможно, — говорит Джианнази. — Стоит взяться за рыбу».

Акулы, берегитесь!

РАСТУЩИЙ спрос на жаркое из акульего мяса и суп из акульих плавников впервые за 400 млн. лет заставил эту бестию переместиться на другой конец пищевой цепи. Начиная с 1986 г. вылов зубастого чудовища в



АКУЛЫ вынашивают живых детенышей, число которых невелико. Это делает акулу весьма уязвимым видом по отношению к избыточному лову. У изображенной на снимке песчаной акулы в брюхе оказалось восемь детенышей.

коммерческих целях каждый год удваивался и численность акул стала заметно снижаться.

Едва ли этому можно радоваться. По отношению к рыбам акулы играют ту же роль, что львы по отношению к диким животным: они регулируют численность популяций, поедая наиболее слабых особей. Примечательно, что акулы не болеют раком и, возможно, носят в себе ключ к разгадке природы этого заболевания.

Кроме того, существует проблема размножения. Акулы — живородящие рыбы. Это означает, что их потомство появляется не в икринках, а, так сказать, в «готовом виде» и способно плавать. Акулы носят своих детенышей от 9 месяцев до 2 лет, и бывает их не более 8—12 в одном помете.

Поэтому плодовитость акул — одна из самых низких в океане. Треска, например, мечет икру каждый год, откладывая за один раз несколько миллионов икринок. Если выловить в этом году 3/4 запасов трески, то через несколько лет ее численность полностью восстановится. Но если выловить 3/4 акул, то они не оправятся от этого и через 15 лет.

Если истребление акул будет продолжаться такими же темпами, то уже в конце лета они окажутся рядом с белоголовыми орланами и бизонами в списке видов, подлежащих контролю. Федеральное правительство хочет установить верхний предел для коммерческого вылова акул в 5800 т (приблизительно в половину от уровня 1989 г.), а рыбакам-любителям — не более двух акул на лодку.

Другое ограничение касается заготовки одних только плавников: вес плавников не должен превышать 7% веса туши.

Заготовка плавников — острый нож в сердце защитников окружающей среды; их негодование помогло собрать голоса в поддержку новых правил лова. Акульи плавники содержат похожие на лапшу хрящи, которые китайские повара традиционно использовали для придания наваристым супам особого аромата. В Гонконге, например, за последние несколько лет спрос на плавники вырос настолько, что они стали котироваться наравне с остальной частью рыбы. Особенно ценятся большие плавники, которые могут стоить гораздо больше, чем остальная туша при цене в 10 долл. за фунт акульева мяса.

Впрочем, может ли введение в США новых правил лова спасти акул, бороздящих просторы Атлантики? Например, голубая акула посещает воды примерно 23 стран. Биолог Дж. Кейси, специалист из Исследовательского центра Национальной службы морского рыболовства в Наррангасетте (шт. Род-Айленд) считает, что вскоре возникнет необходимость в международном сотрудничестве. Однако, по его мнению, квоты, вводимые в США, — это первое мероприятие, которое должно послужить примером для других стран. А пока что те, кто ведет промысел акул, не теряет времени даром. «В преддверии новых правил лова они устраивают на акул настоящую охоту, — говорит Кейси. — Они действуют, пока мы говорим».

Эхолокатор с нейронным вычислительным устройством у летучих мышей

Из своих биолокационных сигналов летучие мыши извлекают поразительно детальную информацию о том, что их окружает.

Нейроны слуховой системы высоко специализированы для решения такой задачи

НОБУО СУГА

ШИРОКО распространено заблуждение, что у летучих мышей ориентирование и обнаружение добычи путем эхолокации лишь приблизительно — наподобие того, как человек в полной темноте нащупывает дорогу с помощью трости. На самом деле это совсем не так: быстроте и эффективности, с которыми летучая мышь преследует и настигает мотылька, пользуясь своим эхолокатором, позавидуют военные инженеры, разрабатывающие средства радиолокации.

С помощью биолокатора летучая мышь не только определяет расстояние до цели, но получает и другую важную информацию. Например, эффект Доплера (изменение частоты эхо-сигнала по сравнению с исходным) позволяет судить как об относительной скорости объекта, скажем летящего насекомого, так и о частоте взмахов его крыльев; амплитуда эхо-сигнала в сочетании с его запаздыванием говорит о величине объекта; амплитуды гармоник соответствуют размерам частей объекта; различия в амплитудах эхо-сигналов и моментах их восприятия правым и левым ухом определяют азимут цели, а отражение эхо-сигналов в структурах наружного уха создает интерференционную картину, характеризующую угловую высоту цели.

Всю эту разностороннюю и точную информацию летучая мышь получает мгновенно с помощью “вычислительной машины” в мозге размером с горошину.

В течение последних 27 лет мои коллеги и я занимались изучением нервных механизмов, обеспечивающих эхолокационные способности летучих мышей. Звуковой мир этих животных хорошо изучен, и его характеристики довольно точно определены, так что летучая мышь — прекрасный объект исследований для выяснения способов обработки информации в слуховой системе. Сходные механизмы, не-

сомненно, действуют и у других животных.

ВМИРЕ насчитывают около 800 видов карликовых летучих мышей, и считается, что все они пользуются эхолокацией. Эти виды занимают самые разные местообитания и сильно различаются по поведению и физическим характеристикам. Биолокационные сигналы тоже различны, даже у видов одного рода. Тем не менее все сигналы можно подразделить на 3 типа: постоянной частоты (CF — от англ. constant frequency), модулированной частоты (FM — от англ. frequency modulated) и смешанный тип (CF-FM). Сигналы CF представлены единственной частотой (тоном). Сигналы FM резко обрываются вниз и похожи на писк. Смешанные сигналы состоят из длинного постоянного тона, за которым следует обрывающийся вниз писк: “ииниииу”. У многих летучих мышей тон не совсем чистый: наряду с основной частотой он содержит несколько более высоких гармоник, кратных основной частоте.

Летучие мыши большинства видов испускают сигналы только одного типа. Так, например, малая бурая ночница (*Myotis lucifugus*) издает сигналы FM длительностью от 0,5 до 3 мс, завершающиеся резким снижением тона примерно на одну октаву. У голоспинного листоноса Парнелла (*Pteronotus parnellii*) сигналы относятся к смешанному типу: сначала издается длинный сигнал CF, длящийся от 5 до 30 мс, а затем следует короткий писк FM продолжительностью 2—4 мс. У ряда видов сигнал меняется в зависимости от ситуации. Так, мексиканская рыбацкая летучая мышь большой рыболов (*Noctilio leporinus*) испускает сигналы CF и CF-FM пока носится в воздухе без определенной цели, но переходит на сигналы FM во время охоты.

Долгий сигнал CF отлично подходит для обнаружения потенциальной

добычи, величина которой больше длины волны сигнала, так как в этом случае практически весь отраженный сигнал характеризуется одной определенной частотой. Такое эхо идеально также для оценки доплеровского смещения. Однако сигнал CF не пригоден для точного определения местоположения цели и для различения ее деталей. Для этого требуется использовать большой набор частот. Именно так и поступают летучие мыши: они увеличивают полосу частот сигнала, испуская гармоники, а также импульсы FM, охватывающие широкий частотный диапазон. Подобные сигналы FM содержат также существенно больше временной информации и поэтому служат для вычисления запаздывания эхо-сигнала, что и позволяет определить расстояние до цели.

У некоторых видов энергия каждой гармоники регулируется в зависимости от расстояния до цели. Когда объект находится далеко, усиливаются самые низкочастотные гармоники, которые слабее затухают в воздухе. Когда же объект близко, увеличивается энергия высокочастотных гармоник, что позволяет получить сведения о деталях объекта. Когда летучая мышь настигает добычу, уменьшаются длительность сигналов и интервалы между ними; частота следования сигналов FM достигает 200 с^{-1} , а CF-FM — 100 с^{-1} . Такая подстройка связана не только с необходимостью уточнения детального строения жертвы, но и с тем, что на близком расстоянии угловое положение потенциальной добычи меняется очень быстро и, чтобы точно настичь ее, летучей мыши необходимо испускать больше сигналов.

ГОЛОСПИННЫЙ ЛИСТОНОС *Pteronotus parnellii* в ночном полете спустился к пруду, чтобы попить. Этот вид летучих мышей служит объектом многих исследований биолокации.

ОХОТНИЧЬЯ стратегия и поведение у летучих мышей непосредственно связаны с видовыми особенностями биолокаторов. Ключевые элементы биолокатора отражаются в свою очередь в функциональной организации слуховой системы.

С тех пор как 40 лет назад Д. Гриффин и Р. Галамбос обнаружили биоэхолокацию, слуховая система изучалась у нескольких видов летучих мышей, преимущественно у малой бурой ночницы, голоспинного листоноса Парнелла и большого подковоноса (*Rhinolophus ferrumequinum*). Каждый из этих видов характеризуется специфическими биолокационными сигналами.

Наиболее хорошо изучен слуховой механизм голоспинного листоноса Парнелла. Биолокационную и периферическую слуховые системы этого животного впервые описали А. Новик и его коллеги из Йельского университета в 1964 и 1972 гг. В 1972 г. я совместно с Дж. Симмонсом из Университета Брауна начал исследования периферической слуховой системы и вместе с Ф. Дженом из Университета шт. Миссури в Колумбии — центральной слуховой системы *Pteronotus parnellii*. В дальнейшем выяснении нервных механизмов переработки

биолокационной информации у этого вида занимались многие исследователи, в том числе Т. Манабе и К. Кудзирани из Йокогамского университета, а также У. О'Нейлл из Рочестерского университета. В данной статье описываются результаты, полученные главным образом при исследовании именно этого объекта.

Голоспинный листонос в полете определяет относительную скорость объекта по доплеровскому смещению эхо-сигнала. Когда животное летит по направлению к неподвижному объекту, отраженные от него сигналы как бы сжаты — их частота выше, чем частота испускаемого сигнала. Если же оно движется в сторону летящего насекомого, то на основное доплеровское смещение накладываются небольшие периодические изменения частоты, вызываемые биением крыльев насекомого (подобно мелкой ряби на морской волне).

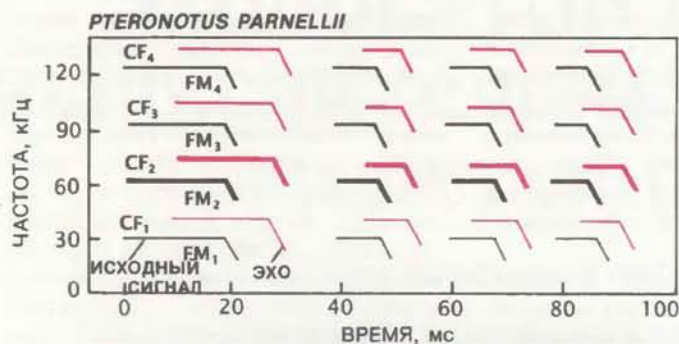
Некоторые летучие мыши — такие, как *Pteronotus parnellii* и *Rhinolophus ferrumequinum*, — могут обнаруживать “рябь” от взмахов крыльев насекомого даже на фоне эха от неподвижных объектов, например от стен и растительности. Как они это делают? Частично — с помощью особого приема, который заключается в компенса-

ции доплеровского смещения; такую компенсацию впервые обнаружил Г.-У. Шницлер из Тюбингенского университета. Голоспинный листонос, находясь в покое, испускает сигналы с основным тоном около 30,5 кГц и тремя более высоким гармониками. В состоянии покоя частота второй гармоники (CF_2) составляет примерно 61 кГц. Если летучая мышь воспринимает сдвинутое по частоте (из-за эффекта Доплера) эхо от неподвижного объекта при 63 кГц, частота испускаемых ею сигналов снижается приблизительно на 1,8 кГц, так чтобы последующее эхо соответствовало “точке отсчета” — базисной частоте около 61,2 кГц.

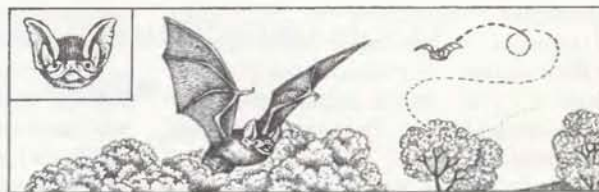
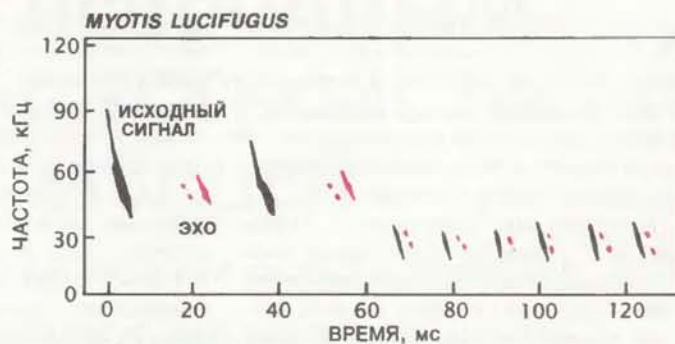
Эти виды специализированы также к анализу малых различий в частотах вблизи базисной частоты 61,2 кГц. Таким образом, благодаря компенсации доплеровского смещения эхо CF_2 попадает в диапазон, в котором животное легче всего детектирует возмущение от машущих крыльев насекомого.

Специализация начинается с уха летучей мыши. Особый интерес представляет внутреннее ухо, называемое улиткой, в котором находится основная (базиллярная) мембрана — тонкое удлиненное образование, закрученное наподобие витой раковины улитки.





ОХОТИТСЯ В РАСТИТЕЛЬНОСТИ



ОХОТИТСЯ НА ОТКРЫТОМ ВОЗДУХЕ

БИОЛОКАЦИОННЫЙ СИГНАЛ у *Pteronotus parnellii* начинается с длительной составляющей — тона постоянной частоты (CF) и завершается краткой компонентой с модулированной частотой (FM). Каждый сигнал содержит четыре гармоники (CF₁ — CF₄). Приближаясь к цели, летучая мышь издает все более короткие сигналы, интервалы между ними

уменьшаются, а частотные характеристики (тоны) не изменяются. *Myotis lucifugus* испускает сигналы только типа FM. По мере приближения к цели эти сигналы становятся чаще и короче, а частота их снижается. Каждому виду летучих мышей свойственны определенные биолокационные сигналы, соответствующие особенностям поведения.

Приходящие извне звуковые волны заставляют колебаться барабанную перепонку, и эти вибрации передаются основной мембране, в результате чего возбуждаются расположенные на ней рецепторы — волосковые клетки. Возбуждение через клетки спирального ганглия и далее по волокнам слухового нерва передается в мозг.

Нервный сигнал, возникающий в улитке, должен содержать всю жизненно важную для летучей мыши информацию. При этом физические свойства акустического сигнала — амплитуда, фаза и частота — должны быть «переведены» на язык нервной активности. Так, амплитуда звуковой волны отображается частотой импульсации в волокнах слухового нерва: чем выше амплитуда, тем чаще следуют друг за другом нервные импульсы. Временные характеристики точно воспроизводятся формой нервных импульсов. Частота звука кодируется локализацией вдоль основной мембраны: высокочастотные сигналы заставляют колебаться участок мембраны, наиболее близкий к барабанной перепонке, а низкочастотные возбуждают рецепторные клетки, расположенные дальше. Таким образом, гармоники в биолокационном эхо-сигнале анализируются по расположению участков возбуждения вдоль основной мембраны.

У голоспинного листоноса определенная область основной мембраны необычно толстая, благодаря чему избирательно повышена чувствительность к частотам от 61,0 до 61,5 кГц (эхо CF₂ при компенсации доплеров-

ского смещения) и снижена чувствительность к частотам около 59,5 кГц (CF₂ испускаемых сигналов при компенсации доплеровского смещения). Иначе говоря, соответствующие рецепторы улитки очень сильно возбуждаются эхо-сигналами, однако почти не реагируют на сигналы, издаваемые самим животным.

Селективность основной мембраны еще более повышается тем, что нервные клетки спирального ганглия настроены каждая на свою частоту в ключевом диапазоне от 61,0 до 61,5 кГц; это означает, что на одну определенную частоту данный нейрон реагирует максимально. Благодаря такой точной настройке детектируются ничтожно малые смещения по частоте — порядка 0,01%. Летящие насекомые, как правило, вызывают по крайней мере на порядок большие сдвиги в частоте эхо-сигнала. Периферическая слуховая система *Pteronotus parnellii* также настроена для анализа небольших сдвигов по частоте в области сигналов CF₁ (30 кГц) и CF₃ (92 кГц).

Сочетание высокой чувствительности и точной настройки в области частот CF₂ с компенсацией доплеровского смещения дает три преимущества. Во-первых, периферическая слуховая система оказывается высокочувствительной к эхо CF₂ (около 61 кГц), но практически не воспринимает сигналы CF₂ (около 59 кГц), испускаемые самим животным; иными словами, эхо почти не маскируется собственными сигналами. Во-вторых, точная настройка нейронов обеспечивает восприятие эхо-сигнала на фоне шумовых помех. В-третьих, на-

бор настроенных на разные частоты нейронов обеспечивает высокую вероятность восприятия эха от крыльев летящего насекомого и при смещении эхо-сигнала по частоте.

Все эти приспособления позволяют голоспинному листоносу успешно охотиться даже в густой растительности. Подобной специализации — сочетания частотной настройки нейронов с компенсацией доплеровского смещения — нет у летучих мышей, испускающих сигналы FM, таких, например, как малая буряя ночница, которая охотится поэтому только на открытом воздухе.

ПОСЛЕ того как звуковой сигнал закодирован в нервных импульсах, должен быть осуществлен его анализ для извлечения информации о потенциальной жертве — ее относительной скорости, удаленности и проч. Это делается в центральной слуховой системе. Процесс обработки сигналов происходит последовательно: сначала в улитковом (кохлеарном) ядре, затем в латеральной петле, нижнем холмике, медиальном коленчатом теле и, наконец, в слуховой коре.

С помощью микроэлектродов, позволяющих регистрировать нервные импульсы от одиночных нейронов, мои коллеги и я изучали реакции нейронов в слуховой системе *Pteronotus parnellii* в ответ на стимуляцию животного биолокационными сигналами. Это открыло удивительно совершенную систему обработки информации. Было обнаружено, в частности, что различные задачи решаются в анатомически отдельных областях

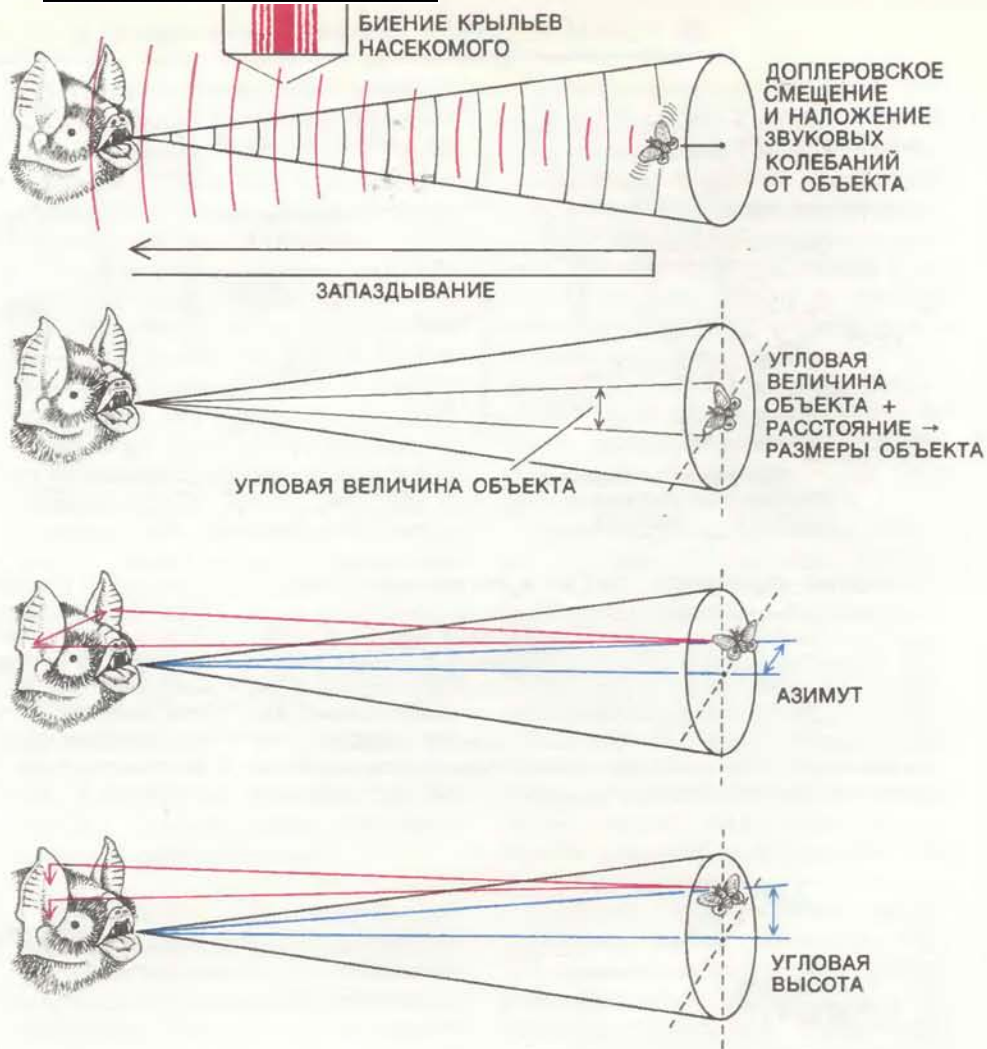
слуховой коры. В одной области нейроны отвечают только на определенные частоты и амплитуды эхо-сигнала, в другой — на частотные различия между исходным сигналом и эхом, в третьей — на время запаздывания эхо-сигнала и т. д.

Самая обширная из таких специализированных зон в слуховой коре у гололопного листоноса ответственна за обработку смещенных по частоте (из-за эффекта Доплера) эхо-сигналов CF₂ и обозначается DSCF (от англ. Doppler-shifted CF₂). Нейроны этой области представляют очень узкую полосу частот — от 60,6 до 62,3 кГц; тем не менее она занимает 30% первичной слуховой коры. Значения частот, избыточно представленных в зоне DSCF, различны у разных особей в соответствии с частотами сигналов, испускаемых в состоянии покоя. Иными словами, слуховая система у летучих мышей индивидуальна.

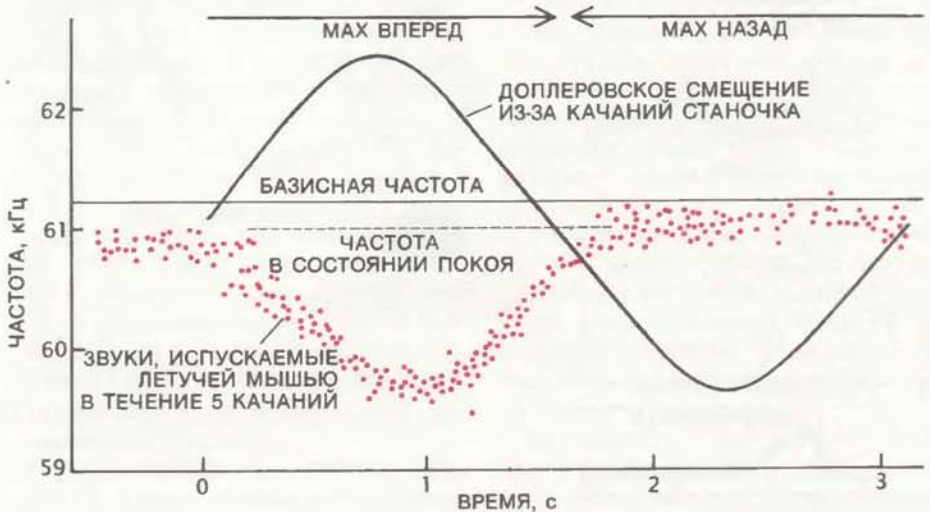
Такое избыточное представительство в коре всегда имеет место в тех случаях, когда подвергающийся обработке сигнал особо важен для поведения животного. Например, у кошек и обезьян в зрительной коре приоритетно представлена центральная ямка сетчатки глаза, в которой острота зрения максимальна. У приматов в соматосенсорной коре избыточно представлены тактильные рецепторы пальцев рук.

Частотная настройка нейронов зоны DSCF еще точнее, чем у нейронов периферической слуховой системы. Кроме того, клетки этой области слуховой коры настроены на амплитуду биолокационного сигнала. Таким образом, в зоне DSCF каждый нейрон имеет "свой" частоту и амплитуду, на которые он отвечает максимальной реакцией. Столь высокая избирательность реакции достигается, по-видимому, путем латерального торможения — универсального механизма, при помощи которого в сенсорных системах тормозные сигналы от соседних нейронов сужают полосу чувствительности данного нейрона к определенным стимулам.

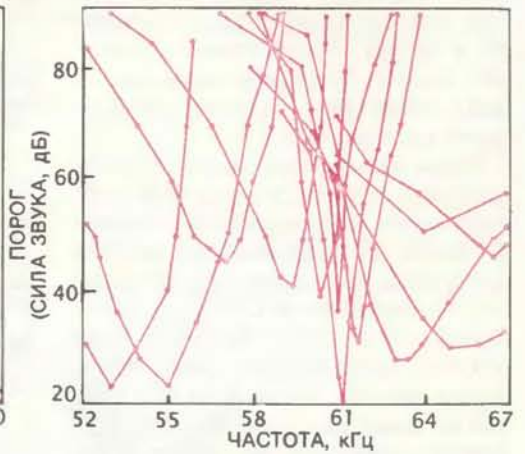
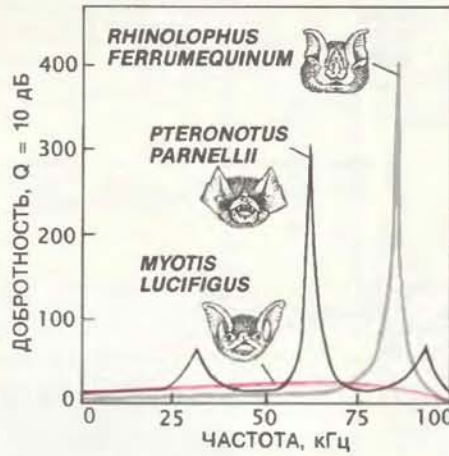
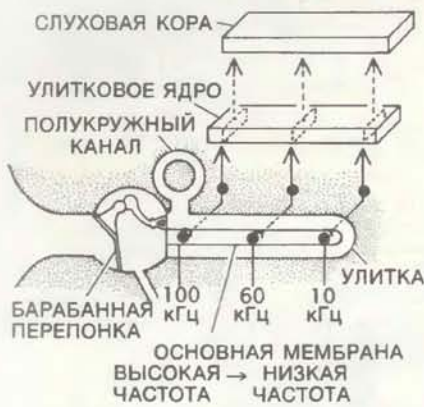
ТОЛЩИНА слуховой коры у гололопного листоноса составляет около 900 мкм, т. е. в ней могут разместиться один под другим 40—50 нейронов. Погружая микроэлектроды в кору на разную глубину, мы убедились, что все нейроны, тела которых образуют колонку, перпендикулярную поверхности коры, настроены на одни и те же частоту и амплитуду. Таким образом, область DSCF организована по принципу колонок. Впервые такую организацию обнаружил в 1957 г. В. Маунткэсл из Университета Джона Гопкинса в соматосен-



МНОГООБРАЗНАЯ ИНФОРМАЦИЯ извлекается из биолокационных сигналов. По запаздыванию и доплеровскому смещению эха определяются расстояние до объекта и его относительная скорость. Наложение на эхо "посторонних" колебаний отражает биение крыльев насекомого — потенциальной добычи. Амплитуда эхо-сигнала зависит от относительных размеров (угловой величины) и удаленности объекта. Разница во времени восприятия эха правым и левым ухом, а также бинауральные амплитудные различия дают азимут. По интерференции звуковых волн при их отражении в структурах наружного уха определяется угловая высота цели.

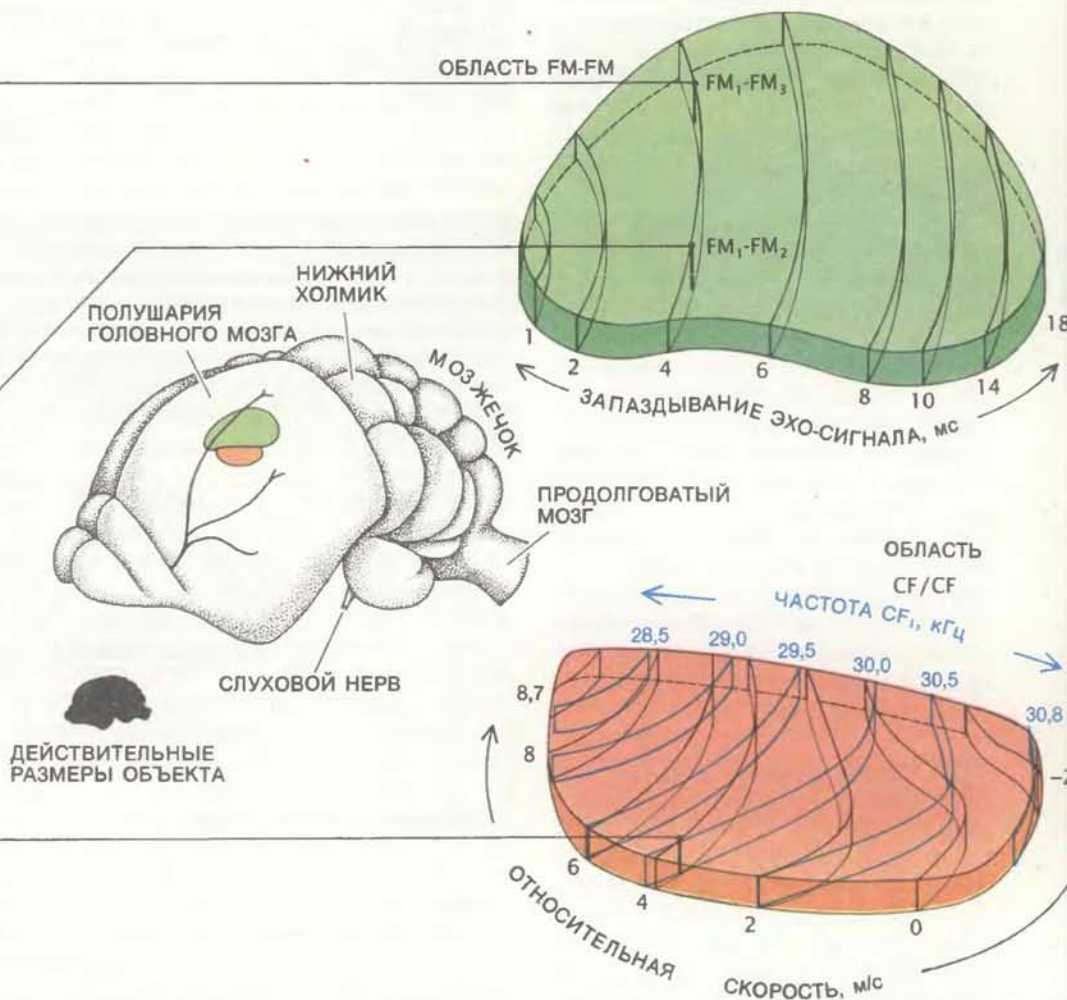


КОМПЕНСАЦИЯ ДОПЛЕРОВОГО СМЕЩЕНИЯ моделируется в эксперименте, в котором летучая мышь закреплена в раскачивающемся станочке (впервые такой эксперимент провел О'Делл У. Хенсон-младший из Университета Северной Каролины в Чэпел-Хилл). Когда станочек совершает мах вперед, животное снижает частоту испускаемого сигнала (красные точки) настолько, чтобы "удержать" эхо на базисной частоте. Во время обратного маха доплеровское смещение не компенсируется.



ОСНОВНАЯ МЕМБРАНА УЛИТКИ в дистальной своей части приходит в колебание при звуках высокой частоты, а в проксимальной части — при более низких звуках. Колебания мембраны возбуждают расположенные на ней рецепторы — волосковые клетки и в них возникают нервные импульсы, которые передаются нейронам спирального ганглия (и далее в мозг). На графике в центре показано, что эти нейроны у *Pteronotus parnellii* высокочувствительны к трем высшим гармоникам CF, а именно точно настроены на

частоты 61 кГц (CF_2), 30 кГц (CF_1) и 92 кГц (CF_3). У *Rhinolophus ferrumequinum* слуховые нейроны настроены на 83 кГц, что является гармоникой CF_2 у этого вида. *Myotis lucifugus* испускает только сигналы FM и не имеет таких нейронов. На рисунке справа изображены пороги ответной реакции 12 слуховых нейронов *P. parnellii*; у каждой клетки порог соответствует строго определенной частоте. Крутизна порога особенно велика у тех нейронов, которые отвечают на частоты около 61 кГц, т. е. на гармонику CF_2 .



ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ КАРТЫ в слуховой коре у *Pteronotus parnellii* представляют запаздывание эха (что определяется расстоянием до объекта) и доплеровское смещение (что определяется относительной скоростью). В области FM-FM (зеленая) нейроны, расположенные вдоль черных линий, отвечают на определенную величину запаздывания. Справа вверху для шести нейронов FM-FM графически изо-

бражена точность их настройки; данный нейрон отвечает только на комбинацию определенного запаздывания с определенной амплитудой эхо-сигнала. В области CF/CF (коричневая) вдоль голубых линий располагаются нейроны, отвечающие на комбинации определенных значений CF_1 с варьирующими значениями CF_2 , а вдоль черных — отвечающие на величины доплеровского смещения, соот-

сорной коре обезьян. Позже ее описали Д. Хьюбел и Т. Визел, изучавшие зрительную кору кошек (см. статью: Brain Mechanisms of Vision by David H. Hubel, Torsten N. Wiesel, "Scientific American," September, 1979).

При введении электродов в зону DSCF вдоль поверхности коры обнаружилось, что оптимальные для каждого нейрона частота и амплитуда постепенно изменяются по мере продвижения электрода. Это свидетельствует о частотно-амплитудной координатной "разметке" вдоль поверхности области DSCF. Приблизительно ее можно представить как велосипедное колесо: при перемещении вдоль спицы от центра к ободу оптимальная частота возрастает, а при перемещении по ободу от спицы к спице изменяется оптимальная амплитуда.

Какова функция области DSCF? Ее нейроны реагируют исключительно на амплитуду и частоту эхо-сигнала CF_2 независимо от частоты испускае-

мого сигнала. Эти клетки, по-видимому, участвуют в различении эхо-сигнала по частоте и амплитуде, а также детектируют небольшие изменения частоты и амплитуды, вызываемые движениями крыльев насекомого.

Эксперименты, недавно проведенные С. Гайони, Х. Рикимару и мною показали, что область DSCF необходима для различения малых изменений частоты. Когда эту область коры разрушали, летучая мышь могла обнаруживать только значительные частотные сдвиги. Кроме того, ей требовалось вдвое больше времени на компенсацию доплеровского смещения и эффективность выполнения этой задачи была в два раза хуже. На основании полученных результатов мы полагаем, что область DSCF ответственна за точность компенсации доплеровского смещения, но необходимые для этого вычисления осуществляются не в ней. Пока не ясно, как зона DSCF связана с другими областями слуховой коры, ответственными за такие вычисления.

ДОВОЛЬНО хорошо изучена другая важная функция слуховой коры у летучих мышей — определение относительной скорости движущегося объекта. Для решения этой задачи мозг должен вычислять величину доплеровского смещения, т. е. частотный сдвиг между испускаемым сигналом и эхом. Значит, должны существовать нейроны, которые количественно оценивают частотные различия между двумя звуками.

Такие нейроны мы обнаружили в области слуховой коры, названной зоной CF/CF. Она включает два типа нейронов: CF_1/CF_2 и CF_1/CF_3 ; клетки каждого типа образуют обособленный участок. И те и другие нейроны чувствительны только к частотным различиям между монохроматическими гармониками. Нейроны CF_1/CF_2 реагируют на сочетание тона 28—30 кГц (CF_1) с тоном около 61 кГц (CF_2), а нейроны CF_1/CF_3 — на сочетание тона 28—30 кГц (CF_1) с тоном около 92 кГц (CF_3). (Попутно заметим, что частоты CF_2 и CF_3 представляют собой не точно двух- или трехкратную величину частоты CF_1 , а несколько превышают эти значения из-за доплеровского смещения эхо-сигнала.)

Если подавать на нейроны зоны CF/CF стимул, отвечающий одиночному исходному звуковому сигналу, эхо-сигналу, тону CF либо звуку FM, то они реагируют очень слабо. Если же воздействовать исходным сигналом в сочетании с эхом, то реакция парадоксально усиливается: к комбинированному стимулу порог чувствительности в 6300 раз ниже, чем к одиночному.

Функционально-структурная организация зоны CF/CF согласуется с нашим заключением о том, что ее нейроны предназначены в первую очередь для обработки информации, связанной с определением скорости объекта. В этой области слуховой коры каждая колонка нейронов наиболее сильно реагирует на определенное сочетание двух частот. Например, клетки одной из колонок избирательно отвечают на пару 29,60 и 61,20 кГц; нейроны другой колонки, расположенной близко от первой, — на иную комбинацию, 30,05 и 61,10 кГц.

Дальнейшие исследования показали, что такие оптимальные комбинации частот закономерно изменяются при перемещении вдоль поверхности коры. Существует ось, по которой возрастает оптимальная частота CF_1 и перпендикулярная ей ось, по которой возрастает частота CF_2 или CF_3 . Таким образом получается прямоугольная система координат, каждая точка которой соответствует определенной относительной скорости движущегося объекта.

Поскольку в испускаемом сигнале гармоника кратны основному тону CF_1 , сравнение исходного сигнала CF_1 с гармониками эхо-сигнала CF_2 или CF_3 позволяет определить доплеровское смещение. Допустим, данный нейрон избирательно реагирует на сочетание двух частот — испускаемый тон CF_1 30 кГц и связанное с ним эхо CF_2 61 кГц; так как в испускаемом сигнале гармоника CF_2 представляет собой удвоенную частоту CF_1 , т. е. 60 кГц, доплеровское смещение в эхо-сигнале составит 1 кГц. Такой его величине соответствует относительная скорость движущегося объекта 2,8 м/сек.

Мы обнаружили, что в каждой из зон CF_1/CF_2 и CF_1/CF_3 имеется ось, соответствующая относительным скоростям от -2 до +9 м/с. Притом диапазону скоростей 0—4 м/с соответствует явно избыточное количество нейронов, что говорит о важности этого диапазона. Действительно, именно такие скорости характерны для важнейших видов активности летучей мыши, например когда она собирается устроиться на ночлег либо как-то иначе "приземлиться" или слету схватить насекомое.

От области CF/CF слуховой коры мы перешли к вопросу о том, на каком уровне нервного пути слуховых сигналов и где конкретно начинается сравнение их по частоте. Было ясно, что такое сравнение производится не в периферической слуховой системе, а значит, начинается где-то в центральной системе. Дж. Олсен из Станфордского университета измерял электрофизиологические параметры вдоль



ветствующие определенным относительным скоростям объекта. Внизу справа графически изображена частотная настройка нейрона CF_1/CF_2 , который максимально реагирует на частоту CF_1 29,38 кГц при силе звука 63 дБ в комбинации с CF_2 60,52 кГц при 45 дБ.

слухового нервного пути и обнаружил в некоторых областях нижнего холмика нейроны, настроенные на одиночные частоты CF_1 , CF_2 или же CF_3 . От этих клеток сигналы идут в определенную область медиального коленчатого тела, где сигналы интегрируются и, таким образом, именно здесь нейроны впервые реагируют уже на комбинацию двух частот — CF_1 с CF_2 или с CF_3 . Импульсы, возникающие в ответ на комбинированные сигналы, поступают в соответствующие участки области CF/CF слуховой коры.

ДО СИХ ПОР я рассматривал процесс обработки акустической информации, содержащейся только в компонентах CF биолокационного сигнала. Однако *Pteronotus parnellii* испускает также звук FM, завершая им сигнал CF. Для чего нужен этот звук? Оказалось, что именно в нем — основной ключ для последующего определения интервала времени между сигналом и эхом, а значит, и расстояния до объекта. Запаздывание эха на 1 мс соответствует расстоянию до цели 17,3 см (при температуре воздуха 25°C). По данным Симмонса, летучие мыши некоторых видов могут детектировать разницу в расстоянии 12—17 мм, а значит, способны различать изменение в запаздывании эха

всего лишь на 0,069—0,098 мс!

Как и в области CF/CF, обрабатываемая информация — в данном случае связанная с вычислением запаздывания эха — представляется в виде “карты” в определенном участке слуховой коры, который мы называем областью FM-FM. Нейроны этой зоны очень слабо реагируют на любой одиночный сигнал, будь то исходный сигнал, эхо, тон CF или звук FM. Но ответная реакция значительно усиливается, если за исходным сигналом с определенным запаздыванием следует эхо. Чувствительность нейрона области FM-FM к комбинации сигнала с эхом может в 28 тыс. раз превышать чувствительность к одиночному сигналу или к эху.

Нейроны области FM-FM осуществляют сравнение испускаемого сигнала FM_1 с запаздывающим эхом FM_2 , FM_3 или FM_4 . Таким образом, в этой области имеются три типа нейронов, чувствительных к времени запаздывания; клетки разных типов группируются в разных участках зоны FM-FM. Каждый нейрон этой области настроен на определенную длительность запаздывания; кроме того, большинство их настроено также на определенную амплитуду эхо-сигнала. В результате большинство нейронов FM-FM специализировано на распознавание объекта определенных рас-

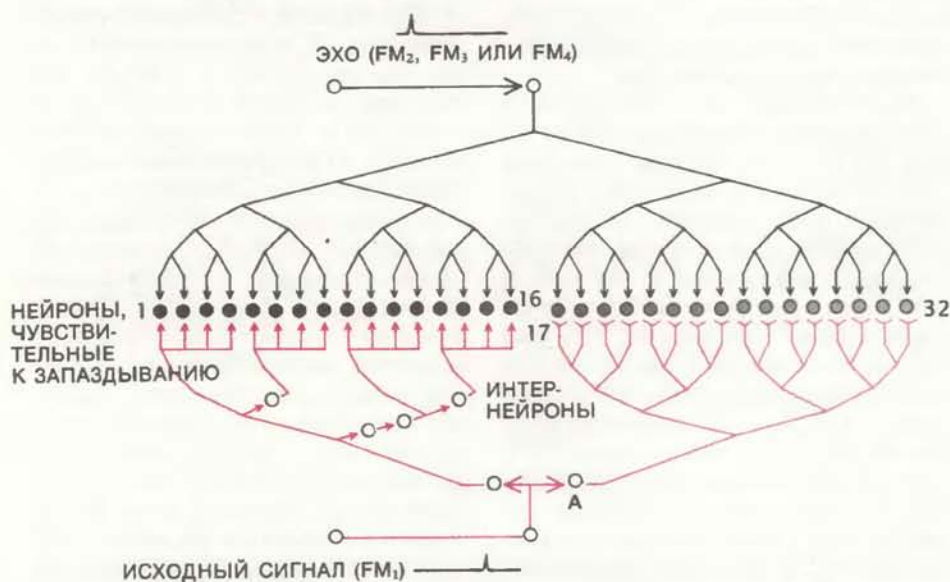
меров, находящегося на определенном расстоянии.

Функционально-структурная организация области FM-FM согласуется с нашим заключением о том, что эта область предназначена главным образом для обработки информации о расстоянии. Расположенные друг под другом нейроны, образующие колонку, реагируют на одну и ту же (оптимальную) продолжительность запаздывания эхо-сигнала; колонки организованы так, что оптимальное запаздывание возрастает вдоль некоторой оси от 0,4 до 18 мс, что соответствует расстоянию до объекта от 7 до 310 см. Разрешающая способность этого набора нейронов, по-видимому, такова, что животное способно детектировать 10-миллиметровую разницу в расстоянии до объекта. Наши оценки получили подтверждение в исследованиях Симмонса, изучавшего поведение летучих мышей.

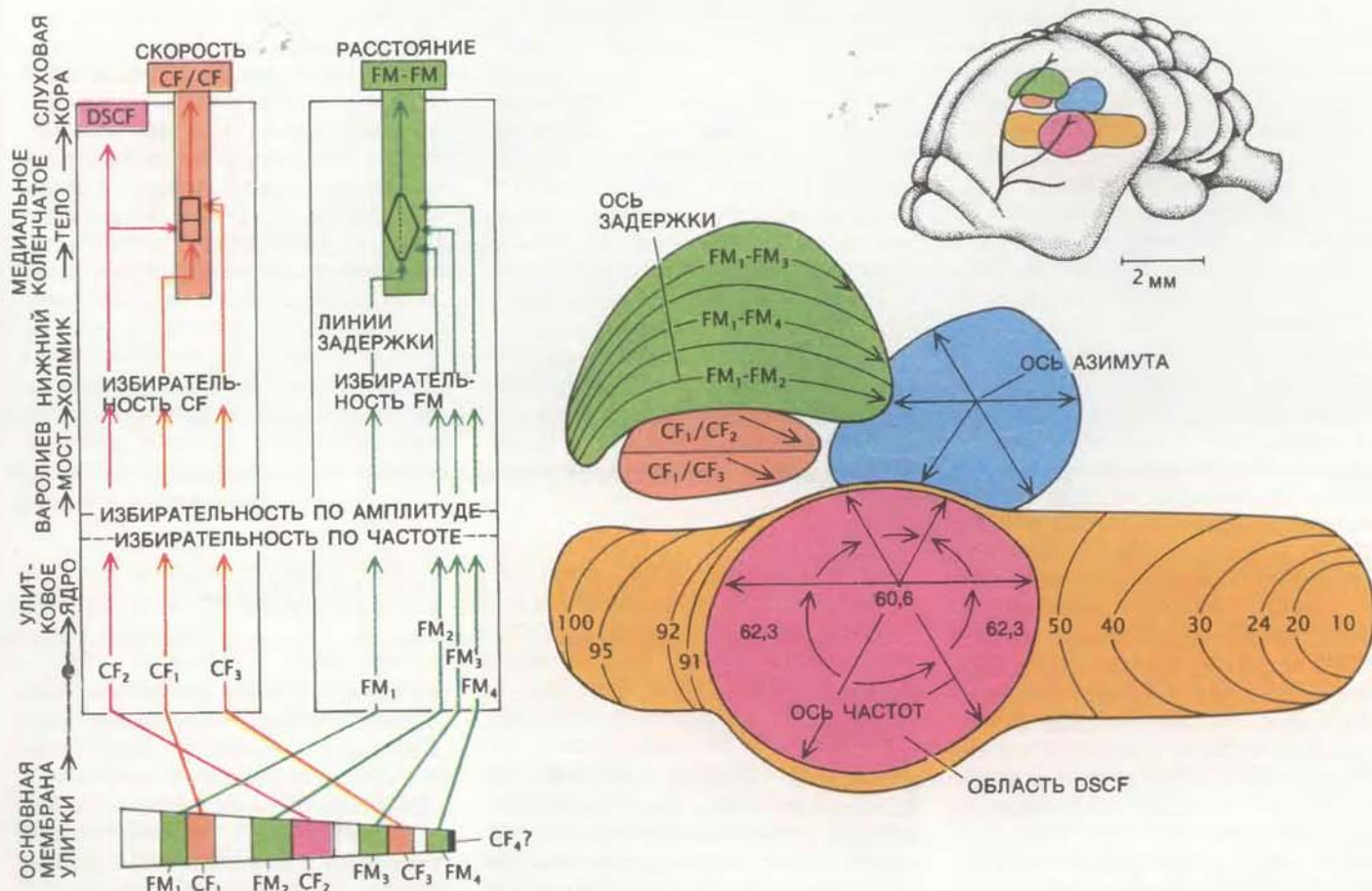
КАКИМ образом организация нервных путей в слуховой системе обеспечивает чувствительность определенных нейронов к продолжительности запаздывания эха? Эти нейроны, как и нейроны, избирательно отвечающие на комбинации частот, впервые — если следовать от периферии к центру — обнаруживаются в медиальном коленчатом теле. Чтобы выяснить, как эти нейроны связаны с другими элементами слухового пути, Олсен вводил в них фермент (пероксидазу хрена), который диффундирует по нервным путям; метка проникла в две группы клеток нижнего холмика, а также в область FM-FM слуховой коры.

Обе эти группы клеток нижнего холмика, из которых одна настроена на сигнал FM_1 , а другая — на высшие гармоники эха FM, посылают свои импульсы в одну и ту же группу нейронов медиально коленчатого тела; очевидно, именно этим у последних создается чувствительность к комбинациям частот FM. Работавший у меня студент Дж. Батмэн показал, что избирательная чувствительность к комбинациям частот осуществляется в значительной степени при участии рецептора к N-метил-D-аспартату (NMDA). Биофизические свойства этого рецептора таковы, что реакция нейрона сильно возрастает, если поступающие к нему импульсы совпадают. Иначе говоря, рецептор решает логическую задачу “И” типа “если А и В, то С”.

Каким образом эти нейроны становятся чувствительными к запаздыванию эха? Олсен обнаружил, что нейроны FM-FM медиального коленчатого тела дают не столь сильно выра-



НАСТРОЙКА НЕЙРОНОВ на определенные значения запаздывания эха создается особенностями нейронной сети. Ответ на сигнал FM_1 задерживается, так что один из нейронов воспринимает этот сигнал одновременно с какой-то гармоникой эха FM; это совпадение вызывает возбуждение данной клетки. Реакция на исходный сигнал, испускаемый летучей мышью, задерживается в результате того, что требуется некоторое время на прохождение нервного сигнала по аксону и передачу его в синапсах. Еще большие задержки достигаются путем торможения. Нейрон А вызывает торможение нейрона 17 через нейрон 32; по истечении некоторого времени торможение, начиная с нейрона 17, прекращается и сменяется кратковременным возбуждением. (Более длительные задержки изображены менее интенсивным цветом.) А эхо-сигнал подается на все нейроны без задержки и одновременно.



ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ НЕРВНЫЕ ПУТИ используются для обработки различной биолокационной информации (слева). Разные участки основной мембраны улитки возбуждаются различными гармониками CF и FM, и соответствующие сигналы направляются в слуховую кору через несколько подкорковых ядер. По мере продвижения по слуховому пути к центральным структурам возрастает точность настройки нейронов по частоте и амплитуде. В первичной слуховой коре частоты от 10 до 100 кГц организованы тоно-

топически (желтое пятно); в обширной центральной области (розовая) представлен диапазон частот 60,6—62,3 кГц. Сигналы CF и FM, обработанные в медиальном колленчатом теле, возбуждают нейроны, настроенные на определенные комбинации сигналов CF и FM. Эти нейроны посылают импульсы в области CF/CF или FM-FM, так что получаются карты, на которых топографически представлены относительная скорость (коричневая) и удаленность объекта (зеленая).

женную реакцию на запаздывание эха, как нейроны FM-FM слуховой коры, и что они, кроме того, в некоторой степени реагируют на одиночные сигнал или эхо. Существенно, что интервал времени между поступлением сигнала FM₁ и ответом на него у этих нейронов всегда продолжительнее, чем при ответе на эхо FM₂, FM₃ или FM₄; причем разница в длительности этого интервала равна тому запаздыванию эха, на которое настроен данный нейрон.

Эти наблюдения указывают на то, каков механизм для вычисления запаздывания эха. Когда летучая мышь испускает и слышит свой сигнал FM₁, нейронная реакция на него задерживается на пути к медиальному колленчатому телу. Однако ответ на возвращающееся эхо не задерживается. Получается, что задержанный ответ на исходный сигнал и незамедлительный ответ на возвращающееся эхо достигают соответствующих нейронов медиального колленчатого тела одновременно. Совпадение двух раздра-

жителей возбуждает настроенный именно на такое совпадение нейрон, и он дает сильную ответную реакцию. Этот гипотетический механизм предполагает наличие ансамбля нейронов с множеством линий задержки, в котором точно настроенные клетки в совокупности охватывают весь практически важный диапазон запаздывания эха-сигнала.

Где расположены эти линии задержки — в медиальном колленчатом теле или ближе к периферии? Поскольку разница в интервалах времени, протекающем от момента поступления сигнала до ответа на него, между реакциями на исходный сигнал и на эхо впервые обнаруживается в сигналах, исходящих от нейронов нижнего холмика, мы полагаем, что по крайней мере некоторые линии задержки должны находиться в самом нижнем холмике. У голоспинного листоноса нижний холмик представляет собой крупное ядро, выступающее между полушариями головного мозга и мозжечком. Нервные волокна восходят

из вентролатеральной части холмика к его дорсомедиальной части. Нервные импульсы, проходя по этим волокнам расстояние около 2 мм, возбуждают 100 или более нейронов и при этом создают задержку до 8 мс.

Однако область FM-FM слуховой коры рассчитана на запаздывания эхо-сигнала до 18 мс. Значит, линии задержки в нижнем холмике обеспечивают не весь диапазон возможного запаздывания. Предположительно, дополнительное запаздывание создается тормозными синапсами в медиальном колленчатом теле.

ОБСУЖДАЯ обработку информации, связанной с определением скорости, размеров и удаленности объекта, я обходился вопросом о том, почему летучая мышь испускает ряд гармоник. Почему недостаточно одной гармоники? "Технически" хватило бы и одной, но животному нужно несколько, чтобы справиться с другой проблемой. Летучие мыши живут колониями, включающими сотни особей. Если

бы все они при эхолокации пользовались только одной гармоникой, это привело бы к полной неразберихе. Надежно избежать такой путаницы позволяют несколько механизмов. Один из них — бинауральный слух. Другой очень важный механизм основан на свойствах первой гармоники.

Первая гармоника является самой слабой компонентой испускаемого сигнала; на ее долю приходится менее 1% всей энергии звукового сигнала. В общем сигнале эта компонента столь незначительна, что все остальные летучие мыши едва ли слышат ее. В криках других особей животное слышит главным образом высшие гармоники. Однако комбинации высших гармоник не возбуждают нейроны FM-FM и CF/CF; для этого обязательно участие первой гармоники. Эту компоненту может слышать практически только сама испускающая сигнал особь, поскольку звук от голосовых связок достигает ушей прямо по тканям головы. Только сочетание первой гармоники с более высокими гармониками, сдвинутыми во времени или по частоте, способны стимулировать нейроны FM-FM и CF/CF. Таким образом биолокатор каждой летучей мыши в колонии надежно защищен от какофонии эхо-сигналов, создаваемой сородичами.

Подавление первой гармоники дает еще одно важное преимущество. У многих видов бабочек, на которых охотятся летучие мыши, есть специальный рецептор, высокочувствительный к звукам в диапазоне частот 15—40 кГц, но относительно нечувствительный к более высоким частотам; при помощи этого органа бабочки избегают опасного хищника. Благодаря подавлению первой гармоники, частота которой соответствует 24—31 кГц, голоспинный листонос может приблизиться к жертве незамеченным.

ДЛЯ ЛЕТУЧИХ мышей слух столь же жизненно важен, как зрение для других животных. Неудивительно, что именно у летучих мышей в слуховой коре головного мозга обнаружена такая совершенная “вычислительная машина”. Однако звук биологически важен для многих животных. Обладают ли они подобными нервными механизмами? Оказывается, да.

Р. Капраника из Корнеллского университета и А. Фенг из Иллинойского университета в Эрбана — Шампейн показали, что у лягушек имеет место обработка сложных звуков, например брачных призывов, с помощью нейронов, реагирующих на комбинации двух существенно важ-

ных элементов сигнала. Д. Маргольяс из Чикагского университета обнаружил подобные нейроны у певчих птиц. Таким образом, есть основания считать, что обработка жизненно важных звуков с помощью нейронов, чувствительных к комбинациям характеристических параметров звуковых сигналов, является ключевым принципом вычислительных механизмов нервной системы, действующим у различных видов животных.

Вполне вероятно, что и у человека в слуховой системе имеются ансамбли нейронов, обрабатывающие звуки речи. Хотя обработка речевых сигналов присуща только человеку и обеспечи-

вается в основном так называемым неокортексом (т. е. “новой корой”), роль подкорковых областей слуховой системы, содержащих нейроны, чувствительные к комбинациям элементов сигналов, в анализе речевых звуков, возможно, гораздо важнее, чем считалось ранее. Маунткэст, Хьюбел и Визел показали, что такого рода механизмы лежат в основе функциональной активности соматосенсорной коры и зрительной коры у обезьян и кошек. Наши исследования слуховой коры у летучих мышей способствуют, следовательно, не только пониманию природы слуха, но и познанию сенсорных систем вообще.

Наука и общество

Новая эра в астрономии

САМЫЙ сложный и дорогостоящий из созданных когда-либо научных инструментов выведен на земную орбиту и проходит начальные испытания. Космический телескоп «Хаббл», запущенный 24 апреля шаттлом, включает новейшие достижения науки и техники. Построенный более чем за 1,5 млрд. долл. по заказу НАСА, телескоп управляется из Годдардовского центра космических полетов специалистами в количестве 290 человек. Создание телескопа свидетельствует о достижении новых рубежей в развитии техники. Поверхность главного 232-миллиметрового зеркала отполирована лучше, чем у любого из имеющихся телескопов, а система наведения может сориентировать на объект размером с десятицентовую монету, находящуюся на расстоянии 640 км.

Прибор получил название в честь американского астронома Эдвина Хаббла, который первым высказал предположение о расширении Вселенной на основе красного смещения в спектрах далеких галактик. Первоначально запуск телескопа был намечен на 1983 г., но постоянно откладывался. В некотором смысле эти задержки шли на пользу, поскольку у разработчиков появилась возможность произвести улучшение и переписать программное обеспечение для наведения телескопа, которое первоначально было несовершенным.

К тому времени, как была разработана конструкция космического телескопа, наземные телескопы несколько усовершенствовались. Лучшие из

них имеют сегодня разрешение примерно 1". Гибкие, управляемые компьютерами зеркала, компенсирующие атмосферные искажения, в некоторых случаях могут достигать разрешения 0,3—0,4". Тем не менее решающая способность главной камеры космического телескопа, работающего в разреженном космическом пространстве, должна быть около 0,05".

Кроме того, телескоп будет вести наблюдения не только в видимой части спектра, но и в ультрафиолетовом диапазоне, излучение которого не проходит сквозь атмосферу. «Теперь исследование в этой области спектра — реальная задача», — говорит К. Блайдз из Института космического телескопа в Балтиморе, где астрономы планируют проведение наблюдений и обработку данных, получаемых с 5 основных приборов, обслуживающих «Хаббл».

Если телескоп будет работать в соответствии с предусмотренными характеристиками, то этой осенью, когда начнется нормальный режим наблюдений, он, вероятно, прояснит некоторые давние загадки космоса. Одна из основных задач заключается в более точном измерении расстояний между галактиками путем наблюдения входящих в них долгопериодических переменных звезд — так называемых цефеид.

Новые данные помогут сузить диапазон значений постоянной Хаббла — скорости расширения Вселенной. Сейчас известно лишь, что эта величина приблизительно равна 2. Космический телескоп позволит определить ее с погрешностью до 10%. На основании более точного ее значения мож-

600 ТЫС. СВ. ЛЕТ

2 МЛРД. СВ. ЛЕТ

14 МЛРД. СВ. ЛЕТ

ТЕЛЕСКОП «ХАББЛ» позволит астрономам изучать Вселенную на гораздо более далеких расстояниях, чем с помощью наземных наблюдений.

но будет вычислить возраст Вселенной, который сейчас оценивается в 10—20 млрд. лет.

Кроме того, наблюдения звезд и далеких (и потому молодых) галактик должны прояснить эволюцию этих небесных объектов. Есть надежда, что новые данные позволят установить роль черных дыр в формировании галактик и природу очень далеких и высокоэнергетических объектов, таких как квазары. Не исключено, что с помощью телескопа удастся обнаружить планеты около ближайших к нам звезд.

Путем измерения скорости сильно удаленных объектов телескоп поможет определить также, насколько быстро замедляется расширение Вселенной. Если замедление происходит быстро, то Вселенная в конечном итоге может сколлапсировать; если нет, то расширение может продолжаться бесконечно. «Определение судьбы Вселенной можно рассматривать как завещание Хаббла, — говорит Э. Чейссон из Института космического телескопа. — Это невероятно интересная задача».

Снова Северный полюс

ДОСТИГ ли Роберт Пири Северного полюса? В декабре прошлого года контр-адмирал в отставке Т. Дейвис из Навигационного фонда составил доклад для Национального географического общества, намереваясь решить этот вопрос раз и навсегда. Вместо того чтобы подтвердить известное заявление Пири, доклад открыл тему для новой полемики. (См. «Наука и общество» в майском номере журнала за этот год).

Предмет обсуждения — точность использованного Дейвисом метода анализа фотографий, якобы сделан-

ных Пири около полюса в 1909 г. Дж. Уильямсон, фотограмметрист, к которому Дейвис обращался в 1989 г., чтобы исследовать фотографии Пири, сообщил в письме в редакцию «Scientific American»: «Очень жаль, что узкодиапазонная фотограмметрия получает плохую репутацию «бесполезной на практике» из-за действий непрофессионала». Среди проблем он выделяет следующую: Дейвис анализировал изображение, используя перспективный метод, который можно применять только в том случае, когда камера направлена прямо в лоб на плоский объект. Если камера наклонена, необходимо использовать другие формулы. (Переписка между Уильямсоном и Дейвисом демонстрирует их расхождение во мнениях относительно анализа погрешностей: Уильямсон считал, что нужно учесть больше ошибок, Дейвис — меньше. Когда Дейвис решил сделать работу сам, Уильямсон попросил не упоминать его имя.)

Между тем Дейвис сетует на то, что его притязания на точность были представлены в ложном свете. Он утверждал только, что установил местонахождение Пири (с вероятностью 65%) в 32 км от полюса, а не 8 или 10 км. «К сожалению, нет достаточно сильных научных доказательств», — добавляет он. Однако в январе 1990 г. в журнале «National Geographic» Дейвис писал: «Мы могли проанализировать несколько изображений, сделанных близ лагеря Кэмп-Джисап, и пришли к заключению, что Пири, вероятно, был в 8—10 км от сообщенного им местонахождения, но, конечно же, никак не дальше чем в 24 км».

Затем в середине февраля Навигационный фонд обнаружил еще две фотографии Пири (одна из них была опубликована в майском номере журнала «National Geographic»). Солнце

отчетливо видно на обоих снимках, и таким образом, по словам фотограмметриста У. Хайзера, они позволяют определить с точностью до 1/6-ошибку теневого метода. Согласно расчетам Хайзера, Пири был где-то на линии (хотя никто точно не знает, в какой ее точке), которая проходит на расстоянии не более 5 км от полюса. Д. Роллинз, астроном, открыто выражающий недоверие Пири, сделал собственный фотограмметрический анализ двух других снимков Пири (используя соответствующие формулы) и пришел к выводу о местонахождении его в 160 км от полюса. Кроме того, согласно Роллинзу, две новые фотографии, на которых видно Солнце, были найдены в августе прошлого года в Национальном архиве. Он предполагает, что специалисты из фонда не использовали их в первоначальном анализе, поскольку они могли поддержать точку зрения, что Пири преднамеренно датировал свои фотографии, чтобы они показывали линию местонахождения, проходящую через полюс.

Роллинз также заостряет внимание на подозрительно хороших расчетах при анализе фотографий, сделанном фондом, и отсутствии детального обоснования расчета ошибок; он призвал Национальное географическое общество сделать фотографии доступными для изучения независимыми специалистами.

Навигационный фонд уже опубликовал дополнительный доклад, содержащий два новых снимка и другие данные. И все же появилась новая, третья фотография — ее еще предстоит изучить. Военно-морской институт собирается провести встречу в апреле 1991 г, чтобы позволить Роллинзу, Дейвису и другим открыто высказать свои соображения. Следите за информацией.

Система срединно-океанических хребтов

Эта самая длинная горная цепь и наиболее активная вулканическая зона до последнего времени оставалась наименее доступной для исследований областью. Новые карты дают поразительную картину образования и эволюции сегментов срединных хребтов

КЕННЕТ С. МАКДОНАЛЬД, ПОЛ ДЖ. ФОКС

ИЮЛЬСКИМ днем 1982 г. мы поднялись на борт научно-исследовательского судна «Томас Вашингтон», чтобы принять участие в экспедиции по изучению Восточно-Тихоокеанского поднятия — вулканической цепи, скрытой водами Тихого океана. Это поднятие — часть огромной геологической формации протяженностью 75 000 км, известной под названием системы срединно-океанических хребтов. Подобно шву на бейсбольном мяче, эти хребты опутывают земной шар: они тянутся от Арктики к Атлантическому океану, проходят вокруг Африки, Азии и Австралии, а под Тихим океаном протягиваются к западному берегу Северной Америки. Хотя система срединно-океанических хребтов является наиболее протяженной горной цепью, обнаруженной до сего времени на земном шаре, знаем мы о ней меньше, чем о кратерах на обратной стороне Луны.

Наши коллеги из Океанографического института Скриппса буквально перед началом экспедиции оборудовали судно «Томас Вашингтон» новым типом сонара (зондирующей акустической системы), разработанного корпорацией General Instrument. Сонар, названный «SeaBeam» («Морской луч»), картирует на дне океана полосу шириной 2 км. Мы надеялись, что новая система позволит увидеть дно океана в гораздо больших деталях, чем раньше, и получить новые данные о том, какие силы формируют и преобразуют систему срединно-океанических хребтов.

Удалившись на 2500 км к юго-востоку от базы института Скриппса в Сан-Диего, мы пересекли гребень Восточно-Тихоокеанского поднятия, находящийся на глубине около 2,5 км. Поднятие отмечает границу между Тихоокеанской плитой и плитой Кокос — двумя из многих литосфер-

ных плит, образующих земную кору и верхнюю мантию. Плиты раздвигаются со скоростью около 120 мм/год (вдвое быстрее, чем растет ноготь). По мере раздвижения плит на гребне поднятия возникают трещины, через которые расплавленная порода просачивается из мантии. Часть этой породы изливается на океаническое дно в виде мощных извержений. Застывая, магма образует ежегодно новую кору площадью во многие квадратные километры. Находясь в нескольких километрах от арены действия этих сил, мы чувствовали себя лилипутами, ползающими по спине дремлющего гиганта, который в любой момент может проснуться.

По мере того как «SeaBeam» ощупывал спину этого гиганта, на экранах мониторов на борту «Томаса Вашингтона» перед нашим взором представали изображения морского дна. Мы видели знакомые картины: приподнятый горный массив, определяющий ось хребта, огромные провалы, называемые трансформными разломами, по которым сегменты хребта смещаются в стороны на сотни километров. Но вместе с Питером Лонсдейлом из Института Скриппса мы наблюдали и некоторые неизвестные структуры: изгибающиеся деформированные сегменты, отрезки хребта, заходящие один за другой. Мы видели также океаническую кору, которая в местах тектонических нарушений подверглась искривлению и короблению.

С начала 1980-х годов многие участки Восточно-Тихоокеанского поднятия и других срединно-океанических хребтов были изучены нашими коллегами из Франции, Великобритании и США. В результате было обнаружено, что на хребтах имеется много поперечных разрывов (нарушений), разделяющих хребет на отдельные сегменты. Хотя эти нарушения различ-



ны по форме и «поведению», большинство из них более глубоки и вулканически менее активны, чем разделяемые ими сегменты. Таким образом, гребень Восточно-Тихоокеанского поднятия то ныряет вниз, то взмывает вверх на сотни метров на расстоянии от 10 до 1000 км. За последние несколько лет у нас сложилось представление о том, как эволюционируют эти нарушения и сегменты и как они связаны с процессами, происходящими глубоко в коре и мантии.

Спрединг океанического дна

АМЕРИКАНСКИЙ океанограф Брюс Хизен очень точно сказал о срединно-океанических хребтах: «Этот раны, которые не затягиваются». В 1956 г. Хизен и Морис Юинг заметили, что землетрясения в океанических бассейнах происходят в основном в некоей полосе, охватывающей весь земной шар. Поскольку эта полоса совпадала с известными в то время отдельными участками срединно-океанических хребтов, ученые высказали предположение о единстве и непрерывности системы срединных хребтов на Земле. С тех пор океанографы и геологи пытаются более пристально рассмотреть срединно-океаничес-

кие хребты с целью более глубокого понимания их происхождения.

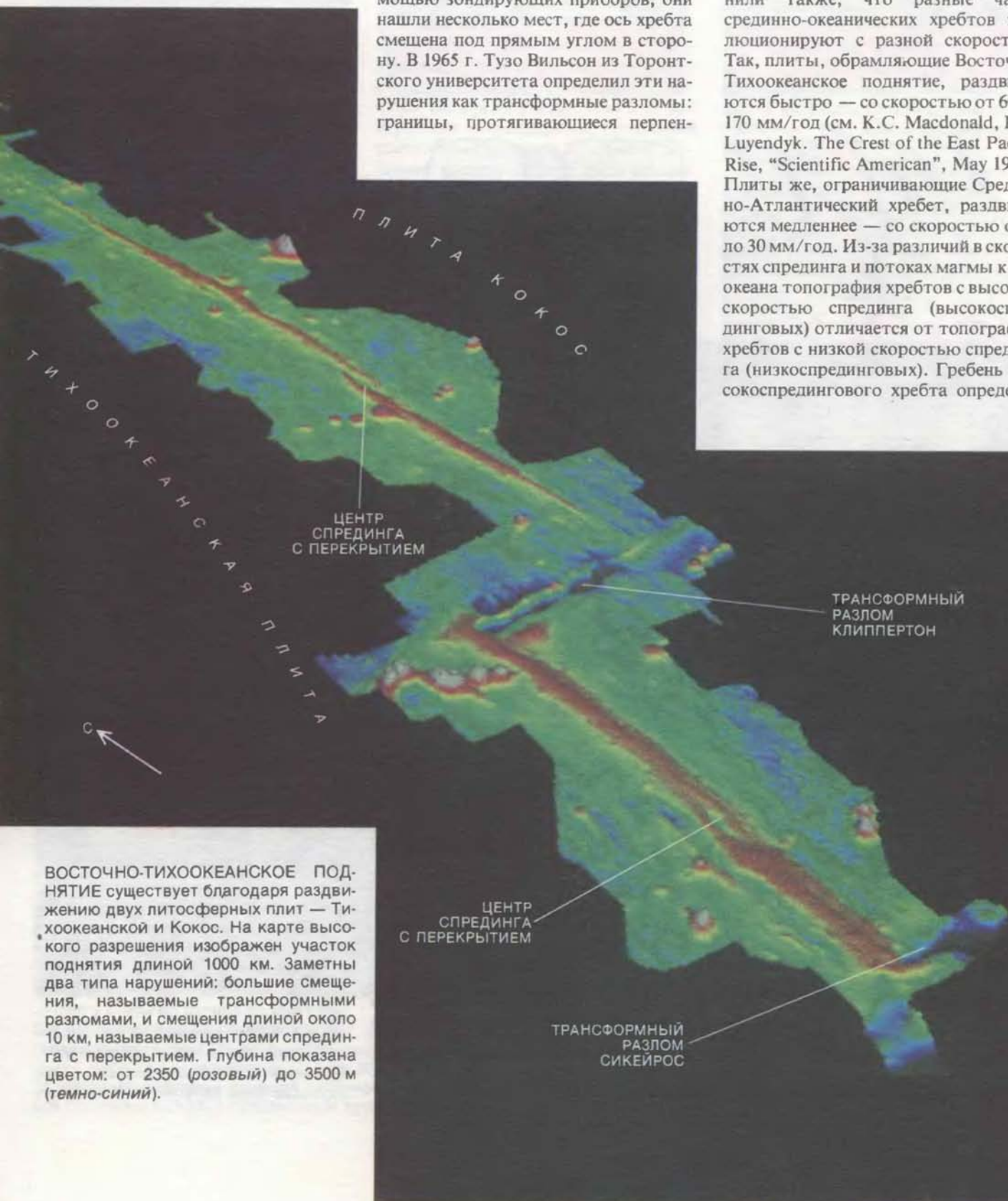
Глобальные геологические процессы, формирующие и преобразующие хребты, оставались непонятыми до 1960 г., когда Гарри Хесс из Принстонского университета ввел понятие о спрединге (раздвижении) океанического дна. После него другие ученые развили эту идею, создав теорию, названную тектоникой плит. В ней утверждается, что кора и верхняя мантия сложены несколькими десятками плит, подобными Тихоокеан-

ской или плите Кокос, которые перемещаются относительно друг друга. При раздвижении двух плит материал из мантии может подниматься к поверхности дна, формируя хребет и новую океаническую кору.

Тектоника плит объясняет существование крупнейших элементов системы срединно-океанических хребтов. Однако уже в 1960 г. Уильям Менард из Океанографического института Скриппса и Хизен обнаружили, что срединно-океанический хребет, строго говоря, не является непрерывной структурой. Картируя хребты с помощью зондирующих приборов, они нашли несколько мест, где ось хребта смещена под прямым углом в сторону. В 1965 г. Тузо Вильсон из Торонтского университета определил эти нарушения как трансформные разломы: границы, протягивающиеся перпен-

дикулярно простиранию хребта, вдоль которых края литосферных плит скользят относительно друг друга в противоположных направлениях. Позднее Ричард Хей из Гавайского университета пришел к выводу о том, что сегменты, ограниченные двумя трансформными разломами, могут смещаться параллельно простиранию хребта. Этот тип нарушения был назван продвигающимся рифтом.

К 1980-м годам океанографы выявили много трансформных разломов и продвигающихся рифтов. Они выяснили также, что разные части срединно-океанических хребтов эволюционируют с разной скоростью. Так, плиты, обрамляющие Восточно-Тихоокеанское поднятие, раздвигаются быстро — со скоростью от 60 до 170 мм/год (см. К.С. Macdonald, В.Р. Luyendyk. The Crest of the East Pacific Rise, "Scientific American", May 1981). Плиты же, ограничивающие Срединно-Атлантический хребет, раздвигаются медленнее — со скоростью около 30 мм/год. Из-за различий в скоростях спрединга и потоках магмы к дну океана топография хребтов с высокой скоростью спрединга (высокосрединговых) отличается от топографии хребтов с низкой скоростью спрединга (низкосрединговых). Гребень высокосредингового хребта определя-



ВОСТОЧНО-ТИХООКЕАНСКОЕ ПОДНЯТИЕ существует благодаря раздвижению двух литосферных плит — Тихоокеанской и Кокос. На карте высокого разрешения изображен участок поднятия длиной 1000 км. Заметны два типа нарушений: большие смещения, называемые трансформными разломами, и смещения длиной около 10 км, называемые центрами спрединга с перекрытием. Глубина показана цветом: от 2350 (розовый) до 3500 м (темно-синий).

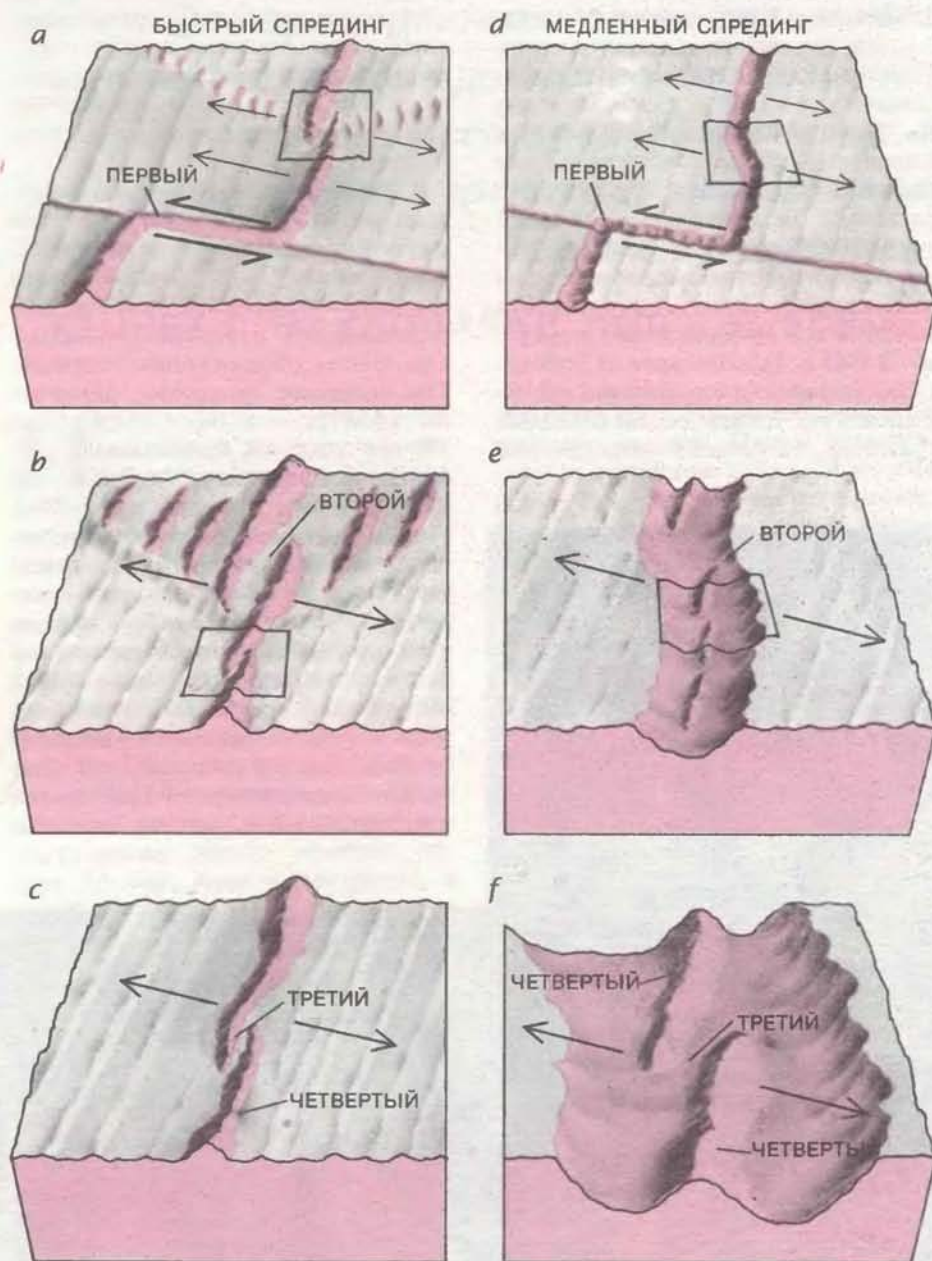
ется воздыманием океанической коры на несколько сотен метров в полосе шириной от 5 до 20 км. В противоположность этому ось низкоспрединого хребта характеризуется прежде

всего рифтовой долиной глубиной несколько километров и шириной от 20 до 30 км.

В начале 1980-х годов Ганс Шутен из Океанографического института в

Вудс-Холе, Ким Клитгорд из Геологической службы США и их коллеги, основываясь на наблюдениях Срединно-Атлантического хребта, выдвинули предположение о том, что трансформные разломы разбивают срединно-океанические хребты на сегменты, которые ведут себя независимо друг от друга. Они предположили, что всякий сегмент, где происходит спрединг, связан с источником, находящимся глубоко в мантии. Полученные ими данные указывали, что каждый сегмент имеет в длину около 50 км и что источники и связанные с ними сегменты хребта остаются неизменными на протяжении десятков миллионов лет.

Когда мы с Лонсдейлом в 1982 г. картировали большие участки осевой полосы Восточно-Тихоокеанского поднятия, мы думали, что поднятие должно представлять в достаточной степени непрерывную структуру, поскольку на длине в 5000 км было открыто лишь девять трансформных разломов, далеко отстоящих друг от друга. К нашему удивлению, оказалось, что ось хребта расчленена множеством небольших боковых смещений (их обнаружено более 40). Они разбивают хребет на сегменты длиной от 10 до 200 км. В отличие от трансформных разломов эти смещения характеризуются захождением концов сегментов хребта друг за друга без явно выраженных разломов, которые бы соединяли эти концы (см. рисунок слева). В дальнейшем мы зарисовали участки сбоку от оси таких смещений с перекрытием и выяснили, что эти структуры быстро эволюционируют. Кроме того, мы обнаружили, что нарушения, о которых идет речь, могут мигрировать вдоль хребта с различными скоростями и в разных направлениях. Сегменты, ограниченные этими нарушениями, явно могут удлиняться или укорачиваться. Карты с высоким пространственным разрешением обнаруживают такие же «свободно ведущие себя» нарушения на Срединно-Атлантическом хребте, где скорость спрединга мала.



НАРУШЕНИЯ на срединно-океаническом хребте можно классифицировать в соответствии с их формами, размерами и протяженностью. Для хребта с высокой скоростью спрединга, каким является Восточно-Тихоокеанское поднятие, нарушением первого порядка является трансформный разлом (а), где жесткие плиты скользят относительно друг друга. Боковое смещение отрезков хребта превышает 50 км. Нарушение второго порядка (b) — это обычно крупный центр спрединга с перекрытием, по которому смещение оси хребта достигает по крайней мере 2 км. Нарушение третьего порядка (c) — это небольшой центр спрединга с перекрытием, где смещение равно 0,5—2 км. Нарушение четвертого порядка (d) характеризуется небольшими отклонениями от осевой линейности. Для хребтов с низкими скоростями спрединга, подобных Срединно-Атлантическому хребту, нарушение первого порядка (d) — это также обычно трансформный разлом, представляющий, скорее, разрыв рифтовой долины, а не всего гребня хребта. Нарушение второго порядка (e) — это искривление рифтовой долины. Нарушение третьего порядка (f) — промежуток между цепочками вулканов, а нарушение четвертого порядка (f) — небольшой промежуток внутри цепочки вулканов. С флангов к нарушениям первого и второго порядков обычно примыкает деформированная кора, которая формируется в процессе развития нарушения. У структур более высокого порядка такой деформации коры не наблюдается, следовательно, они существуют не столь долго.

Модель магмоснабжения

СЦЕЛЮ определить происхождение этих нарушений мы с коллегами попытались найти связь между сегментацией и вулканической активностью. Хотя последняя может резко меняться от одного сегмента к другому, в пределах каждого из них она изменяется достаточно равномерно. Наименее активные области — это глубокие зоны нарушений, а наиболее

активные — мелкие центры спрединга в сегментах (см. статью: Ж. Франшто. Океаническая кора, «В мире науки», 1983, №2).

На основании этих и других наблюдений мы с Шутеном и нашими коллегами разработали модель магмоснабжения в процессе сегментации хребта. В мантии на глубинах от 30 до 60 км породы нагреты до высоких температур, но из-за высокого давления они пребывают в твердом состоянии. На границах между литосферными плитами ситуация иная. Когда плиты раздвигаются, давление в породах падает и часть из них плавится. Расплавленная порода проходит сквозь мантию и заполняет неглубоко лежащую камеру в коре под гребнем хребта. По мере заполнения и выпучивания камеры гребень хребта выталкивается вверх силами плавучести, связанными с наличием расплавленных пород в магматической камере и обширной области горячих пород в верхней мантии (см. рисунок на с. 38).

Согласно модели магмоснабжения, описывающей процесс сегментации, чем больше поступает расплавленных

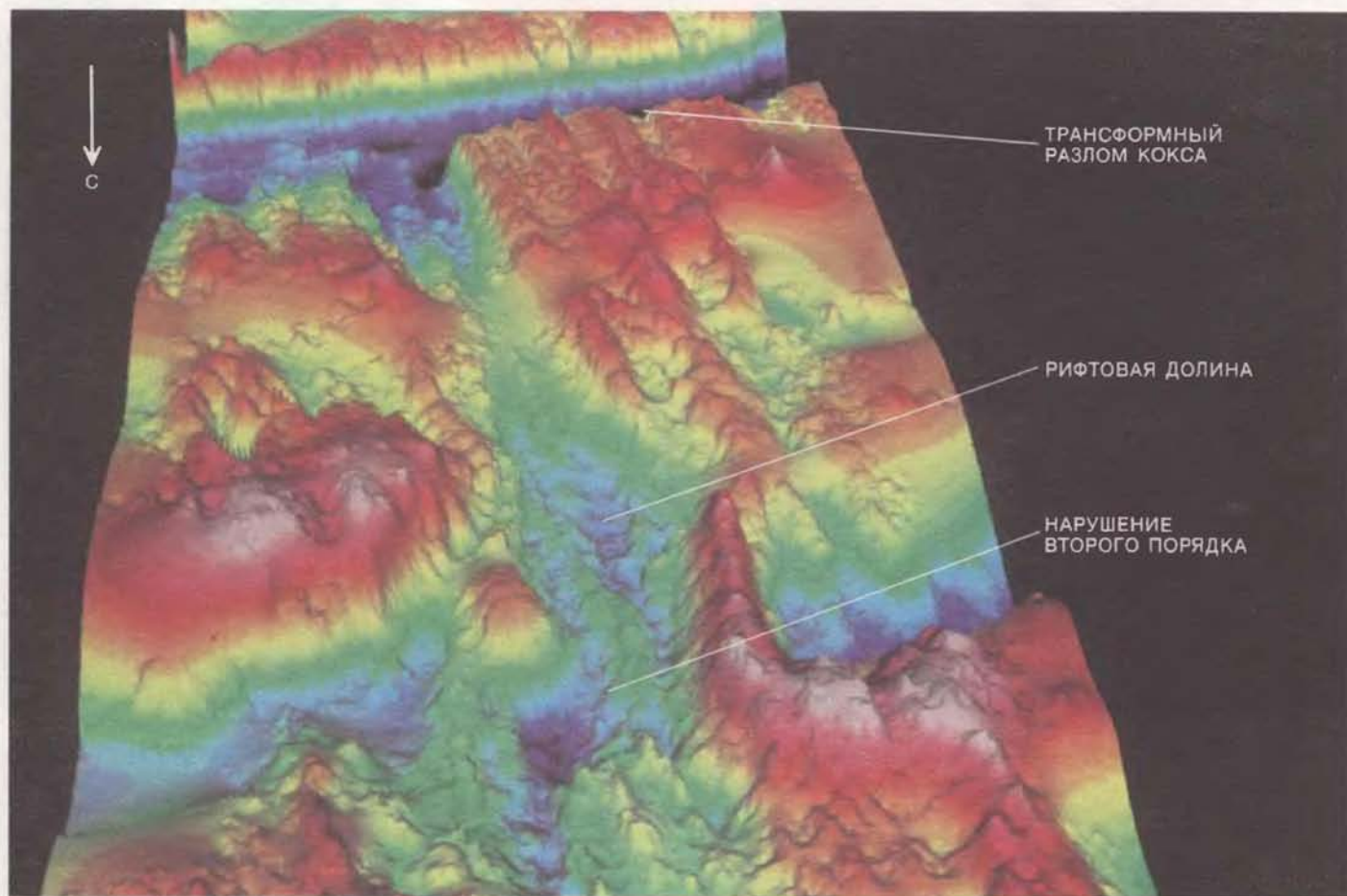
и горячих пород в данную область, тем больше приподнимается вышележащий сегмент хребта. Кроме того, скорость поступления и объем расплавленной породы могут изменяться от одного района к другому, в результате чего возникают вариации в морфологии различных сегментов хребта.

Наша модель объясняет также наличие мелких структурных вариаций. По мере того как магма в камерах движется вдоль оси хребта, тонкая хрупкая кора над магматической камерой растягивается и трескается. Через эти трещины магма может изливаться на океаническое дно. В процессе роста трещин возникают вулканические извержения. Они продолжают до тех пор, пока «производство» магмы не уменьшится и ее поступление не прекратится. Изменение поступления расплава во времени оказывает влияние на поведение сегмента: когда сегмент снабжается расплавленными породами лучше, чем его соседи, он, как правило, удлиняется, а когда хуже — укорачивается. Всплески и затухания в работе «системы

магмоснабжения» в ответ на раздвижение плит и приводят к удлинению и укорачиванию сегментов и миграции небольших нарушений.

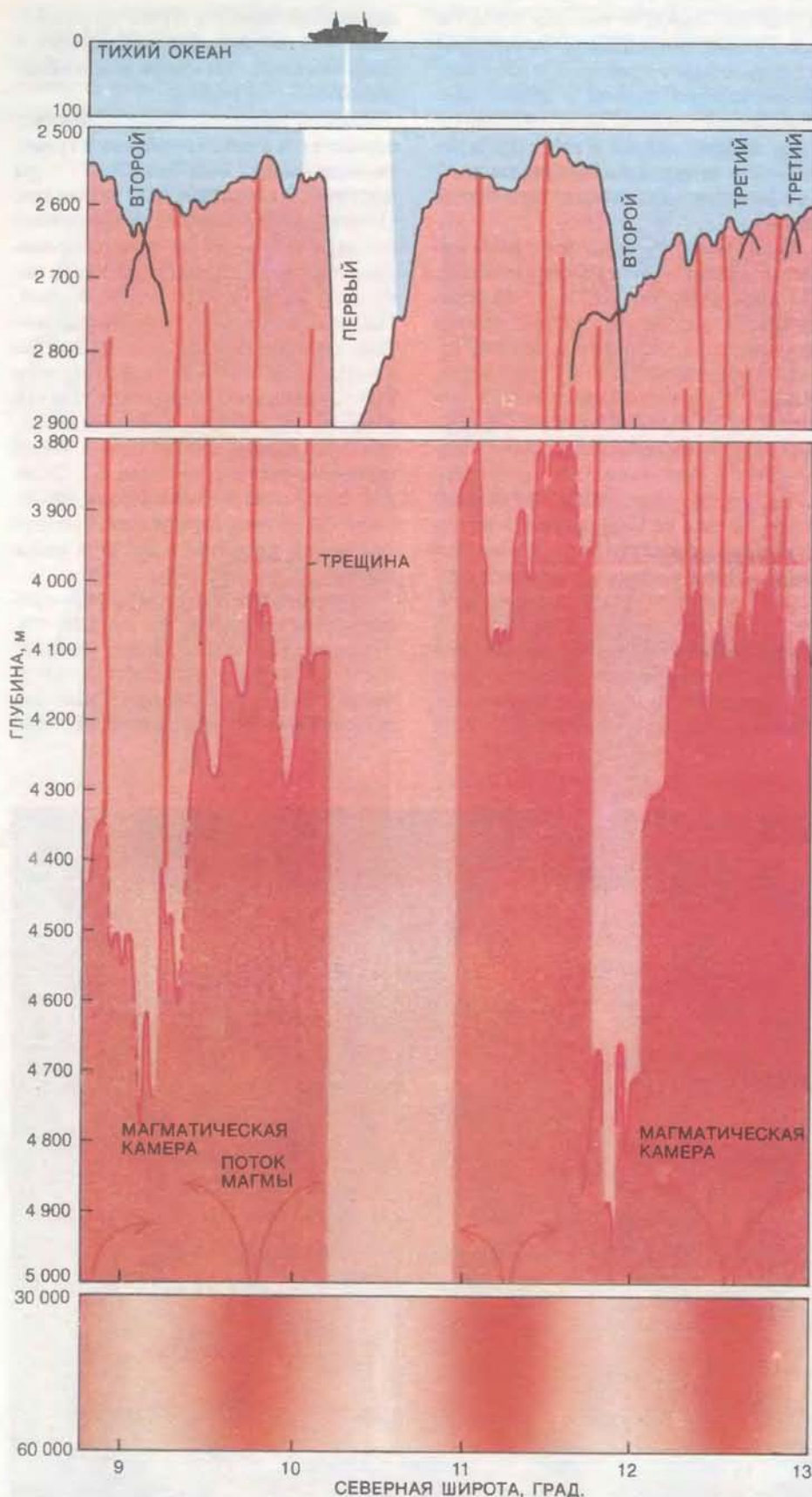
Модель магмоснабжения, похоже, согласуется с сейсмическими и гравитационными измерениями на Восточно-Тихоокеанском поднятии. По данным сейсмических наблюдений на глубине 1,2—2,5 км под приподнятыми частями каждого сегмента находится сильно отражающий слой. При приближении к зонам нарушений этот отражатель часто заглабляется и исчезает. В 1987 г. Роберт Детрик из Род-Айлендского университета и его коллеги выдвинули предположение, что отражатель представляет собой крышу магматической камеры. Сильное отражение звуковых волн объясняется наличием тонкой шляпы почти 100%-ного расплава в верхней части камеры.

Большинство геологов и океанографов сходятся теперь во мнении, что отражатель — это длинное неглубокое тело магмы под хребтом, окруженное горячей породой. Джон Оркатт из Океанографического институ-



СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКИЙ ХРЕБЕТ формируется благодаря раздвижению Южно-Американской и Африканской плит с «небольшой» скоростью — около 30 мм/год. Ось хребта отмечена рифтовой долиной глубиной 2 км, типичной для большинства низкосрединговых хребтов. На карте за-

метно искривление рифтовой долины величиной 12 км (нарушение второго порядка), а также нарушение первого порядка — трансформный разлом Кокса. Глубина показана цветом: от 1900 (розовый) до 4200 м (темно-синий).



МАГМА просачивается вверх из глубоких слоев мантии, формируя Восточно-Тихоокеанское поднятие (показано сечение вдоль гребня хребта). Ученые полагают, что частично расплавленная порода с глубин 30—60 км пробивает путь наверх и высвобождается в большем количестве в одних местах (темно-красный), и в меньшем в других (светло-красный). Предполагается, что расплавленная порода заполняет и раздвигает магматические камеры. Данные сейсмических измерений предположительно определяют глубину верхней границы магматических камер (прерывистая красная линия). Расплавленная порода, поднимаясь из магматической камеры через трещины в коре, затвердевает или изливается на океаническое дно. При нарушении первого, второго, а иногда и третьего порядков происходит разрыв камеры. Глубина поверхности хребта (черная линия вверху) определена по измерениям с помощью сонара.

та Скриппса и его коллеги провели сейсмические наблюдения вдоль северной части Восточно-Тихоокеанского поднятия, из которых можно сделать вывод, что такая камера с расплавленной породой имеет всего от 2 до 4 км в ширину и менее 1 км в толщину. Магматическая камера окружена более обширной областью очень горячих (возможно, частично расплавленных) пород. Этот резервуар может иметь от 6 до 10 км в ширину и от 3 до 6 км в высоту. Он простирается по крайней мере до основания океанической коры и, возможно, уходит на несколько километров в верхнюю мантию (см. рисунок на с. 41).

Наличие магматических камер и резервуаров с горячей породой подтверждается результатами точных измерений гравитационного поля, указывающими на присутствие под осью хребта подвижных масс. По данным сейсмических и гравитационных измерений исследователи определили, что магматическая камера напоминает в поперечном сечении гриб: тонкая ножка частично расплавленного материала питает широкую, но очень тонкую линзу полностью расплавленного вещества.

Нельзя утверждать, что сейсмические наблюдения доказывают существование магматических камер и под низкоспрединовыми хребтами, такими, как Срединно-Атлантический. Однако другие данные, похоже, подтверждают правильность модели магмоснабжения для хребтов с низкими скоростями спрединга. Дональд Форсайт и Бан Юэн Куо из Университета Брауна, а также Цзиан Лин и Майкл Пэрди из Океанографического института в Вудс-Холе обнаружили гравитационные аномалии, центры которых приходятся на самые мелководные участки нескольких сегментов Срединно-Атлантического хребта. Наиболее подходящим объяснением наличия этих аномалий могут служить подъем горячего мантийного материала или утолщение океанической коры под самыми мелководными участками каждого сегмента. Обе эти интерпретации согласуются с моделью магмоснабжения.

Для нас было большим облегчением узнать, что сейсмические и гравитационные наблюдения подтверждают, по крайней мере в целом, модель магмоснабжения, объясняющую сегментацию хребта. Выдвигая эту гипотезу, мы и другие геохимики и специалисты по тектонике забрались слишком далеко в неизвестную область. Откровенно говоря, некоторые из нас думали, что камера должна быть больше. Кроме того, предстоит окончательно выяснить, действительно ли магма течет в горизонталь-

ном направлении под осью хребта. Вместе с тем в подтверждение модели уже получены убедительные свидетельства.

Нарушения

МОДЕЛЬ магмоснабжения, как оказалось, успешно объясняет различные типы нарушений и сегментов. Среди них можно выделить структуры первого, второго, третьего и четвертого порядков в соответствии с их размером, протяженностью, геометрией и поведением. Было показано, что структуры первого, второго и третьего порядков являются важными компонентами как высоко-, так и низкосрединговых хребтов. (Роль структур четвертого порядка остается до конца не выясненной.) Более детально эти структуры были исследованы на высокосрединговых хребтах, поэтому вначале мы опишем их именно в этой обстановке.

Наиболее распространенным типом нарушения первого порядка являются трансформные разломы. Они образуются там, где твердые плиты скользят относительно друг друга. С нарушениями первого порядка связано боковое смещение сегментов хребта величиной по меньшей мере 20, а часто и более 50 км. Таким образом большинство трансформных разло-

мов достаточно велики, и их удалось выявить в период ранних исследований. Эти нарушения обычно ограничивают сегменты длиной от 200 до 800 км.

На океаническом дне трансформные разломы выглядят как узкие прямые полосы, соединяющие концы сегментов хребта. Эти полосы прослеживаются и на флангах сегментов на расстоянии в сотни и тысячи километров. Отсюда следует, что структуры первого порядка существуют миллионы и десятки миллионов лет (см. рисунок на с. 35).

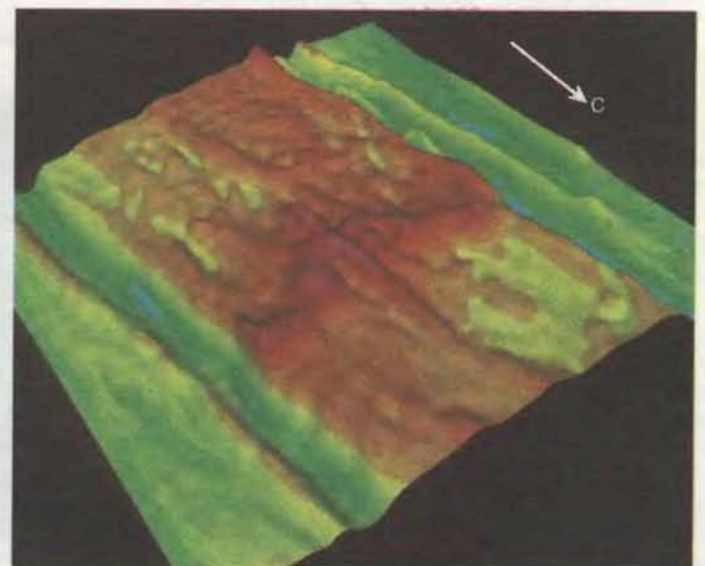
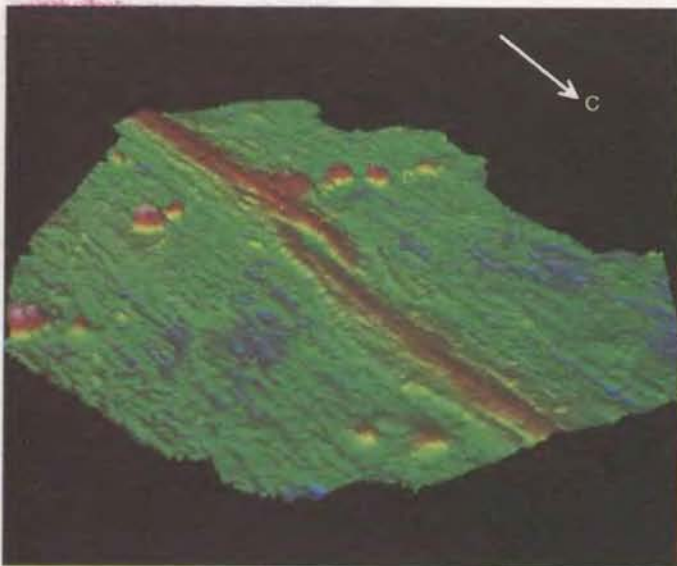
Сегмент первого порядка может быть расчленен несколькими нарушениями второго порядка, которые обычно отстоят друг от друга на расстоянии от 50 до 300 км. В отличие от структур первого порядка структуры второго порядка не являются жестко закрепленными, и движение в них не сосредоточено вдоль узкой зоны разлома. Нарушения второго порядка — это сложные образования, характеризующиеся косыми и заходящими друг за друга структурами.

Нарушения второго порядка — это особые структуры, напоминающие руки, готовые к рукопожатию. «Руки» (хребты) вытянуты таким образом, что «кисти» (искривленные концы хребтов) заходят друг за друга (перекрываются, если смотреть сбоку). Расстояние между «кистями» варьи-

рует от 1 до 20 км. Боковое смещение обычно в три раза меньше расстояния, на котором происходит перекрытие. Такая особенность называется центром спрединга с перекрытием (см. рисунок внизу).

Центры спрединга с перекрытием были открыты в 1982 г., и тогда мы не могли объяснить многие их особенности. Почему у этих центров отношение длины перекрытия к смещению часто равно 3:1? Что стало с корой, которая лежит между заходящими друг за друга отрезками хребта? Почему возникает явно выраженное искривление отрезков хребта?

В 1984 г. Дэвид Поллард из Станфордского университета, Жан-Кристоф Семпере, работавший тогда в Калифорнийском университете в Санта-Барбаре, и один из авторов статьи (Макдональд) обнаружили, что высокую повторяемость формы центров спрединга с перекрытием можно объяснить исходя из процесса образования и распространения трещин вдоль хребта. По мере того как литосферные плиты раздвигаются, перпендикулярно направлению напряжения возникают трещины. В середине сегмента напряжение обычно перпендикулярно оси хребта, так что трещины вытягиваются параллельно хребту. Однако там, где сегменты перекрываются, направление напряжения может изменяться. По мере того



ЦЕНТР СПРЕДИНГА С ПЕРЕКРЫТИЕМ, перерезающий Восточно-Тихоокеанское поднятие на широте 12° с. ш., изучался с целью определения его топографии (слева) и намагниченности пород (справа). На карте рельефа дна видно, что центру спрединга с перекрытием соответствует боковое смещение оси хребта величиной 8 км. Глубина показана цветом: от 2350 м (розовый) до 3500 м (темно-синий). Два «рукава» нарушения заходят друг за друга на 27 км. Вблизи нарушения рукава сужаются и заглубляются. Возможно, это объясняется тем, что в данное место поступает мало магмы. Океаническое дно вблизи нарушения — известное также под названием «кильватерного следа», — залегает необычно глубоко и покрыто окончаниями хреб-

та, особенно на западной стороне. В областях, куда магмы поступает недостаточно, породы сильно намагничены. На карте справа намагниченность убывает от красных областей к желтым. Заметен кильватерный след (красный) центра спрединга с перекрытием. Ложбины, показанные сине-зеленым цветом, возникли 700 тыс. лет назад, когда магнитное поле Земли изменило полярность. Кильватерный след свидетельствует о том, что центр спрединга с перекрытием возник 700 тыс. лет назад, переместился на небольшое расстояние на север, а затем начал медленно — со скоростью 70 мм/год — двигаться на юг. В последние 200 тыс. лет скорость движения на юг увеличилась до 200 мм/год.

как трещина от середины сегмента начинает продвигаться к области перекрытия, она вначале отклоняется от этой области, а затем загибается к ней крючком (см. рисунок внизу). Через трещину на океаническое дно изливается магма и образуется новый кончик данного отрезка хребта. Однако как только трещины зайдут друг за друга на расстояние, равное примерно трем боковым смещениям, их продвижение внезапно прекращается. Вскоре после этого за первой трещиной начинает расти новая трещина. По мере ее развития первый кончик хребта в результате раздвигания плит «сбрасывается» на фланги.

Боковые структуры

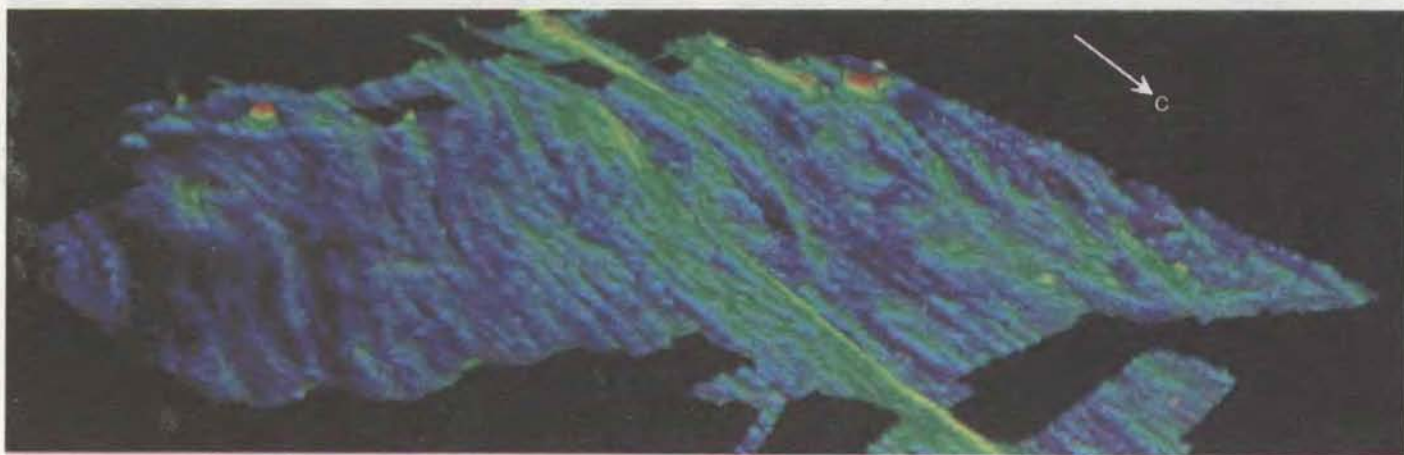
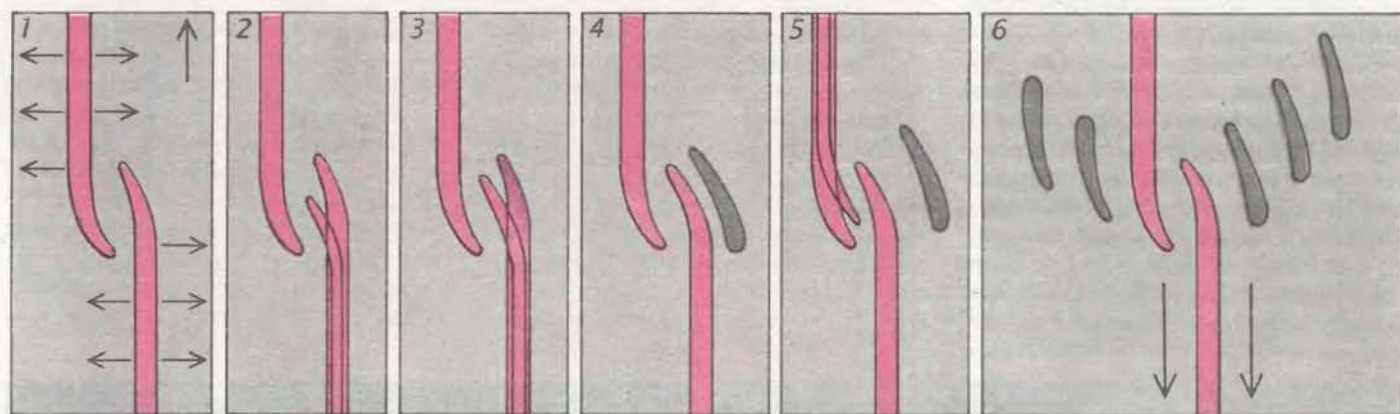
ЦЕНТР спрединга, где перекрытие достигает несколько километров, обычно оставляет «кильватер-

ный след» в виде деформированной океанической коры шириной до 80 км. Океаническое дно в такой возмущенной зоне, называемое зоной несогласия, располагается на 100—300 м ниже, чем окружающие участки дна. Точно так же центры спрединга с перекрытием лежат на 100—300 м ниже, чем мелководные, «богатые» магмой части сегментов хребта. Эти особенности выявились при построении карт флангов Восточно-Тихоокеанского поднятия, составленных по результатам нескольких экспедиций. Карты зон несогласия показывают также искривленные остаточные кончики хребта длиной от 10 до 40 км, которые были оторваны в центрах спрединга с перекрытием.

Модель магмоснабжения может объяснить структуру этих центров. По-видимому, такие центры находятся у краев источников магмы и поэто-

му лишены ее. Если это так, то кора, образующаяся в центрах спрединга с перекрытием, может быть на 50% тоньше, чем шестикилометровая кора вблизи центра каждого сегмента. Для проверки этой гипотезы в указанных местах нужно провести детальные сейсмические и гравитационные измерения.

Измерения магнитного поля в центре спрединга с перекрытием подтверждают гипотезу, что эти центры возникают там, где магмы поступает мало. Лава, изливающаяся из небольших магматических камер, которые попеременно затвердевают и вновь заполняются, содержит больше обогащенных железом минералов с ярко выраженными магнитными свойствами. С другой стороны, магматические камеры, достаточно большие, чтобы оставаться расплавленными в промежутках между эпизодами за-



СТРУКТУРЫ, РАСПОЛОЖЕННЫЕ В СТОРОНЕ ОТ ОСИ, как показывают схема (вверху) и карта (внизу), создаются центром спрединга с перекрытием (1). К югу от восточного окончания хребта образуется трещина (2), через которую расплавленная порода выходит на поверхность коры, образуя новое окончание хребта. Это новое образование удлиняется до тех пор, пока не заходит за западное окончание на расстояние, в три раза превышающее промежуток между ними (3). По мере того как участки дна продолжают раздвигаться, первоначальное восточное окончание хребта отрывается и отходит в сторону (4). Затем начинает образовываться новое западное окончание (5). После целого ряда эпизодов образования и отхода окончания хребта (6) становится заметным результирующее движение на юг

структур, расположенных в стороне от оси хребта. На карте высокого разрешения показано, что в центре спрединга с перекрытием на Восточно-Тихоокеанском поднятии смещение равно 12 км. За последние 2 млн. лет это нарушение эволюционировало сложным образом. При перемещении северного и южного окончаний хребта взад и вперед скорость движения превышала 200 мм/год, но результирующее смещение на юг происходило со скоростью 20 мм/год. По обеим сторонам спрединга с перекрытием можно видеть «брошенные» кончики хребта внутри кильватерного следа с необычно большой глубиной дна. В пределах 80-километровой полосы, прилегающей к этому нарушению, структура морского дна нарушена. Глубина показана цветом: 2350 (розовый), 2900 (желтый) и 3500 м (темно-синий).

полнения их магмой, вырабатывают лаву, которая намагничена слабо. Поскольку вблизи центров спрединга с перекрытием породы часто намагничены сильнее, чем в остальных местах вдоль хребта, можно предположить, что эти центры питаются спорадически от изолированных карманов магмы.

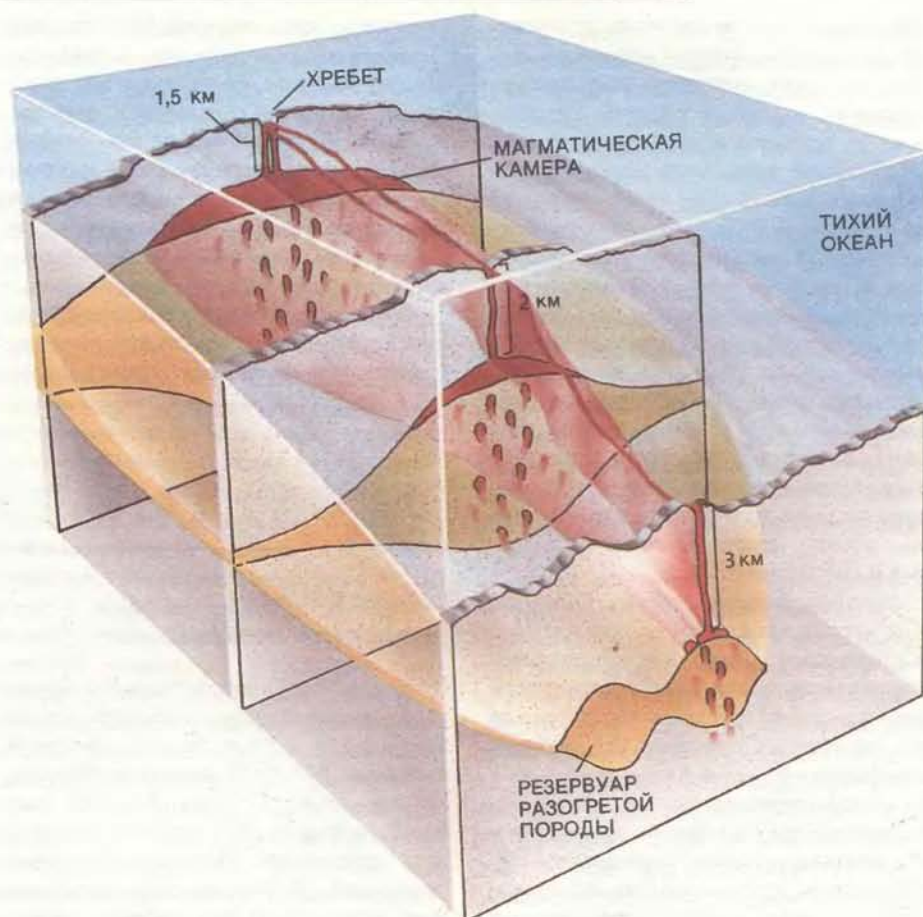
Исходя из возраста коры, в которую вторгаются зоны несогласия, а также из положения древних боковых осей спрединга, Лаура Перрам, Сюзанна Карботт и Мари Элен-Кормьер из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре показали, что сегменты второго порядка существуют как обособленные структуры в течение нескольких миллионов лет. Соответствующие нарушения могут медленно двигаться вперед и назад на 10—20 км по хребту или смещаться вдоль хребта на десятки километров со скоростями от 20 до 100 мм/год. Нарушения чаще всего движутся рывками: сегмент хребта начинает удлиняться со скоростью несколько сотен миллиметров в год, затем может отступить и стать короче и вновь сделать рывок вперед. Таким образом, концы отрезков хребта при нарушениях второго порядка как бы ведут дуэль, сдвигаясь взад и вперед на небольшое расстояние вдоль хребта (см. рисунок на с. 40).

Небольшие перекрытия и ООЛ

НАРУШЕНИЯ третьего порядка на Восточно-Тихоокеанском поднятии представляют собой обычно центры спрединга с перекрытием, где боковое смещение оси хребта составляет менее 3 км. Сегменты, определяемые нарушениями третьего порядка, имеют в длину от 30 до 100 км. Показано, что нарушения третьего порядка коррелируют с разрывами в магматических камерах.

Сегменты хребтов, определяемые нарушениями третьего порядка, практически не оставляют кильватерных следов сбоку от оси хребта на старой океанической коре. Из этого мы можем заключить, что эти нарушения в геологическом масштабе времени являются короткоживущими. По нашим оценкам, их возраст не превышает 10 000 лет — столько, сколько требуется, чтобы на высокоспредиговом хребте образовалась полоса коры шириной 2 км.

Нарушения четвертого порядка — это либо слабые изгибы, либо небольшие боковые смещения величиной менее 500 м. Такие структуры часто называют ООЛ (отклонения от осевой линейности). Обычно они от-



МАГМАТИЧЕСКАЯ КАМЕРА, как считается, протягивается под высокоспредиговыми хребтами. Магматическая камера — это линза, состоящая в основном из расплавленных пород. Она располагается над резервуаром частично расплавленного вещества. Вблизи нарушения камера и резервуар малы и плохо снабжаются расплавленной породой (*заглубленная область на переднем плане*). Однако вдали от нарушения они могут быть большими и обильно снабжаться расплавленным материалом (*на заднем плане*).

стоят друг от друга на 10—40 км. ООЛ могут быть проявлением одного крупного извержения, поэтому их возраст составляет не более нескольких сотен или тысяч лет.

Обнаружить ООЛ чрезвычайно трудно. Они едва различимы в картине, которую дают системы, подобные сонару «SeaBeam»; сейсмические измерения также не очень помогают их обнаружить. Иногда магматическая камера, расположенная под ООЛ, несколько заглубляется, а в редких случаях обнаруживает явный разрыв. Чаще же всего камеры под нарушениями четвертого порядка достаточно непрерывны. Во время экспедиции 1982 г. один из нас (Фокс) заметил другому (Макдональду), что обнаружил несколько ООЛ на картах, «рисующих» сонаром «SeaBeam». Макдональд ответил, что не следует слишком пристально вглядываться в карты при бортовой качке. Мы быстро согласились, что должны акцентировать наше внимание на более крупных смещениях, если хотим, чтобы нашим гипотезам поверили.

На самом деле сегменты четверто-

го порядка (отрезки хребта между ООЛ) стали выделять как характерные и важные особенности лишь после 1986 г., когда Чарлз Ленгмюр из Геологической обсерватории Ламонт-Доэрти, Джон Бендер из Северо-Каролинского университета в Шарлотте и их коллеги провели геохимические исследования 500-километрового участка Восточно-Тихоокеанского поднятия. Эти исследователи собрали образцы пород с точно определенных мест океанского дна с целью увидеть, не связана ли структурная сегментация с вариациями химического состава пород. Они обнаружили, что в пределах каждого сегмента четвертого порядка породы имели одинаковый состав, тогда как породы из разных сегментов различались по составу. Эти измерения документировали фундаментальную природу сегментации в некотором диапазоне масштабов и помогли выявить многие ООЛ.

Почему ООЛ различаются по своему химическому составу? Одна из теорий утверждает, что магматическая камера, расположенная под соседни-

ми сегментами четвертого порядка, разделена небольшими «перегородками», которые препятствуют перемешиванию магмы в камере. Правда, пока в магматических камерах под ООЛ обнаружено лишь несколько таких разрывов. Другая теория исходит из того, что небольшие порции расплавленной породы из изолированных источников в верхней мантии могут впрыскиваться локально в магматическую камеру и изливаться на океанское дно до того, как произойдет перемешивание. Такой процесс должен приводить к образованию сегмента четвертого порядка с характерным составом пород. Для того чтобы принять или отвергнуть эти гипотезы, нужны дополнительные измерения и наблюдения.

Авторы данной статьи, Сюзанна Карботт и Нэнси Гриндлей из Род-Айлендского университета, документировали несколько видов нарушений первого, второго и третьего порядков на хребтах с низкими скоростями спрединга в Южной Атлантике. Как и на высокоспрединговых хребтах, нарушения первого порядка представлены трансформными разломами. Нарушения второго порядка на низкоспрединговых хребтах определяются боковым уступом рифтовой долины или глубокой косой котловиной, соединяющей смещенные рифтовые долины. Нарушения второго порядка существуют на протяжении миллионов лет — в среднем дольше, чем на хребтах с высокими скоростями спрединга. На низкоспрединговых хребтах нарушения второго порядка мигрируют вдоль оси хребта медленнее, чем аналогичные структуры на хребтах с высокими скоростями спрединга. Нарушения третьего порядка на низкоспрединговых хребтах — это лишь небольшие смещения в длинных вулканических цепях в пределах дна рифтовой долины, тогда как нарушения четвертого порядка могут представлять собой небольшие промежутки между вулканами.

Морская жизнь и сегментация

ОКЕАНОГРАФЫ, геохимики и специалисты по тектонике только-только начинают понимать роль сегментации в эволюции хребтов — как низко-, так и высокоспрединговых. Мы обнаружили характерные примеры структур первого, второго, третьего и четвертого порядков и того, что располагается между ними. Эволюционируют ли сегменты в направлении от четвертого порядка к первому и обратно? Мы знаем, что в

течение по меньшей мере 100 млн. лет сегментация являлась фундаментальным процессом. Играла ли она важную роль на более длинном отрезке времени? Вблизи горячих источников на срединно-океанических хребтах процветают экзотические сообщества животных. Не связаны ли выживание и миграция этих сообществ с долговечностью данного сегмента?

Эти вопросы будут в центре внимания во время исследований по программе Междисциплинарного гло-

бального эксперимента по изучению хребтов (Ridge Interdisciplinary Global Experiments — RIDGE). Среди многих других целей программы — картирование оси и флангов всей системы срединно-океанических хребтов и получение более детальных изображений структур, лежащих в стороне от оси. На сегодняшний день геологи и океанографы построили карты менее 5% океанского дна. Половина площади земной коры еще ждет своих исследователей.

Наука и общество

Долгая жизнь мертвых теорий

ПОМНИТЕ генералиссимуса Франциско Франко, который правил Испанией с 1936 г. вплоть до своей смерти в 1975 г.? В течение нескольких месяцев до его кончины средства массовой информации сообщали о каждом ухудшении состояния здоровья диктатора. В течение нескольких недель после этого пародийный диктор телевизионного комедийного шоу "Saturday Night Live" торжественно информировал зрителей, что Франко по-прежнему мертв. В этом же духе журнал "Scientific American" сообщает о следующих научных теориях.

Холодный ядерный синтез. Уже более года прошло с тех пор, когда Б. Понс и М. Флейшман объявили о том, что они достигли ядерного синтеза, пропуская электричество через катушку палладия, погруженную в мензурку с тяжелой водой. По-видимому, каждая лаборатория в мире попыталась проделать то же самое. Хотя несколько исследователей сообщили о том, что наблюдали скоротечное повышение температуры или радиации, подавляющее большинство не обнаружили ничего, что подтвердило бы заявление о холодном ядерном синтезе.

Последний гвоздь в гроб теории был забит исследователями как раз из пристанища Понса и Флейшмана — Университета Юты. Группа, возглавляемая физиком М. Саламоном, сообщила в журнале "Nature" о том, что после пятидневного контроля за *личной установкой* Понса и Флейшмана они не обнаружили никаких признаков ядерного синтеза.

Понс и Флейшман назвали это сообщение ошибочным, но не представили никаких контраргументов. Вообще-то, что им беспокоиться? Несмотря на то что их притязания были отклонены

большой частью научной общественности, в прошлом году, по некоторым сообщениям, они получили 5 млн. долл. от штата Юта, 400 тыс. долл. от Службы военно-морских исследований США и значительную сумму от анонимного благотворителя для продолжения своих исследований.

Неорганический бензин. Эта теория, которую уже десять лет защищает Т. Голд из Корнеллского университета, так же, как и теория холодного ядерного синтеза, обещает почти неограниченный источник энергии. Голд убежден, что нефть и газ изначально ведут свое происхождение не от разложившихся органических веществ (общепринятое мнение), а от первичных земных соединений. Огромные количества этих бесценных видов топлива, полагает он, скрыто в земной мантии.

В 1986 г. Голд убедил руководство Государственной энергетической службы Швеции и многочисленных частных вкладчиков поддержать проект по бурению скважин для проверки его теории. Эксперимент состоялся в одном из районов Швеции, на который упал астероид более 300 млн. лет назад и который буквально усеял месторождениями нефти и газа. Другие геологи думают, что углеводороды происходят от осадочных отложений вблизи поверхности, но Голд утверждал, что они поднялись из мантии после того, как астероид разбил земную кору. По его словам, шахта, вырытая в древнем кратере (образовавшемся от удара астероида), должна была открыть огромные запасы газа или нефти.

Спустя четыре года, сожрав 33 млн. долл. и 6,8 км твердой скальной породы, проект выдохся, так и не дав мощного нефтяного фонтана. Обсадные трубы застряли в скважине, не позволяя бурить дальше. Голд утверждал, что нашел много следов газа или нефти на разных глубинах, но незави-

симые ученые относят их к дизельному топливу, использовавшемуся Голдом в качестве смазочного материала для бурения. Руководство энергетической службы Швеции отказалось от поддержки проекта.

Но неустрашимый Голд настаивает, что бурение новой скважины — или даже лучше двух — глубиной 7,5 км подтвердит его правоту. Вместе с оставшимися частными вкладчиками он теперь пытается найти необходимые средства, утверждая, что если все будет хорошо, новые буровые скважины будут стоить всего лишь 12 млн. долл. каждая.

Малые кометы. За время, что вы будете читать этот абзац, несколько глыб льда размером с дом врежутся в земную атмосферу и испарятся. Эти огромные снежные глыбы бомбардируют Землю в количестве 10 млн. штук в год в течение миллиардов лет, тем самым наполняя океаны водой. Л. Фрэнк из Университета Айовы выдвинул эту потрясающую теорию в 1986 г., после того как обнаружил темные пятна на снимках Земли, сделанных со спутника Dynamics Explorer I.

Другие астрономы отвергли данные, полученные со снимков, отнеся их на счет ложных сигналов или шума. Сомнительно, что стаи комет, предполагаемых Фрэнком, не были до сих пор обнаружены. Трудно поверить в какое-либо явление, когда оно не подтверждается специальными направленными на обнаружение его исследованиями.

Однако, как и холодный ядерный синтез, малые кометы получили достаточную поддержку от других ученых, чтобы не принимать их за галлюцинации. К. Йейтс из Лаборатории реактивного движения в Пасадине (шт. Калифорния) пришел к выводу, что слабые полосы, наблюдавшиеся им в Национальной обсерватории Китт-Пик в 1987 г., были вызваны малыми кометами. А совсем недавно Дж. Оливеро из Университета шт. Пенсильвания предположил, что 111 всплесков микроволнового радиоизлучения, которые он зарегистрировал в верхних слоях атмосферы за последние пять лет, могли быть вызваны испарившимися снежными глыбами.

Между тем Фрэнк и научный писатель П. Хайг написали книгу «Большое пятно», которая рассказывает историю «революционного открытия» Фрэнка. В этой книге, которую издательство «Birch Lane Press» в Нью-Йорке предполагает напечатать в сентябре, малые кометы связываются с происхождением жизни, массовыми вымираниями, НЛО, каналами Марса и другими космическими загадками.

Пятая сила. Эта теория в отличие

от трех предыдущих не имеет единственного защитника, но она проявила такую же способность собрать средства и привлечь внимание, несмотря на недостаток научных свидетельств. История началась в 1986 г., когда И. Фишбах из Университета Пардью обнаружил едва различимые аномалии при измерении силы тяготения, которое произвел венгерский физик Роланд фон Этвеш в начале века. Фишбах предположил, что аномалии были вызваны пятой силой природы (первые четыре — гравитация, электромагнетизм, сильное и слабое ядерное взаимодействие), которая противодействует силе тяготения на расстоянии нескольких сот метров.

Физики начали проверять гипотезу Фишбаха путем измерения силы тяготения в различных условиях: на вершине радиобашни, в шахтах и под арктическими льдами, — выбранных так, чтобы свести к минимуму искажения от неизвестных геологических особенностей. Некоторые группы сообщили, что нашли подтверждение предполагаемой Фишбахом силы отталкивания, но другие обнаружили силу (которой дали название шестой силы), действовавшую в противоположном направлении, т.е. увеличивавшую силу тяго-

тения. Теоретики начали деловито составлять объяснения этим фактам, а некоторые из них довольно мило решили кое-какие надоевшие проблемы с помощью новых теорий.

Однако с осени прошлого года накапливались только отрицательные сообщения. Одно из последних было от группы Геофизической лаборатории ВВС в Бедфорде (шт. Массачусетс). В нем говорилось о ранее замеченных признаках «неньютоновских» сил в эксперименте на радиобашне; однако они признали в журнале «Physical Review Letters», что их первоначальные сведения, вероятно, объяснялись разной плотностью местных пород. Такое же объяснение атому дают скептики.

Другие исследователи тем не менее все еще придерживаются теории о воображаемых силах. Одна группа надеется найти их в Тихом океане. Другая, которая в прошлом году зарегистрировала гравитационные аномалии во льдах Гренландии, планирует следующий эксперимент в Антарктике. Третья собирается наблюдать антипротоны в вакууме. Кажется, что этой теории — как другим и как старому генералиссимусу Франко — суждена долгая загробная жизнь.

Вниманию читателей!

Р. Марри, Д. Греннер, П. Мейес, В. Родуэлл
Биохимия человека

Перевод с английского в 2-х томах.

Широко известный в мире и переведенный на многие языки учебник биологической и медицинской химии и молекулярной биологии. Авторы 21-го, переработанного издания — ученые из США, Великобритании и Канады. Благодаря энциклопедической полноте и четкости изложения книга может служить справочным пособием. На русском языке выходит в 2-х томах. В т. 1 изложены следующие темы: структура и функции белков; биоэнергетика, метаболизм углеводов и липидов; обмен белков и аминокислот. В т. 2 рассматриваются нуклеиновые кислоты и регуляция экспрессии генов, биохимия вне- и внутриклеточной коммуникации,

1991 г. Цена 7 р. 20 к. за комплект.

Эту книгу вы сможете заказать в магазинах научно-технической литературы

Позиция 87 по темплану издательства на 1991 г.

специальные вопросы (питание, свертывание крови, рак, онкогены и факторы роста и др.)

Из рецензий: «Особенность книги состоит в том, что она тесно увязывает биохимические процессы с физиологическими функциями, а также наиболее часто встречаемой патологией... По существу это самое популярное в мире руководство по биохимии» (акад. АМН СССР А.Н. Климов). «Следует подчеркнуть современность учебника и его информативность» (проф. А.Д. Виноградов).

Для биохимиков, клинических биохимиков, студентов и аспирантов биологов и медиков.



РЫБЫ-КЛОУНЫ

Мастера агрессивной мимикрии,
эти прожорливые хищники заглатывают
свою добычу во много раз быстрее
любого другого
плотоядного позвоночного животного

ТЕОДОР В. ПИТЧ, ДЭВИД Б. ГРОБЕКЕР

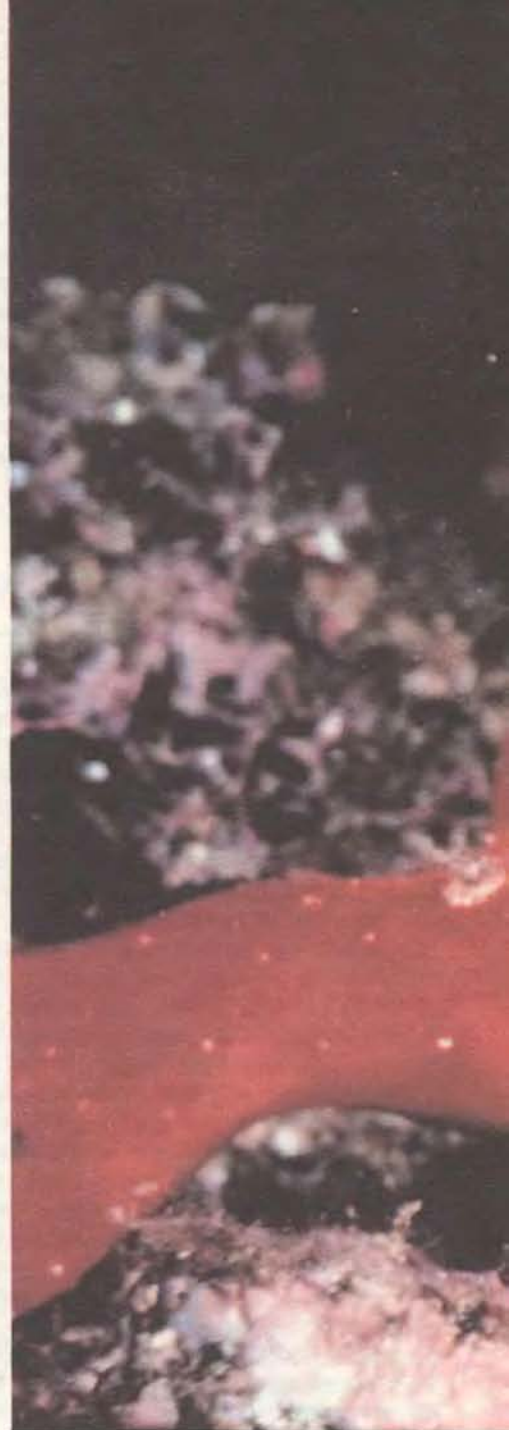
УТРОМ 29 декабря 1696 г. капитан голландского судна и его команда были заняты поисками уцелевших членов экипажа корабля, затонувшего неподалеку от западного побережья Австралии. Хотя никого из оставшихся в живых не нашли, среди вынесенных на берег корабельных крыс, размером с кошку, обнаружили невероятную рыбу. Ничего подобного ни один матрос ранее не видел. Эта рыба была описана так: «Длиной около двух футов, с круглой головой и конечностями, похожими на ноги и руки». Без сомнения, это странное создание, весьма схематично описанное так давно, было рыбой-клоуном (хотя ее видовая принадлежность останется для нас загадкой).

По своему внешнему виду эти необычные рыбы весьма напоминают лягушек (англоязычное название *Frogfishes* — рыбы-лягушки). Их шаровидное тело длиной от 2,5 до 40 см снабжено хорошо развитыми плавниками, похожими на ноги, которые позволяют рыбам карабкаться по подводным скалам и рифам и ходить по дну таким же образом, как четвероногие животные передвигаются по земле. Рыбы-клоуны имеют любую окраску, какую только можно себе представить, и меняют ее под цвет окружающих предметов, например, коралловых рифов, буквально в считанные дни, а некоторые виды — в считанные секунды. В результате, перемещаясь с одного типа подводной поверхности на другой и меняя свой цвет, рыба сливается с фоном. Из-за этого рыб-клоунов совершенно невозможно разглядеть на дне, и поэтому они редко становятся добычей других хищников. Опытным водолазам и ихтиологам, как правило, также не удается их обнаружить.

Рыба-клоун Коммерсона* (*Antennarius commersoni*), широко распространенная в Индийском и Тихом океанах, — типичный представитель группы. Самцы и самки обладают большой изменчивостью окраски (встречаются красный, желтый, коричневый, кремово-белый, черный цвет и всевозможные их оттенки; кожа рыб покрыта мелкими равномерно распределенными коричневыми пятнышками и розоватыми бородавками. В мелких прибрежных водах, где океанское дно пестрит разноцветными полосами солнечного света, этих рыб почти невозможно отличить от обросших водорослями камней. В данном случае мы имеем классический пример хищника-засадчика, который в любой момент готов проглотить оказавшуюся рядом добычу, будь то рыба или ракообразное. Если такое животное подплывает достаточно близко, огромная, похожая на пещеру пасть открывается и поглощает несчастную жертву в течение нескольких миллисекунд.

Искусство мимикрии — большое преимущество рыб-клоунов, развившееся в процессе эволюции. Маскируясь под различные предметы, эти рыбы не заметны как для животных, которые могут съесть их, так и для животных, которыми они питаются сами. Кроме того, они могут успешно приманивать жертву на расстояние, достаточное для нападения, так как обладают небольшим выростом-приманкой. Приманка находится над верхней губой животного и начинает

* Русские названия видов рыб-клоунов, как и английские, не являются императивно общепринятыми. Здесь использованы переводы названий, данных авторами. — Прим. ред.



РАЗУКРАШЕННАЯ РЫБА-КЛОУН (*Antennarius pictus*), живет в теплых прибрежных водах Гавайских островов. Как и все рыбы-клоуны, она привлекает

покачиваться при появлении добычи в поле зрения.

Еще в 344 г. до н. э. Аристотель отмечал роль приманки: «У рыбы-клоуна имеется серия нитей, которые располагаются перед ее глазами; они длинные и тонкие подобно волосам ... и используются ею в качестве приманки». Это описание было подтверждено в 1875 г. Реверендом Уитми с о. Самоа, который наблюдал за поведением рыбы-клоуна: «Она пыталась охотиться за несколькими мелкими рыбками в аквариуме. Я надеялся



ет добычу посредством колебаний приманки, которая представляет собой видоизмененный удлинённый луч спинного плавника. Приманка, которая видна на фотографии, расположена между глазами рыбы и заканчивается

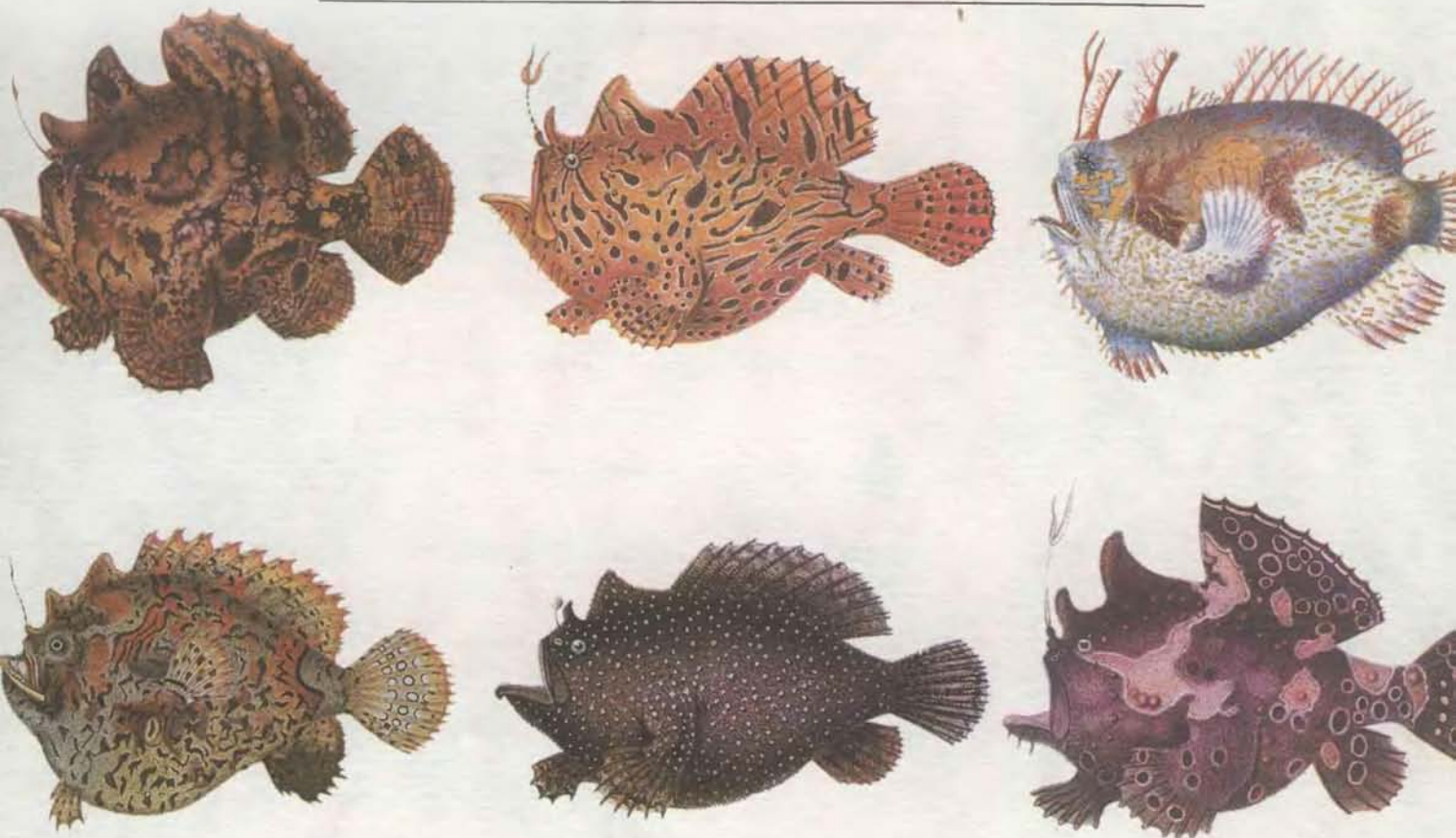
образованием, называемым эской. Животные, привлекаемые приманкой и оказывающиеся слишком близко от пологей на пещеру пасти рыбы-клоуна, заглатываются в течение нескольких миллисекунд.

ся увидеть, как она поймает хотя бы одну, но рыбки оказались слишком осторожными».

Наблюдения Уитми, подтвержденные впоследствии другими исследователями, легли в основу понятия, известного в современной биологии поведения, как агрессивная мимикрия. В отличие от пассивной мимикрии (например, камуфляжа, или маскировки под окружающий фон, обеспечивающих некоторую степень защиты от хищников), агрессивная мимикрия состоит в том, что животное имитирует

определенный объект как в физическом, так и в поведенческом плане. Имитируя не только неодушевленный предмет, но и поведение живых организмов, служащих пищей для других животных, рыба-клоун заманивает последних в зону захвата добычи. Исследования, которые мы проводили в последнее время, свидетельствуют в пользу того, что биология рыбы-клоуна с ее широким набором специальных адаптаций представляет собой наилучший пример агрессивной мимикрии.

Рыбы-клоуны принадлежат к семейству *Antennariidae*, которое в свою очередь входит в более крупную группу костистых рыб — отряд удильщикообразных. В полном соответствии с последним названием, рыбы-клоуны являются в основном оседлыми малоподвижными хищниками, которые привлекают добычу посредством «удочки» с приманкой, которая представляет собой видоизмененный вытянутый и смещенный на голову первый луч спинного плавника, покачивающийся перед головой



РЫБЫ-КЛОУНЫ принадлежат к большому и разнообразному семейству *Antennariidae*, что подтверждают рисунки, сделанные более 100 лет назад. Верхний ряд, слева напра-

во: рыба-клоун Коммерсона (*Antennarius commersoni*), полосатая рыба-клоун (*Antennarius striatus*), кисточковая рыба-клоун (*Rhycherus filamentosus*) и разукрашенная

подобно удочке рыбака. У некоторых видов приманка может укладываться в узкую бороздку в верхней части головы, где она защищена от повреждения.

Приманка, строение которой различно у разных видов, состоит из двух основных частей: собственно луча и особой мясистой структуры на его конце, называемой «эской». В зависимости от видовой принадлежности рыбы, размер и форма эски может меняться от простого шарика диаметром около 2 мм до разветвленной нитчатой структуры длиной до 2,5 см и более. У одних видов эска имитирует мелких рыб, у других она напоминает рачка или червяка.

Хотя рыбы-клоуны широко распространены в тропических и субтропических водах всего мира, включая Калифорнийский залив и Красное море, подвляющее их большинство обитает в прибрежных районах Индонезии, вдоль береговой линии Филиппин и других островов тропической части Тихого океана. Один вид — морской клоун (*Histrion histrio*) — живет среди плавающих саргассовых водорослей; другие виды живут на морском дне в местах с небольшими или умеренными глубинами, среди скал и коралловых рифов.

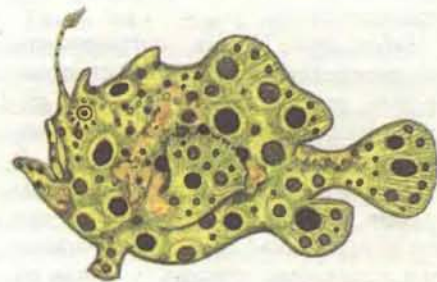
В настоящее время большинство систематиков пришли к выводу о том, что число известных видов рыб-клоунов около 40, хотя за последние одно или два столетия было описано около 165 видов. Выделение большого числа видов, на самом деле таковыми не являющихся, связано отчасти со значительной изменчивостью окраски и строения, которая наблюдается в пределах одного вида.

Особи способны менять окраску тела в пределах двух цветовых фаз: светлой (обычно желтый или рыжевато-коричневый цвет) и темной (часто зеленый, темно-красный, или черный цвет). Хотя в основном у рыб-клоунов в большинстве биотипов преобладает светлая фаза окраски (по неясным пока причинам), существуют районы, в которых представлены все цветовые вариации, возможные для данного вида.

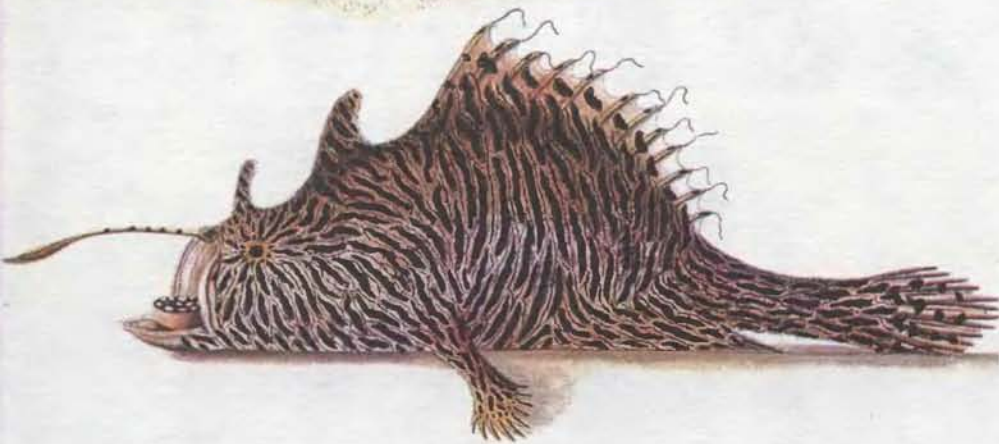
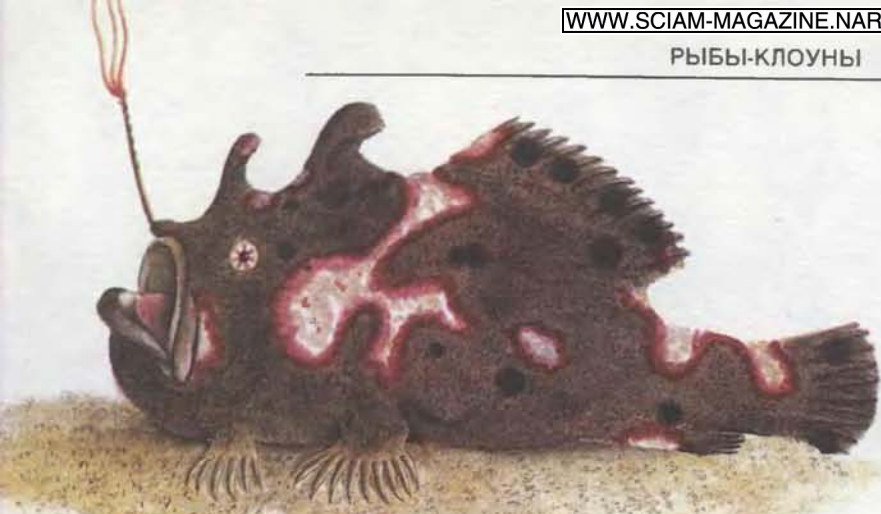
Полосатая рыба-клоун (*Antennarius striatus*), например, может окрашиваться по меньшей мере в четыре цвета: в зеленый, придающий рыбе вид покрытого водорослями куска скалы; оранжевый, при котором она выглядит как оранжевая губка; белый, имитирующий белую губку, и черный, когда она похожа на черную губку. По

нашему мнению, такие значительные изменения цвета происходят, когда рыба перемещается в другое место обитания, например в район кораллового рифа, где оранжевых губок больше, чем белых.

Для того чтобы выявить характер ответной реакции рыбы-клоуна на изменение цвета субстрата, мы провели эксперимент с двумя видами: бугорчатой рыбой-клоуном (*Antennatus tuberosus*) и рыбой-клоуном Коммерсона (*A. commersoni*). Рыб помещали в отдельные аквариумы и после периода адаптации изменяли цвета донного покрытия (от белого до черного), а



ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПИГМЕНТАЦИИ может быть очень велика даже в пределах одного вида рыб-клоунов. Счи-



рыба-клоун (*Antennarius pictus*). Нижний ряд, слева направо: трехточечная рыба-клоун (*Lophiocharon trisignatus*), новогвинейская рыба-клоун (*Antennarius dorehensis*), пятнистая рыба-клоун (*Antennarius maculatus*) и еще одна полосатая рыба-клоун.

также опускали в аквариумы камни и цветные кораллы в различных сочетаниях. Хотя бугорчатая рыба-клоун изменила свой цвет с темно-серого на светло-кремовый, а рыба-клоун Коммерсона — с лимонно-желтого на кирпично-красный, нам не удалось точно определить, какими факторами стимулируется изменение цвета. Безусловно необходимы дальнейшие исследования в естественных условиях.

Мы знаем, что рыба-клоун — прожорливый хищник. Она совершенно неразборчива в пище и пытается проглотить любой организм, находящийся на расстоянии броска, не

ключая животных, даже слегка превосходящих ее по размеру. Изучая механизм питания рыб-клоунов, мы установили, что они могут увеличивать размер своего рта в 12 раз, причем делают это в течение 6 миллисекунд — за время, меньшее чем требуется для сокращения обычной поперечно-полосатой мускулатуры. Мы изучали также способы перемещения этих рыб, от «прогулки» по морскому дну до «реактивного» движения.

Наши полевые и лабораторные исследования, проводимые у побережья о. Оаху (Гавайи) и в Сиднейской бухте (Австралия) в течение последних

15 лет, позволили собрать большое количество данных по поведению и экологии восьми различных видов: рыбы-клоуна Коммерсона, полосатой рыбы-клоуна, бугорчатой рыбы-клоуна, щетинистой рыбы-клоуна (*A. hispidus*), пятнистой рыбы-клоуна (*A. maculatus*), алой рыбы-клоуна (*A. coccineus*), кроваво-красной рыбы-клоуна (*A. sanguineus*) и трехточечной рыбы-клоуна (*Lophiocharon trisignatus*).

Мы начали исследования с анализа поведения, связанного с приманиванием добычи. Нам хотелось выяснить, зависит ли техника приманивания от вида добычи, которую ловит рыба-клоун. Видоспецифична ли приманка, или, другими словами, обладает ли каждый вид морфологически уникальной приманкой? Имеется ли связь между строением приманки и составом пищи рыбы-клоуна, и имитирует ли приманка пищевые объекты, предпочитаемые видами, которые она привлекает?

Форма и размер приманки, очевидно, видоспецифичны у большинства рыб-клоунов, и идентификация видов часто осуществляется только на основании строения приманки. Эска полосатой рыбы-клоуна иногда подобна червю полихеты, в то время как эска щетинистой рыбы-клоуна напоминает трубчатого червя. Пятнистая рыба-клоун (*A. maculatus*) обладает эской, которая похожа на маленькую рыбку, а рыба-клоун Коммерсона имеет креветкоподобную эску.

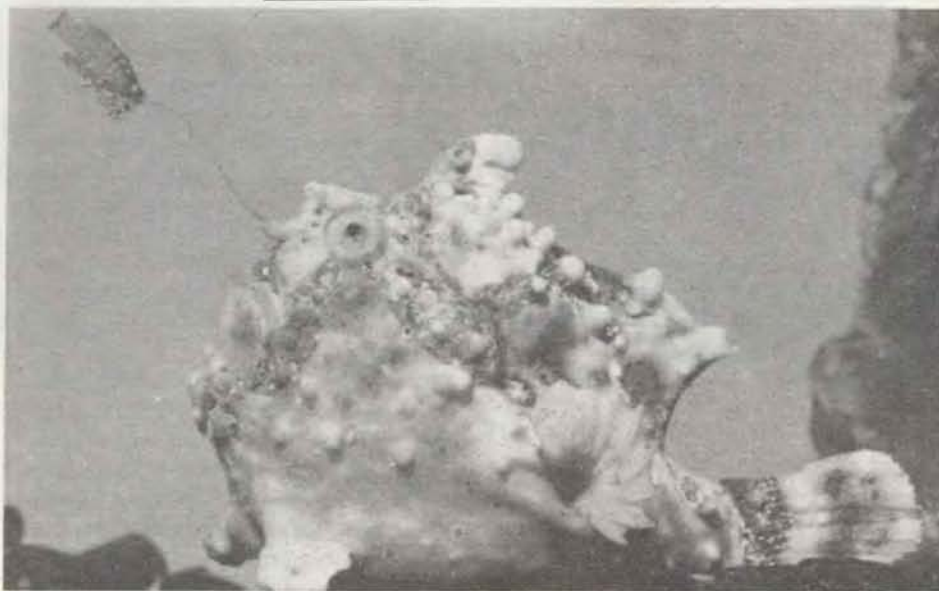
Однако эффективность приманки связана не только с ее внешним видом. Рыба-клоун может совершать колебания приманкой и манипулировать ею, воспроизводя плавательные движения имитируемого животного. Рыбоподобная приманка пятнистой рыбы-клоуна, например, совершает волнообразные движения, сходные с колебаниями тела плывущей рыбки (см. иллюстрацию на с. 55).

Мы полагали, что наличие таких морфологически различных приманок может отражать значительную специализацию в питании. Казалось совершенно логичным, что полосатая



тается, что особи меняют окраску под цвет окружающих их предметов, таких как скалы, губки или куски коралла.

Здесь представлены только четыре (из многих) варианта окраски разукрашенной рыбы-клоуна (*A. pictus*).



ИМИТИРУЯ ОКРАСКУ предметов окружающей среды, в данном случае обросший водорослями камень (вверху), пятнистая рыба-клоун (*A. maculatus*) часами сидит в ожидании жертвы. Конец приманки (эска) имеет различную форму у разных видов; в данном случае напоминает мелкую рыбу (в центре). Если другое животное попадает в поле зрения, рыба-клоун совершает колебания приманкой (внизу), воспроизводя движения маленькой рыбки.

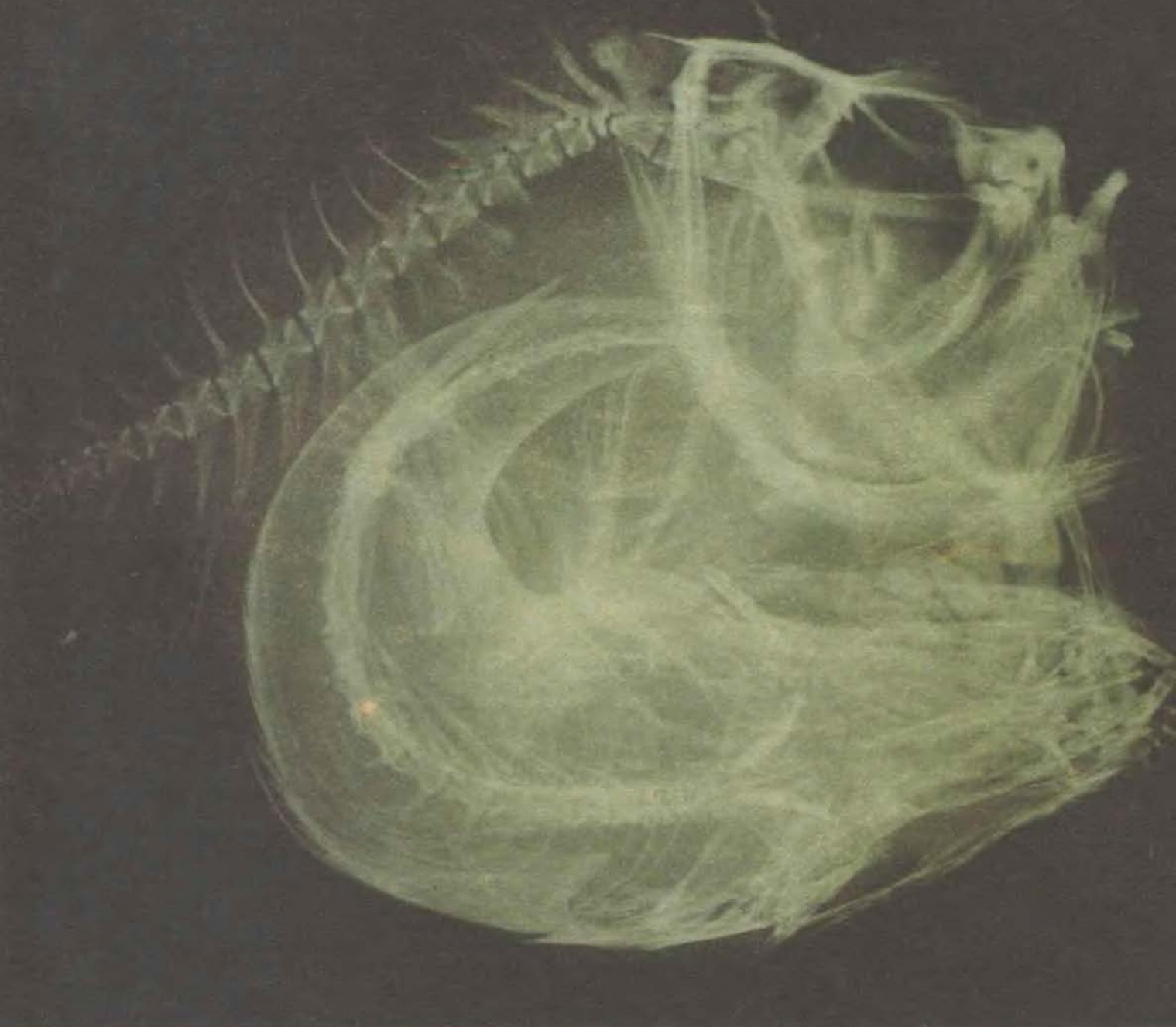
рыба-клоун с червеподобной эской должна питаться преимущественно видами, чью обычную добычу составляют полихеты или другие морские черви. Для проверки этой гипотезы было решено проанализировать содержимое желудков четырех видов: *A. striatus*, *A. pictus*, *A. commersoni* и *Antennatus tuberosus*. К нашему удивлению, оказалось, что у рыб-клоунов не наблюдается избирательности в питании: ассортимент их добычи весьма разнообразен и частично совпадает у разных видов.

Выводы оказались неожиданными. Зачем эволюция создала столь сложные и явно видоспецифичные приманки, если посредством любой приманки рыба способна привлекать самую разнообразную добычу? Одно из возможных объяснений состоит в том, что добывание пищи в море непредсказуемо и достаточно сложно. Одни животные иногда случайно попадают в зону броска рыбы-клоуна без привлечения приманкой, других привлекает не колебание приманки, а сама рыба, которую легко спутать с куском коралла, где можно отложить икру, обнаружить пищу, или найти убежище.

Другое возможное объяснение состоит в том, что приманка может вызывать у соседствующих рыб оборонительную реакцию, или реакцию защиты своего участка. В эксперименте мы наблюдали, как полосатая рыба-ласточка (*Dascyllus aruanus*), помещенная в тот же аквариум, что и рыба-клоун, неоднократно совершала броски на приманку. После нескольких агрессивных атак рыба-ласточка попала в зону броска рыбы-клоуна и была съедена.

Заглатывание добычи при таких обстоятельствах мгновенно: любая рыба, которая плавает в зоне броска (радиусом, равным 2/3 длины рыбы-клоуна), практически не имеет шансов на выживание. По нашим данным, рыба-клоун может раскрывать рот и поглощать жертву со скоростью, превосходящей таковую у любого другого плотоядного позвоночного. Столь быстрое заглатывание добычи, очевидно, наиболее замечательная особенность рыб-клоунов.

Используя высокоскоростную киносъемку, мы изучили биомеханику питания трех видов: *A. striatus*, *A. hispidus* и *A. maculatus*. После кадрового просмотра фильма, снятого со скоростью от 800 до 1000 кадров в секунду и анатомического анализа костей, мышц и связок головы рыбы мы пришли к пониманию того, что процесс поимки добычи состоит из последовательности высоко скоординированных действий.



РЕНТГЕНОВСКИЙ СНИМОК показывает, что глазчатая рыба-клоун (*A. multiocellatus*) проглотила скорпеновую рыбку (*Pontinus sp.*), которая больше ее самой по размеру.

Рыба-клоун способна заглотать такую крупную добычу, поскольку ее рот, открываясь, увеличивается в размере более чем в 12 раз.

Можно выделить три функционально различные фазы. Первая фаза — поведение перед броском, вторая — собственно бросок и третья — манипуляция добычей и ее проглатывание. Во время первой фазы рыба-клоун следит за жертвой до тех пор, пока она не приблизится на определенное расстояние (около семи длин тела). В это время рыба-клоун начинает шевелить приманкой. Если жертва реагирует на это, приближаясь к приманке, начинается следующая фаза. Если же жертва остается безучастной, рыба-клоун может начать движение к ней, вначале быстрое, а затем замедленное. В этот момент рыба-клоун расслабляется и затаивается. Когда

добыча оказывается на расстоянии около одной длины тела, хищник (теперь в фазе броска) раскачивается и изгибается, принимая наиболее удобное положение для атаки.

Как только жертва достигает зоны броска, рыба-клоун поднимает голову и открывает рот, опуская нижнюю челюсть и вытягивая вперед верхнюю. В этом положении рот представляет собой нечто вроде трубы, внутрь которой всасывается жертва примерно таким же способом, как в пылесос засасывается пыль с ковра. С попаданием жертвы в рот начинается фаза манипулирования добычей. В процессе проглатывания добычи вместе с ней поступает большое коли-

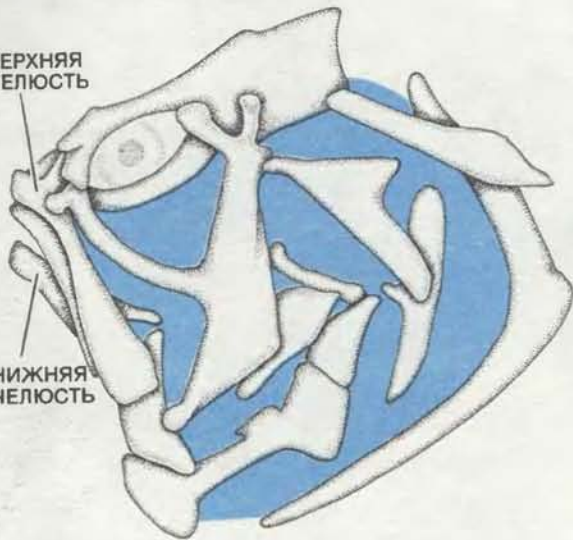
чество воды, которая облегчает продвижение крупной пищи в глотку. Когда заглатывание завершается, избыток воды выбрасывается через жабры, а замыкающая мускулатура входа в пищевод сокращается, предотвращая обратный выход добычи.

Такой способ заглатывания добычи, свойственный большинству рыб, известен как питание путем всасывания. В основе его лежит простой принцип. За счет быстрого расширения жаберной полости и рта создается отрицательная разность давлений, которая приводит к поступлению воды внутрь и увеличению скорости, с которой поглощается добыча. В отличие от быстроплавающих хищни-



ВЕРХНЯЯ
ЧЕЛЮСТЬ

НИЖНЯЯ
ЧЕЛЮСТЬ



РОТ РЫБЫ-КЛОУНА остается закрытым (слева) до тех пор, пока подплывающая жертва не окажется на расстоянии, достаточном для броска. Затем у рыбы сокращаются мышцы тела и глотки, что приводит к подниманию головы и открыванию рта (справа). Сокращение этих мышц вызывает

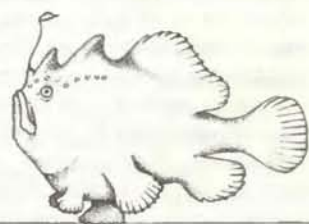
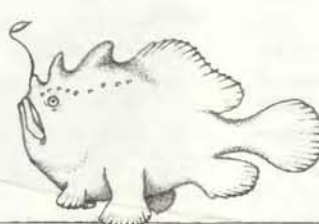
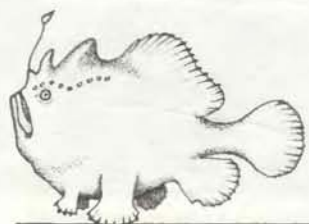
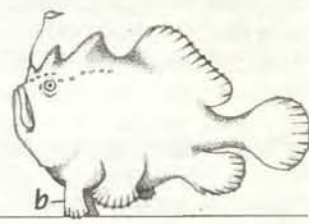
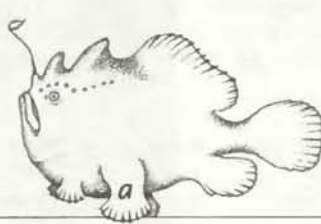
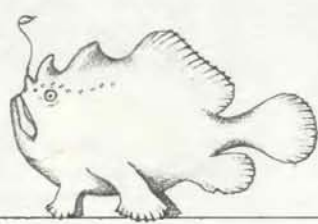
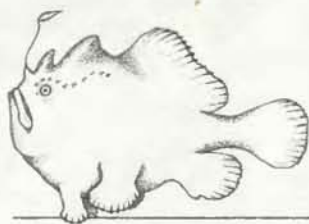
отведение верхней челюсти вверх, а нижней — вниз. Раскрываясь, рот вытягивается вперед (на этот процесс уходит около 6 мс), что позволяет рыбе-клоуну всасывать свою жертву.

ков, скорость движения которых способствует заглатыванию добычи, хищник-засадчик для захвата добычи должен быстро увеличить объем ротовой полости. Рыбы, поглощающие свою жертву таким способом, могут питаться, не обнаруживая своего присутствия по отношению к другой потенциальной добыче. Мелкие рыбки,

в стайке иногда внезапно теряют одного из соседей и остаются уязвимыми для повторных атак со стороны хищника.

Рыбы-клоуны отличаются от других рыб не только скоростью увеличения размеров рта, но и степенью возможного увеличения объема ротовой полости. Путем инъекции жидкого

парафина в ротовую полость при закрытом и полностью открытом рте фиксированного экземпляра нами было установлено, что объем раскрытой пасти рыбы-клоуна намного больше, чем у других рыб с таким же типом питания. Например, речной окунь (*Perca fluviatilis*) увеличивает объем ротовой полости только в 6 раз.



РЫБА-КЛОУН ПЕРЕМЕЩАЕТСЯ по дну при помощи ногоподобных плавников. Движение осуществляется путем ходьбы «на костылях» (вверху) или посредством обычной ходьбы (внизу). В процессе ходьбы на костылях рыба двигается вперед, перенося свой вес на грудные плавники (а);

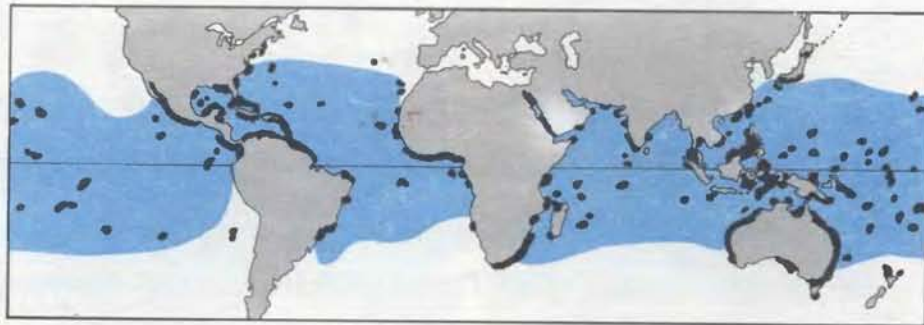
брюшные плавники (в) являются опорой для тела только при перестановке грудных плавников. Во время обычной ходьбы рыба-клоун поочередно перемещает вперед то один, то другой грудной плавник, подобно тому как человек переставляет ноги во время прогулки.

Более того, пасть рыбы-клоуна раскрывается с невероятной быстротой. С использованием высокоскоростной киносъемки было установлено, что, например, у щетинистой рыбы-клоуна весь акт заглатывания добычи происходит менее чем за 6 мс. Для сравнения, бородавчатка (*Synanceia verrucosa*), которая стоит на втором месте по скорости захвата добычи, осуществляет этот акт за 15 мс, а окуню требуется уже 40 мс.

Мы долго строили предположения относительно механизма, который обеспечивает столь высокую скорость. Может быть рыба-клоун обладает какими-то особенностями в строении челюстей? Или имеет необычную мускулатуру? Чем объясняются ее замечательные охотничьи способности? Для того чтобы получить ответы на эти вопросы, мы препарировали головы у особей нескольких видов и тщательно исследовали челюстную мускулатуру. Результаты оказались неожиданными: значительных различий в строении челюстной мускулатуры между рыбами-клоунами и другими позвоночными обнаружено не было. Более того, не было обнаружено существенных различий и в строении костей.

В связи с этим остается предположить, что столь быстрое открывание рта у рыб-клоунов осуществляется за счет неизвестного пока механизма. Не исключено, что биомеханика питания этих рыб основана на принципах, сходных с таковыми у блохи, которая накапливает энергию сжатия в туловище и затем прыгает на невысказанную высоту. Не исключено, что у рыб-клоунов челюсти работают подобно катапульте, в которой запасается энергия сжатия [см. "The Flying Leap of the Flea" by Miriam Rothshild et. al.; "Scientific American", November, 1973]. Мы считаем, что такой механизм вполне может существовать, хотя для проверки данной гипотезы необходимы дальнейшие исследования.

Рыбам семейства *Antennariidae* свойственны многие другие сложные и необычные адаптации и, в частности, особые формы передвижения в морской среде. Перемещаясь по дну в процессе преследования добычи или в поисках новых мест для отдыха, рыбы-клоуны ходят как наземные четвероногие животные. Один из способов их передвижения напоминает ходьбу человека на костылях: при перемещении тела рыбы вперед грудные плавники (как костыли) принимают на себя всю тяжесть тела; в конце шага масса тела переносится преимущественно на брюшные плавники.

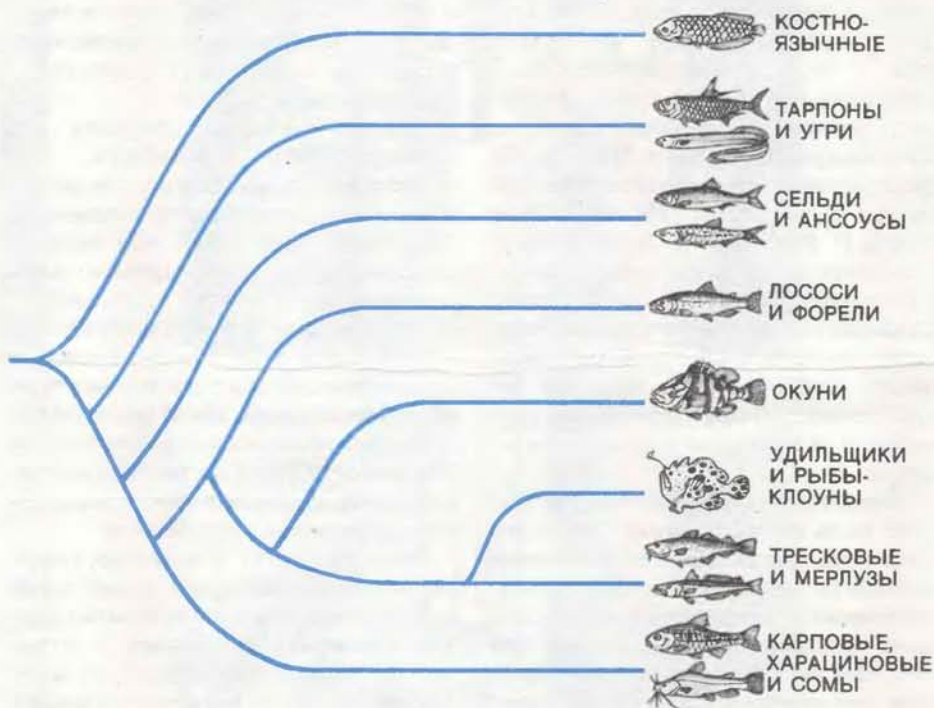


РЫБЫ-КЛОУНЫ широко распространены в тропических и субтропических водах. Их численность велика в прибрежных водах Индонезии, Филиппин и вдоль береговой линии островов тропической части Тихого океана. Отдельные виды встречаются севернее и южнее региона, выделенного голубым цветом на карте. Как правило, рыбы-клоуны предпочитают районы, где средняя годовая температура воды у поверхности выше 20 °С.

Другой способ сходен с перемещением сухопутных позвоночных, которые поочередно передвигают конечности. При этом грудные плавники обеспечивают перемещение тела, а брюшные — только стабилизируют положение рыбы. Кроме этого, рыбы-клоуны могут плавать, совершая туловищем волнообразные движения. К тому же они часто перемещаются в воде реактивным способом: за счет накопления воды в ротовой полости и резкого выталкивания ее через жабры.

Сверхвысокая скорость питания, реактивное движение и агрессивная мимикрия не являются особенностями, свойственными только рыбам-клоунам; каждая из этих адаптаций

может быть обнаружена у других весьма различных видов рыб. Однако нет ни одной группы, где было бы собрано так много столь высоко развитых и сложных адаптаций в пределах одного организма. Интересными объектами рыб-клоунов делают не сами по себе их способности к "ужению" добычи, смене окраски или хождению по субстрату. Важнее быть может, то, что по какой-то причине естественный отбор благоприятствовал возникновению стольких специальных приспособлений лишь в одном семействе рыб. Несомненно, уникальные морфологические и поведенческие адаптации этих агрессивных имитаторов будут привлекать внимание ученых в течение многих лет.



ДИАГРАММА, отражающая эволюционные связи между костистыми рыбами, показывает, что удильщикообразные наиболее близки к тресковым рыбам и мерлузам.

Сверхтекучие состояния ^3He

Удивительные свойства этой жидкости при температурах порядка милликельвина свидетельствуют о проявлении законов квантовой механики на макроскопическом уровне.

При температурах порядка нанокельвина могут существовать еще более необычные состояния этой жидкости

ОЛЛИ В. ЛОУНАСМАА, ДЖОРДЖ ПИККЕТТ

УСЛОВИЯ сверхвысоких температур, существовавшие в нашей Вселенной сразу после ее рождения, по-видимому, навсегда останутся вне пределов, достижимых даже с помощью самых больших ускорителей элементарных частиц. Однако исследователи в области физики низких температур намного обошли природу. Через 15 млрд. лет после Большого взрыва ни одна точка во всей Вселенной не имеет температуры ниже 3 К (температуры реликтового излучения). Тем не менее в лабораториях достигаются температуры, измеряемые в нанокельвинах и пикокельвинах. Явления, которые наблюдаются при таких температурах, совершенно неизвестны не только физикам — они никогда не происходили ранее в природе за всю историю Вселенной.

Среди необычных явлений, наблюдаемых при сверхнизких температурах, вероятно, самое впечатляющее — это сверхтекучесть (течение жидкости без трения) и ее электронный аналог — сверхпроводимость. Сверхтекучесть жидкого ^4He , самого распространенного изотопа гелия, известна с 1938 г. В 1972 г. Д. Ошерофф, Р. Ричардсон и Д. Ли из Корнеллского университета обнаружили, что редкий изотоп ^3He также может становиться сверхтекучим. Исследования свойств этой новой разновидности вещества стали главным направлением физики сверхнизких температур за последние полтора десятилетия.

Поведение сверхтекучего ^3He может быть очень сложным, хотя его структура такая же, как у простой жидкости, состоящей из одинаковых, химически не активных атомов инертного газа. В дополнение к тому, что ^3He сам по себе заслуживает изучения, это сочетание простого и сложного делает сверхтекучий ^3He идеальным веществом для исследования многих других проблем физики конденсированного состояния — от

свойств высокотемпературных сверхпроводников до нейтронных звезд.

ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ гелий представляет собой «квантовую жидкость». Это означает, что законы квантовой механики влияют не только на его микроскопические свойства, но и на его макроскопическое поведение. Сверхтекучесть ^3He объясняется проявлением законов квантовой механики, которая вносит неопределенность в поведение отдельных атомов, и третьего закона термодинамики, который требует, чтобы вещество становилось полностью упорядоченным при приближении его температуры к абсолютному нулю. При высоких температурах вещество становится газообразным и его атомы движутся почти беспорядочно. При понижении температуры вещество конденсируется в жидкость и в конце концов «замерзает» в твердое тело, в котором положение каждого атома должно быть строго определенным.

Однако, согласно принципу неопределенности Гейзенберга, импульс и положение частицы не могут быть точно известны одновременно: измерение одного вызывает неопределенность в значении другого. Атомы гелия очень легкие и взаимодействуют очень слабо. В результате этого их положения в значительной степени неопределены даже при температуре абсолютного нуля. Из-за большой величины нулевых колебаний атомы гелия не могут быть достаточно неподвижными, чтобы при низких давлениях образовалось твердое тело.

Этот результат в какой-то степени парадоксален: сверхтекучий гелий остается жидким даже при самых низких температурах, однако в отличие от нормальных (обычных) жидкостей, движение которых указывает на внутренний беспорядок, низкотемпературный жидкий гелий совершенно, хотя и особым образом, упорядочен.

ОСОБОЕ упорядочение, которое происходит в жидком гелии, является следствием фундаментального различия, существующего в квантовой механике между фермионами (частицами, названными в честь Э. Ферми) и бозонами (частицами, названными в честь Ш. Бозе). Бозоны включают такие частицы-переносчики взаимодействий, как фотоны и пионы. Спин бозонов равен целому числу квантов момента импульса \hbar (постоянной Планка, деленной на 2π). В одном и том же квантовом состоянии может одновременно находиться любое число бозонов. Это означает, что при абсолютном нуле все бозоны рассматриваемой системы могут конденсироваться в одно квантовое состояние, имеющее низшую энергию.

Частицы, спин которых равен полуцелому числу квантов \hbar ($1/2$, $3/2$ и т. д.), такие, как электроны, протоны и нейтроны, являются фермионами. Именно из этих частиц состоит вещество. В любой заданный момент времени в определенном квантовом состоянии может находиться только один фермион — это исключает возможность конденсации всех частиц в одно низшее состояние.

Атом ^4He состоит из двух электронов, двух протонов и двух нейтронов, каждый из которых имеет полуцелый спин. В результате атом является бозоном. При охлаждении ^4He ниже критической температуры, называемой лямбда-точкой (2,17 К при нулевом давлении), жидкость начинает конденсироваться в состояние с низкой энергией. При очень низких температурах почти вся жидкость находится в этом состоянии и, таким образом, одна квантовомеханическая волновая функция описывает не только поведение отдельных частиц, но и всей жидкости в целом.

Кроме того, чтобы перевести жидкость в возбужденное состояние, требуется значительная энергия. Это условие приводит к сверхтекучести. В нормальной жидкости соударения

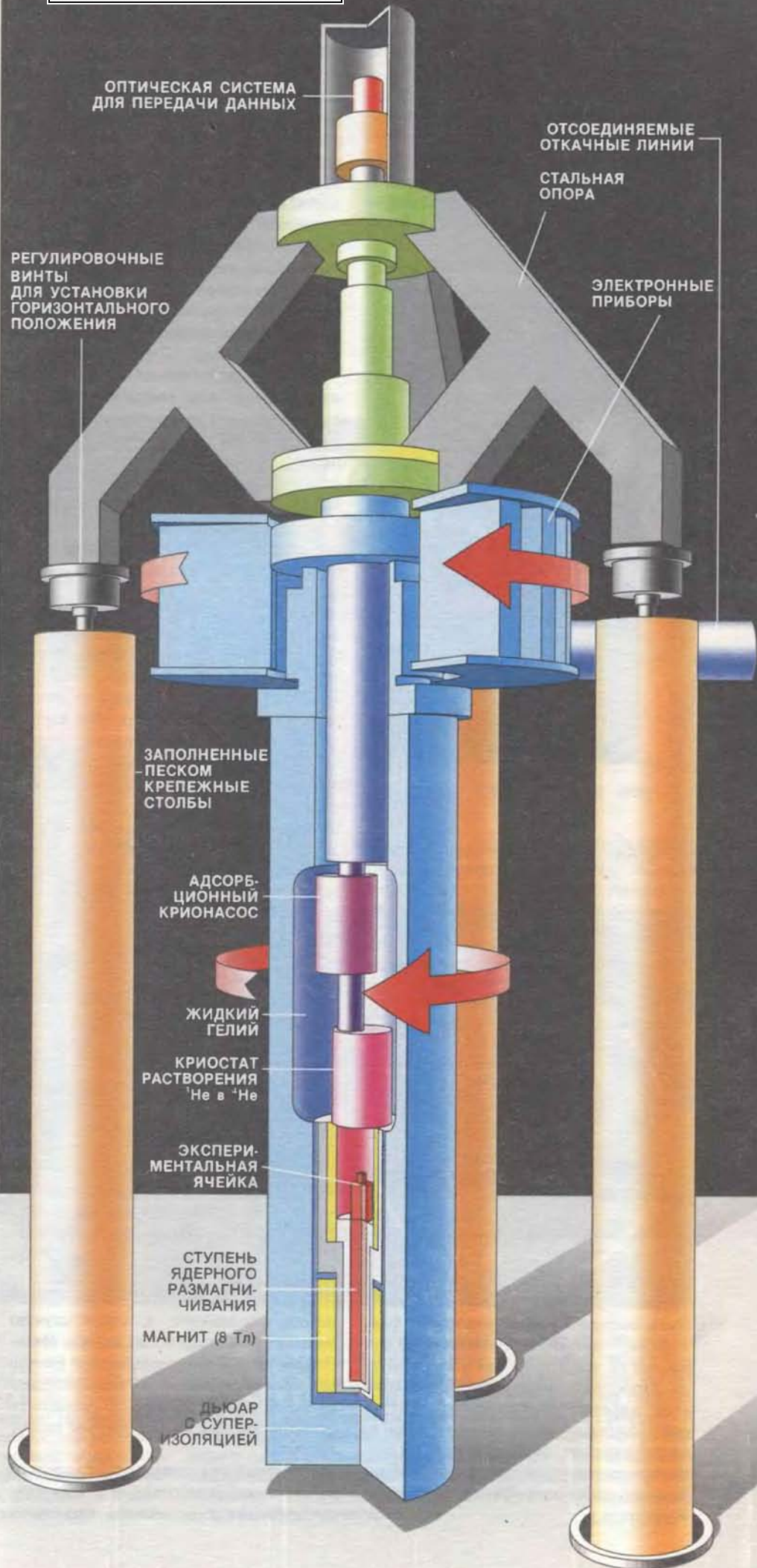
между атомами или между атомами и стенками сосуда могут легко переводить атом из одного энергетического состояния в другое с почти такой же энергией, что приводит к затуханию течения жидкости. Жидкий гелий, находящийся в основном состоянии (т. е. в состоянии с низшей энергией), не может быть переведен в другое состояние, если скорость течения невелика. В этом случае не существует механизма диссипации энергии.

Сверхтекучесть ^3He имеет несколько другой характер. Его атомы содержат нечетное число нейтронов и, следовательно, нечетное число частиц в сумме. Таким образом, атомы ^3He являются фермионами и не могут конденсироваться в общее основное состояние. В результате ^3He не может стать сверхтекучим так же легко, как его бозоновый «собрат». При температуре перехода, которая примерно в 1 000 раз меньше, чем для ^4He , начинает проявляться слабое притяжение между атомами ^3He . Атомы с равными по величине и противоположно направленными импульсами стремятся образовать пары, в которых они вращаются относительно друг друга на некотором расстоянии. Эти пары (называемые куперовскими парами в честь Л. Купера из Университета Брауна, который впервые предложил аналогичный процесс спаривания электронов для объяснения сверхпроводимости) являются уже бозонами: полуцелые значения момента импульса складываются и дают целое значение. Поэтому такие пары могут конденсироваться в общее основное состояние и образовывать сверхтекучую жидкость.

На самом деле они образуют две сверхтекучие жидкости: $^3\text{He-A}$ и $^3\text{He-B}$. В А-фазе ядерные спины двух атомов в паре стремятся ориентироваться перпендикулярно оси орбитального движения, в то время как в В-фазе корреляция более сложная.

Все пары ^3He находятся в одном и том же состоянии, поэтому связь между спиновым и орбитальным движением имеет отношение не только к отдельным парам, но и ко всей сверхтекучей жидкости в целом. Таким образом, сверхтекучий ^3He имеет выде-

ВРАЩАЮЩИЙСЯ КРИОСТАТ для исследований вихрей в сверхтекучем ^3He . Эта установка, находящаяся в Хельсинкском технологическом университете, может вращаться со скоростью до 30 об/мин. Она содержит кроме образца жидкого гелия экспериментальные датчики, электронное оборудование и многоступенчатую систему охлаждения.





РЕКОРДЫ низких температур, полученные для ^3He (который должен охлаждаться при контакте с другими веществами), электронов в металлах (охлаждаемых при магнитном упорядочении ядер) и для ядер атомов в металлах. Самая низкая температура жидкого ^3He (около 100 мК) получена в Университете Ланкастера. (Группа Х. Ишимоты из Университета Токио охладила твердый ^3He до 43 мК.) Ланкастерская группа охладила также электроны проводимости в меди до 12 мК — это рекорд, повторенный Ф. Побеллом и его сотрудниками в Байройте (ФРГ). В феврале 1990 г. П. Хаконен и Ши Ин в Хельсинки снизили ядерную температуру серебряного образца до 800 пикокельвинов (пК).

ленное направление (директор), как и жидкий кристалл. Директор может быть сориентирован внешними факторами, такими, как магнитные поля, поток жидкости или стенки сосуда. Пространственное распределение этих директоров называют текстурой. (Атомы ^4He не имеют спина и, следовательно, не имеют особых выделенных направлений; таким образом, сверхтекучий ^4He не обладает текстурой.)

ПОВЕДЕНИЕ сверхтекучих жидкостей отличается от поведения обычных жидкостей не только по количественным характеристикам, но и качественно. Одно из существующих отличий проявляется, если попытаться вращать сверхтекучую жидкость. В сосуде, вращающемся с постоянной скоростью, нормальная жидкость вращается с той же угловой скоростью, что и сосуд, т. е. ведет себя как твердое тело. При этом скорость и, следовательно, импульс жидкости пропорциональны расстоянию от оси вращения.

Однако сверхтекучий гелий нельзя «завращать» как твердое тело, поскольку он является квантовой жидкостью. Однородное вращение предполагает, что скорость и, следовательно, импульс жидкости линейно растут с увеличением расстояния от оси вращения. Импульс и длина волны обратно пропорциональны друг другу, поэтому квантовые волновые функции атомов удаленных частей должны иметь более короткие длины волн, чем у атомов, более близких к оси вращения. Это возможно для атомов нормальной жидкости, поскольку в ней каждый атом имеет собственную волновую функцию. Все атомы образца сверхтекучего гелия описываются единой квантовомеханической волновой функцией, и геометрически невозможно построить циркулярный набор пиков и впадин, расстояние между которыми уменьшалось бы при увеличении радиуса. Таким образом, сверхтекучий гелий находится в состоянии «невращения» относительно Вселенной как целого.

Однако в этом случае возможно использование волновой функции, длина волны которой увеличивается с увеличением радиуса. Такая функция соответствует движению жидкости вокруг водоворота, или вихря. При этом скорость максимальна в центре и падает с увеличением радиуса. Действительно, если вращать сосуд, заполненный сверхтекучим гелием, даже с относительно небольшой угловой скоростью, то стационарное состояние жидкости нарушается и появляются очень маленькие вихри. Вращение, вместо того чтобы быть равномерно распределенным в жидкости, как в случае твердотельного движения, проникает в сверхтекучую жидкость по вихревым линиям. Взаимодействие между вихрями и между вихрями и стенками сосуда приводит к небольшому трению, и жидкость становится уже не полностью сверхтекучей.

Круговой ток, связанный с каждым из этих миниатюрных водоворотов, отталкивает соседние так, что вихри

образуют регулярную гексагональную решетку. При типичной для эксперимента скорости вращения, соответствующей 12 об/мин, расстояние между вихрями составляет около 0,2 мм (вихревая решетка в ^4He была непосредственно сфотографирована Р. Паккардом с сотрудниками из Калифорнийского университета в Беркли.)

Вихри легко образуются в свободном объеме сверхтекучей жидкости, однако если ее поместить в сосуд, заполненный мелкими частицами (чтобы продемонстрировать исчезающе малую вязкость жидкости), то образование вихрей подавляется. Жидкость может без трения протекать между частицами, однако образование циркулирующего тока невозможно. Это приводит к парадоксальной ситуации: чем меньше поры, через которые должна протекать сверхтекучая жидкость, тем с большей скоростью она может течь.

СВЕРХТЕКУЧИЕ вихри в ^4He довольно интересны для исследований. Внутренняя структура ^3He приводит к вихрям, которые проявляют еще более сложные свойства. Однако экспериментальное изучение этих свойств необходимо. При этом нужно не только охлаждать образцы до температуры нескольких милликельвинов (мК) или ниже, но их нужно также вращать, чтобы получить вихри. До сих пор эти проблемы можно было решить, только вращая всю экспериментальную установку целиком.

Значительная часть результатов по вихрям в ^3He была получена на криостате ROTA 1 в Хельсинки, работающем с 1981 г. Этот криостат позволяет получать скорости вращения до 30 об/мин и температуры до 0,6 мК. В 1988 г. начал работать усовершенствованный криостат ROTA 2. ROTA — это совместный проект Академии Финляндии и Академии наук СССР. В этих экспериментах приняли участие многие ученые: П. Берглунд, Ю.М. Буньков, Д.И. Гарибашвили, О. Иккала, С. Исландер, П. Хаконен, М. Крузиус, О. Лоунасмаа, Ю.М. Мухарский, К. Нуммила, Ю. Пекола, Р. Салмелин, Ю. Симола, Л. Скрбек, Дж.С. Цакадзе и другие. Теоретические работы М. Саломаа и Г.Е. Воловика с соавторами имели также решающее значение для успеха проекта ROTA.

Чтобы исследовать поведение ^3He во вращающемся криостате, использовались четыре разных метода: ядерный магнитный резонанс (ЯМР), эксперименты с колеблющимся гироскопом (который детектирует момент импульса сверхтекучей жидко-

сти), изучение подвижности ионов (которая является чувствительным «датчиком» структуры сверхтекучей жидкости) и затухание ультразвука, которое зависит от текстуры.

Большая часть данных о влиянии вращения на сверхтекучий ^3He была получена с помощью метода ЯМР; к вращающемуся ^3He прикладывается постоянное магнитное поле, вызывающее прецессию оси, вдоль которой направлена намагниченность. Чтобы отклонить ядерные спины, используется радиочастотное поле. Частота, при которой спины отклоняются, зави-

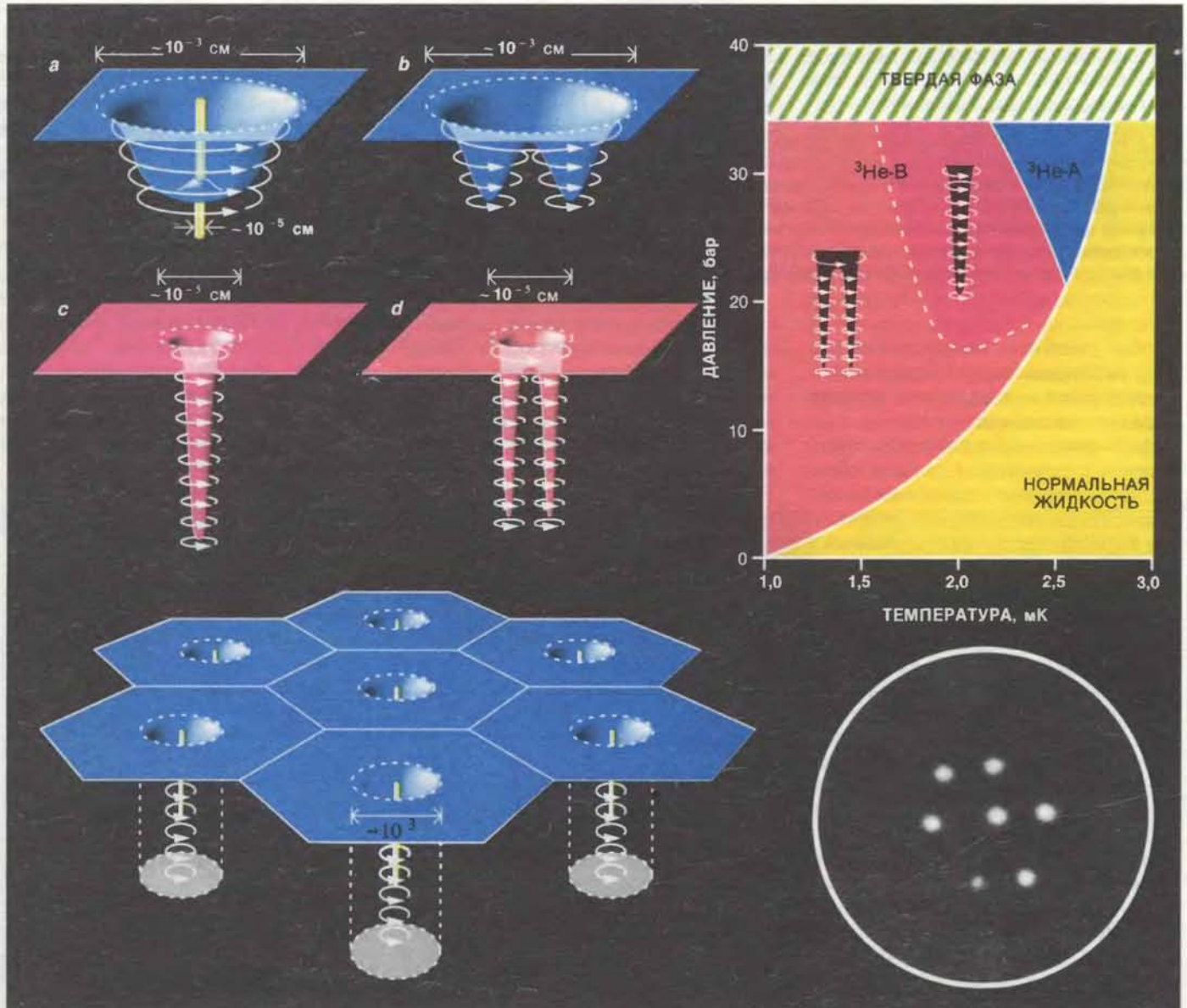
сит от взаимодействий между атомами ^3He .

Отрицательные ионы обычно дают информацию о текстуре сверхтекучего ^3He — макроскопическом распределении спинов и орбитальных осей куперовских пар. Движение ионов в жидкости под действием электрического поля сильно зависит от ориентации поля и текстуры сверхтекучей жидкости.

Затухание ультразвука также является чувствительным датчиком текстуры сверхтекучих состояний ^3He . Преимущество ультразвука заключа-

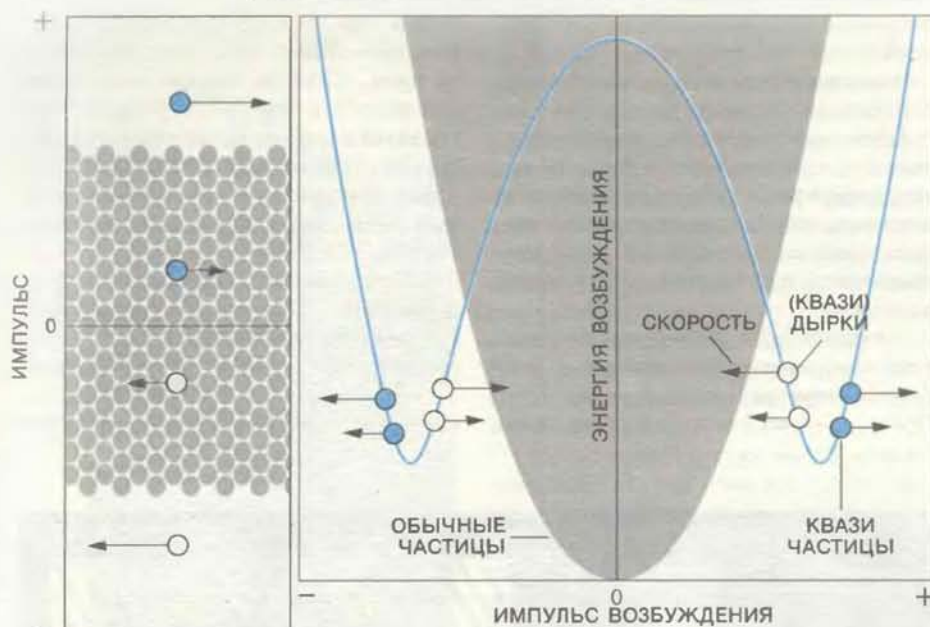
ется в том, что его можно использовать при любых значениях магнитного поля. Систематические исследования вихрей в $^3\text{He-A}$ с помощью ультразвука в слабом магнитном поле и в другой сверхтекучей фазе $^3\text{He-A}_1$, которая образуется в сильных магнитных полях, были приведены на криостате ROTA 2.

Колеблющийся гироскоп, в экспериментах с которым участвовал Р. Паккард, использовался для измерений свойств потока ^3He . Гироскоп состоит из горизонтального тора, заполненного ^3He и порошком пластика



УНИКАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА сверхтекучего ^3He проявляются в образовании при его вращении по крайней мере четырех разных типов вихрей. Квантовомеханические свойства этой жидкости не дают ей вращаться в целом, как это происходит в случае нормальной жидкости. На фазовой диаграмме (справа вверху) показаны условия, при которых образуются разные вихри. В $^3\text{He-A}$ могут существовать вихри как с одним (а), так и с двойным кором (сердцевинной) (b). Какой вихрь образуется в конкретном случае, зависит от того, как охлаждался образец. Вихрь с одиночным ко-

ром сингулярный: по его оси расположена тонкая «нить» нормальной фазы. В В-фазе также могут существовать вихри с одиночным (с) и двойным (d) кором. Диаметры вихрей в $^3\text{He-B}$ намного меньше, чем в А-фазе, и оба типа вихрей в В-фазе сингулярны. Течение жидкости приводит к отталкиванию вихрей друг от друга, и они образуют устойчивую гексагональную решетку (внизу). Р. Паккард из Калифорнийского университета в Беркли сфотографировал такую решетку в ^4He , в котором существует только один тип вихрей (справа внизу).



НЕСПАРЕННЫЕ АТОМЫ в жидком ^3He образуют квазичастицы и (квази)дырки. Большинство атомов связаны в куперовские пары (серый цвет). Неспаренные атомы приводят к связанным с ними дыркам — незаполненным состояниям, которые должны были быть заняты другим атомом из куперовской пары. Когда импульс неспаренного атома большой, он ведет себя как квазичастица; когда же импульс мал, атом неотличим от других, имеющих малый импульс, и заметную роль начинает играть соответствующая дырка.

(чтобы увеличить сверхтекучий поток), механизма для колебания тора и оборудования для измерения отклика сверхтекучей жидкости.

При проведении типичного эксперимента с гироскопом сначала образец ^3He охлаждают существенно ниже температуры сверхтекучего перехода; при этом жидкость поддерживается в состоянии покоя. Затем криостат с тором (который содержит ^3He и порошок пластика) вращают около минуты со скоростью от 1 до 20 об/мин. В течение 5 мин после окончания вращения экспериментаторы записывают амплитуду колебаний тора относительно вертикальной оси. Эти колебания вызываются прецессией сверхтекучей жидкости, двигающейся по кругу в торе, и являются мерой момента импульса.

При малых скоростях вращения, после того как криостат остановлен, момент импульса жидкости в торе равен нулю. Когда криостат вращается медленно, сверхтекучая жидкость просто протекает без трения по порам порошка в торе. Однако при скорости выше критической — порядка 2-3 об/мин — начинают образовываться вихри: сверхтекучая жидкость включается в движение и начинает вращаться. После остановки криостата момент импульса жидкости в торе сохраняется.

Одним из первых экспериментов, проведенных с гироскопом, была тщательная проверка истинности

сверхтекучести в жидком ^3He . Криостат приводился во вращение с максимальной скоростью, чтобы создать внутри гироскопа большой момент импульса. Затем криостат останавливался и измерялся момент импульса. После того как криостат находился в покое 48 ч и температура все еще была ниже точки сверхтекучего перехода, снова измерялся момент импульса жидкости в торе. Момент импульса в ^3He -В оставался неизменным в пределах точности экспериментов в 10%. Сопротивление потоку, полученное из этих экспериментов, по крайней мере в миллиард раз меньше, чем для нормального ^3He при той же температуре.

Доказать, что ^3He -В не оказывает никакого сопротивления потоку, экспериментально невозможно, однако эти результаты вне всякого сомнения показывают, что ^3He -В является настоящей сверхтекучей жидкостью, а не просто жидкостью с очень малой вязкостью. П. Гаммел, работающий сейчас в AT & T Bell Laboratories, и Дж. Реппи из Корнеллского университета, которые использовали несколько другое экспериментальное оборудование, с таким же успехом наблюдали незатухающие сверхтекучие токи в ^3He -А.

В ДРУГИХ экспериментах, проводимых в Хельсинки, мы исследовали дополнительные детали поведения вихрей. Критическая скорость,

при которой начинают образовываться вихри и сверхтекучая жидкость в В-фазе увлекается вращающимся гироскопом, испытывает резкое изменение при определенных температурах и давлениях. При давлении 23 бар и температуре менее 1,7 мК критическая скорость равна 7,1 мм/с, в то время как при несколько большей температуре она составляет только 5,2 мм/с. Такое резкое изменение свойств явно указывает на образование в ^3He -В разных типов вихрей. В отличие от одного типа вихря, существующего в ^4He , хельсинская группа обнаружила в сверхтекучем ^3He четыре типа вихрей: два в ^3He -А и два в ^3He -В.

В А-фазе ^3He один из типов вихрей является сингулярным: в его коре (сердцевине) имеется «разрыв», где направление скорости потока резко меняется, в то время как другой тип вихря с двойным кором несингулярен. В В-фазе оба типа вихрей являются сингулярными: в центре поля скорости существует разрыв. Сложный теоретический анализ, проделанный сначала Э. Тунебергом из Хельсинского университета, а затем М. Саломаа и Г.Е. Воловиком из Института теоретической физики им. Л.Д. Ландау АН СССР, показывает, что вихрь, образующийся при меньшей критической скорости, имеет одиночный цилиндрический симметричный кор, вокруг которого циркулирует жидкость, тогда как вихрь, образующийся при большей критической скорости, имеет двойной кор.

ДАЖЕ КОГДА ^3He неподвижен, в нем существуют возбуждения. Эти возбуждения связаны с атомами, которые не спарены в куперовские пары. Каждому неспаренному атому соответствует частица-тень, называемая «дыркой», представляющая собой состояние, незанятое атомом, который был бы спарен, если бы занял это состояние. Эти возбуждения обладают свойствами как частиц, так и дырок. При больших значениях импульса преобладают свойства, характерные для частиц, а при малых значениях — свойства, характерные для дырок. Соответственно, возбуждения называют или квазичастицами или (квази)дырками.

Большинство экспериментальных результатов по баллистическим квазичастицам в сверхтекучем ^3He было получено с помощью криостата ядерного размагничивания, созданного Т. Гейно и одним из нас (Дж. Пиккеттом) в Университете Ланкастера. Эта установка, работающая с 1980 г., способна охлаждать жидкий ^3He примерно до 100 мкК, когда тепловых

возбуждений очень мало. Среди тех, кто принял участие в этой работе, Дж. Карми, К. Кестелинс, К. Коутс, Ш. Фишер, К. Кеннеди, В. Кейт, Я. Миллер, С. Массетт, Г. Спенсер и М. Вард. Ступень ядерного размагничивания этого криостата необычна тем, что ее медные части, используемые в качестве хладагента, погружены непосредственно в образец жидкого ^3He , что обеспечивает хороший тепловой контакт.

Исследования образцов, охлажденных этим криостатом, проводились с помощью очень простого, но эффективного устройства (разработанного впервые М. Блеком, Г. Холлом и К. Томпсоном). Оно представляет собой тонкую сверхпроводящую проволоку, изогнутую в форме полупетли и закрепленную на обоих концах (см. рисунок на с. 57). Если она помещена в слабое магнитное поле, то текущий по ней ток приведет к возникновению силы и проволока отклонится в сторону.

Переменный ток соответствующей частоты может заставить проволоку колебаться на собственной резонансной частоте. Кроме того, поскольку проволока движется в поле, на ней возникает напряжение, пропорциональное ее скорости. Можно привести проволоку в движение, пропуская через нее ток, и затем наблюдать отклик, регистрируя полученное напря-

жение. Это простое устройство стало в Ланкастерской лаборатории универсальным датчиком для исследований при очень низких температурах.

При небольших скоростях проволока движется через сверхтекучую жидкость фактически без диссипации энергии. Затухание возникает только из-за внутренних эффектов в проволоке и связанной с ней цепи, а также из-за соударений с возбуждениями. Величина затухания поэтому пропорциональна количеству возбуждений в жидкости.

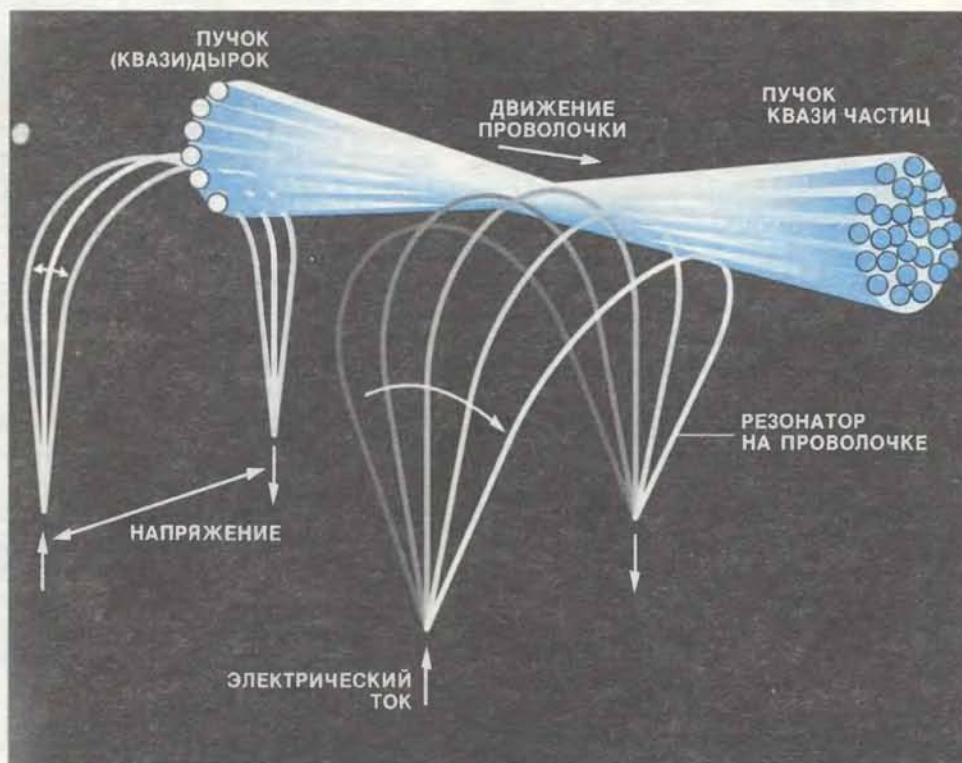
Число возбуждений изменяется с температурой, поэтому проволока может использоваться как термометр. При очень низких температурах важно иметь возможность измерять непосредственно температуру жидкости. Какой-нибудь другой термометр при температуре 100 мкК почти невозможно привести в хороший тепловой контакт с жидким ^3He , так как плотность возбуждений (частиц, которых может измерять термометр) в сверхтекучей жидкости сравнима с плотностью частиц, соответствующей при комнатной температуре очень высокому вакууму.

Являясь почти единственным прибором, способным непосредственно измерять температуру ^3He , термометр на основе проволоочной петли к тому же довольно чувствителен. В интервале от температуры сверхтекуче-

го перехода до низшей температуры, до которой может быть охлажден жидкий ^3He , затухание проволоочки падает примерно на пять порядков.

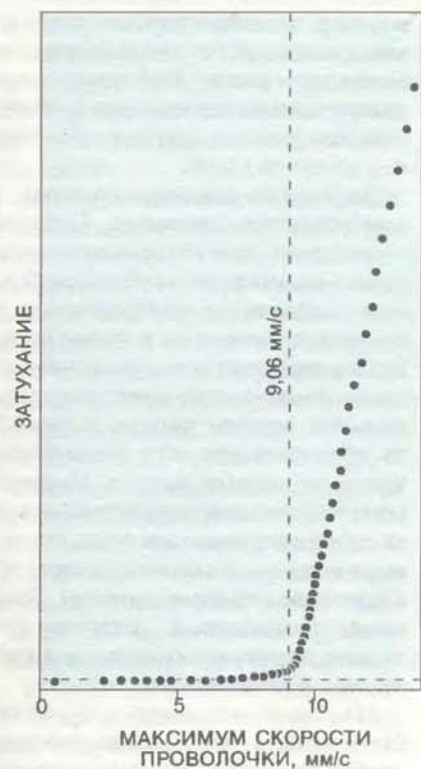
БОЛЕЕ существенной, чем способность проволоочной петли определять температуру жидкого ^3He , является возможность ее использования для изучения структуры жидкости. Атомы в сверхтекучем ^3He связаны в куперовские пары. Когда максимальная скорость петли превышает примерно 10 мм/с, проволоочка может потерять энергию, необходимую, чтобы разбить пару на два атома или две квазичастицы. При очень низких температурах и малых скоростях движение проволоочки через жидкость становится фактически бездиссипативным. Однако, если проволоочка достигает критической скорости, сила трения быстро возрастает на несколько порядков величины при увеличении скорости только на несколько процентов. Так как изменение затухания при критической скорости очень велико, любое аномальное течение жидкости вокруг проволоочки (которое меняет кажущуюся скорость проволоочки) заметно изменит точку, в которой затухание резко растет.

Этот эффект «распаривания» дает возможность получить контролируемый источник, излучающий искусственно образованные квазичастицы и



СВЕРХПРОВОДЯЩАЯ ПРОВОЛОЧНАЯ полупетля в магнитном поле, приводимая в движение электрическим током для того, чтобы получить пучки квазичастиц и (квази)дырок (слева). Вторая проволоочка может детектировать излу-

чаемый «ветер» возбуждений, который несет информацию о структуре сверхтекучей жидкости. Когда скорость проволоочки превышает критическую, «распаривание» приводит к быстрому возрастанию затухания (справа).



(квази)дырки. Простейшая картина процесса распаривания, предложенная канадским физиком Ф. Стампом, представляет проволочку как движущийся прожектор, излучающий пучок квазичастиц вперед и пучок дырок назад. Чуть ниже температуры сверхтекучего перехода значительная часть частиц не спарена и длина свободного пробега между соударениями очень мала. Любой «ветер» возбуждений быстро рассеивается и затухает из-за соударений с квазичастицами и (квази)дырками, уже имеющимися в жидкости. Однако, если температуру уменьшить на $1/10$ температуры сверхтекучего перехода, только одна частица из миллиона будет не спарена и вероятность соударения будет настолько малой, что возбуждения, составляющие «ветер», смогут преодолевать расстояния в километр и более без соударений.

Эксперименты при низких температурах подтвердили основные черты этой картины. Когда в жидкий ^3He помещена вторая проволочка, квазичастицы и (квази)дырки, излучаемые первой проволочкой, действуют на вторую, приводя ее в движение и генерируя на ней напряжение. Вторая проволочка испытывает действие силы, пропорциональное числу возбуждений, ударяющихся о нее. Число частиц «ветре» в свою очередь пропорционально энергии, диссипируемой первой проволочкой. По существу вся энергия, поступающая в первую проволочку, преобразуется в возбуждения, так как другого механизма диссипации энергии нет. Наблюдая угловое распределение излучаемых возбуждений, нам удалось подтвердить также, что их пучок узкий.

Некоторые вопросы, однако, все еще остаются неясными. Поскольку проволочка двигается вперед-назад, пучок, излучаемых возбуждений должен состоять из попеременных импульсов квазичастиц и (квази)дырок. Когда квазичастица нормальным образом рассеивается поверхностью, ее импульс должен просто измениться на обратный так, что рассеивающееся тело испытывает толчок. Напротив, (квази)дырка при отражении «тянет» за собой рассеивающееся тело, поскольку ее импульс и скорость направлены в противоположные стороны. Тем не менее проволочный детектор испытывает толчки от импульсов и квазичастиц, и (квази)дырок.

Чтобы понять, почему это должно быть именно так, как описано выше, требуется более глубокое понимание природы частиц и дырок в ^3He . Понятие дырки возникает из-за природы низшего (или основного) энергетического состояния системы частиц. На-

пример, в системе фермионов в состоянии с низшей энергией частицы заполняют все состояния до определенного уровня энергии, заданного числом частиц, так как каждый фермион должен находиться на своем энергетическом уровне. Все уровни с большей энергией незаняты. Теоретики, занимающиеся теорией поля, такое основное состояние называют вакуумом, поскольку, пока все низкоэнергетические уровни остаются заполненными и ни одна частица не перейдет на незанятые уровни, никакое взаимодействие с такой системой невозможно.

Если один фермион удалить с занятого уровня и перевести на какой-нибудь более высокий уровень, ситуация заметно изменится. Частица на этом уровне теперь может взаимодействовать с различными силами и оставлять за собой незанятое квантовое состояние — дырку. Частица и дырка ведут себя совершенно различно. Толкните частицу, и она улетит прочь. Ее импульс и энергия увеличиваются или уменьшаются вместе. Дырки, однако, ведут себя противоположным образом. Толкните дырку, и она приблизится к вам. Импульс дырки уменьшается, если ее энергия растёт, и наоборот. Дырка ведет себя так, как если бы она обладала отрицательной массой. И в самом деле, дырка — это отсутствующая частица, и в этом смысле она действительно имеет отрицательную массу.

Неспаренные частицы в сверхтекучем ^3He представляют особый интерес. Куперовские пары, образующие сверхтекучую часть (основное состояние) жидкости, состоят из спаренных частиц с противоположными импульсами. В результате неспаренному атому соответствует дырка с противоположным импульсом или, другими словами, незанятое состояние, в котором могла бы находиться частица с противоположным импульсом. Это приводит к очень необычному поведению жидкости.

Для обычной частицы связь между импульсом и энергией простая: и импульс, и энергия возрастают и уменьшаются вместе. Для квазичастиц в ^3He ситуация не настолько проста. Неспаренный атом, импульс которого велик, является «выделенным», так как другие состояния с большим импульсом незаняты. В то же время соответствующая дырка (состояние, незанятое атомом) ничем не выделяется из других незанятых состояний с большими значениями импульса. Комбинация частица—дырка ведет себя точно так же, как реальная частица, и ее энергия возрастает с увеличением импульса. В противополож-

ность этому неспаренный атом, импульс которого невелик, неотличим от бесчисленного множества спаренных частиц с малыми импульсами. Выделенной теперь является дырка с малым импульсом (двигающаяся в направлении, противоположном направлению движения частиц). Энергия дырки возрастает, когда ее импульс уменьшается. Между этими предельными случаями есть точка, где энергия комбинации частица—дырка достигает минимума и ее скорость падает до нуля.

Направление скорости возбуждения при малых импульсах (когда оно ведет себя как дырка) противоположно направлению при больших импульсах (когда оно ведет себя как частица). В результате квазичастица, попав в область, где на нее действует сила, препятствующая движению, будет постоянно терять энергию до тех пор, пока ее скорость не достигнет нуля. Затем начинают доминировать дырочные свойства и квазичастица заново пройдет свой путь. В сущности сила плавно превращает квазичастицу в дырку, и наоборот. Этот процесс, который не имеет аналогии при рассеянии нормальных частиц, называют андреевским отражением по имени А.Ф. Андреева из Института физических проблем АН СССР, который первым предложил этот механизм для сверхпроводников.

Андреевское отражение может объяснить тот факт, что вторая проволочка в экспериментах с пучком возбуждений испытывает толчки как от квазичастиц, так и от дырок. Когда квазичастицы переходят в дырки из-за андреевского отражения, они захватываются проволочкой сзади и толкают ее; проволочка испытывает толчок и при превращении (квази)дырок в квазичастицы. Эти процессы отличаются от обычных, когда оба типа возбуждений обуславливают противоположные эффекты.

Двухпроволочный прибор не просто демонстрирует причудливое поведение квазичастиц и (квази)дырок. Он обладает всеми свойствами, необходимыми для изучения динамики возбуждений в сверхтекучем ^3He . Он имеет источник и детектор, и вся система работает при температуре 100 мК.

ЛАБОРАТОРНЫЕ исследования сверхтекучего ^3He могут в конечном итоге давать информацию о состоянии вещества, не существующих на Земле. Например, предполагается, что нейтронное вещество (нейтронииум) в быстро вращающихся пульсарах обладает сверхтекучестью, хотя температура в нейтронных звездах со-

ставляет примерно 100 млн. кельвинов. Конечно, нейтронное вещество не может изучаться в лаборатории, однако можно моделировать его поведение с помощью вращающегося сверхтекучего ^3He или ^4He . Нейтроны, как и атомы ^3He , представляют собой фермионы, и считается, что нейтроний становится сверхтекучим благодаря тому же механизму куперовского спаривания, как и в ^3He . Только детальные теоретические расчеты могут дать ответ на вопрос, является ли сходство между сверхтекучим ^3He и нейтронием достаточно близким, чтобы такие модели дали полезные результаты. Если это так, то будут проведены специальные эксперименты с ^3He для проверки этих предположений.

Каковы шансы найти на Земле другие сверхтекучие жидкости? Один из главных кандидатов — слабый раствор ^3He в сверхтекучем ^4He . В зависимости от приложенного давления можно получить растворы, содержащие до 10% ^3He . При некоторой достаточно низкой температуре атомы ^3He в растворе должны объединяться в куперовские пары и становиться сверхтекучими. Несмотря на исследования, ведущиеся в нескольких лабораториях, такой переход еще не наблюдался. Плотность атомов ^3He в таком растворе очень мала и взаимодействия между ними довольно слабы. Оценки температуры перехода лежат в нанокельвиновом диапазоне температур: гораздо ниже 80—100 мК, до которых удалось пока охладить слабые растворы ^3He в ^4He .

Такая сверхтекучая жидкость могла бы открыть совершенно новую область атомного поведения. Не только атомы ^3He стали бы сверхтекучими, они находились бы в сверхтекучем растворителе. Новая система содержала бы две проникающие друг в друга, но независимые сверхтекучие жидкости. Такая двухкомпонентная сверхтекучая жидкость должна иметь еще более странное поведение, чем известная сейчас однокомпонентная.

Кроме того, теория предсказывает, что в слабом растворе ^3He могут образовываться два разных типа куперовских пар. Какой из них доминирует в каждом конкретном растворе, определяется концентрацией ^3He . При больших концентрациях будут образовываться пары, в которых ядерные спины двух атомов параллельны, как и в чистом ^3He . Однако при низких концентрациях вместо этого будут образовываться пары с противоположно направленными спинами. При некоторой промежуточной концентрации эти два типа

могут сосуществовать вместе, формируя трехкомпонентную сверхтекучую жидкость.

Экспериментальная проверка такого предположения возможна, вероятно, только в далеком будущем, поскольку такой переход может про-

изойти при температурах, существенно более низких, чем те, до которых жидкий гелий может быть охлажден в настоящее время. Тем не менее такие температуры должны быть в конце концов достигнуты.

Наука и общество

Гены в шоке

ДАВНО обсуждается вопрос о том могут ли электромагнитные поля, создаваемые электробытовыми приборами и энергооборудованием, быть причиной раковых заболеваний или врожденных дефектов. Считается, что у этих полей слишком низкая частота и интенсивность, чтобы вызвать нагревание клеток или повреждение генетического материала. Не зная других возможных механизмов, исследователи не могут получить убедительных свидетельств вредоносного влияния подобных полей.

Но вот недавно Р. Гудмэн из Колумбийского университета и Э. Хендерсон из Нью-Йоркского городского университета заявили, что обнаружили новый путь воздействия электромагнитных полей на живые клетки: поле может непрямым образом стимулировать активность генов и тем самым влиять на синтез белка в клетках. Исследователи продемонстрировали этот эффект для электромагнитных полей, сходных с теми, которые генерируются домашним электрооборудованием, подключаемым к сети переменного тока. «Бессмертные» (т.е. способные к неограниченному размножению) клетки, взятые у больного лейкозом, помещали в пульсирующее электромагнитное поле, генерируемое аппаратом, который используется для стимуляции заживления переломов. После этого наблюдалось усиление транскрипции некоторых генов, т.е. синтеза информационных РНК(мРНК), которые служат матрицами для синтеза белков, кодируемых этими генами.

В дальнейших исследованиях обнаружилось, что при частоте поля 60 Гц эффект больше, чем при той частоте, которую генерирует стимулятор роста костной ткани. Еще сильнее воздействовало поле частотой 45 Гц. Воздействие электромагнитного поля проявлялось далеко не у всех генов, но гены, оказавшиеся чувствительными, реагировали характерным образом: эффект был максимальным через 20 мин после воздействия, а затем ослабевал. Более сильные поля, возника-

ющие, скажем, вблизи мощного высоковольтного оборудования, влияют на транскрипцию, по-видимому, меньше. Гудмэн утверждает, что эти результаты хорошо воспроизводятся.

По мнению исследователей, низкочастотные электромагнитные поля активируют чувствительные рецепторные молекулы на клеточной поверхности. Как известно, такие рецепторы влияют на экспрессию генов посредством сложной последовательности событий, включающей изменение внутриклеточной концентрации ионов кальция.

Гудмэн и Хендерсон представили свои данные на состоявшемся недавно в Вашингтоне съезде федерации американских обществ по экспериментальной биологии. После этого в научных кругах стали серьезнее относиться к их исследованиям. «Я склонен верить таким результатам», — сказал М. Суикорд из Управления по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств США, который в предварительных экспериментах по экспрессии генов уже подтвердил описанные наблюдения.

К ним проявляет живой интерес и Научно-исследовательский институт электроэнергетики. Это учреждение, субсидируемое службой коммунального хозяйства, участвует в финансировании работ Гудмэна и Хендерсона. Его сотрудник Ч. Рафферти, участвующий в руководстве работами по изучению излучений, сказал: «Имеющиеся данные достаточно весомы, и мы полагаем важным осуществить большую исследовательскую программу, чтобы проверить факты».

Идеи о том, что низкочастотные электромагнитные поля могут влиять на клетки человеческого организма, теперь есть еще одно подтверждение. В предварительном исследовании, проведенном Агентством охраны окружающей среды, полученные свидетельства статистической связи между высокой степенью подверженности воздействию таких полей и заболеваемостью лейкозами у детей.

Сбалансированное сельское хозяйство

Возврат к старым методам земледелия в сочетании с современной технологией и отказом от потенциально опасных химических средств сделает сельское хозяйство экологически чистым и экономически более рентабельным

ДЖОН П. РЕЙГАНОЛЬД, РОБЕРТ И. ПАПЕНДИК И ДЖЕЙМС Ф. ПАРР

ЧЕТЫРЕ десятилетия после второй мировой войны американское сельское хозяйство было предметом зависти всего мира, почти каждый год устанавливая новые рекорды в производстве сельскохозяйственных культур и эффективности труда. В течение этого периода фермы США стали высокомеханизированными и специализированными хозяйствами, и в то же время сильно зависимыми от ископаемых видов топлива, заемного капитала, химических удобрений и пестицидов. Сегодня эти же самые фермы ассоциируются в сознании людей с падением плодородия почв, ухудшением состояния окружающей среды, снижением рентабельности и угрозой здоровью человека и животных.

Все большая часть американского общества задается вопросом об экологических, экономических и социальных последствиях традиционного земледелия. Многие ищут альтернативные пути, которые способствовали бы созданию сбалансированного сельского хозяйства.

Сбалансированное сельское хозяйство включает некоторые варианты нетрадиционного сельского хозяйства, которое часто называют органическим, альтернативным, регенеративным, экологическим или низкокапиталоемким. Но «органическая» или «альтернативная» ферма еще не является «сбалансированной». Чтобы быть «сбалансированной», она должна производить достаточное количество высококачественного продовольствия, сохранять свои ресурсы, быть безопасной для окружающей среды и приносить доход. А чтобы не быть зависимой от таких покупных материалов, как удобрения, «сбалансированная» ферма должна опираться, насколько это возможно, на выгодные природные ресурсы и собственные возобновляемые источники.

Сбалансированное сельское хозяйство направлено на решение многих

серьезных проблем, от которых страдает производство продовольствия в США и во всем мире: высокая стоимость энергии, загрязнение подземных вод, эрозия почвы, снижение продуктивности, истощение природных ресурсов, низкие доходы фермеров и ухудшение состояния природной среды и здоровья человека. Оно является не столько специфической фермерской стратегией, сколько комплексным подходом к решению проблем в пределах сельскохозяйственных экосистем.

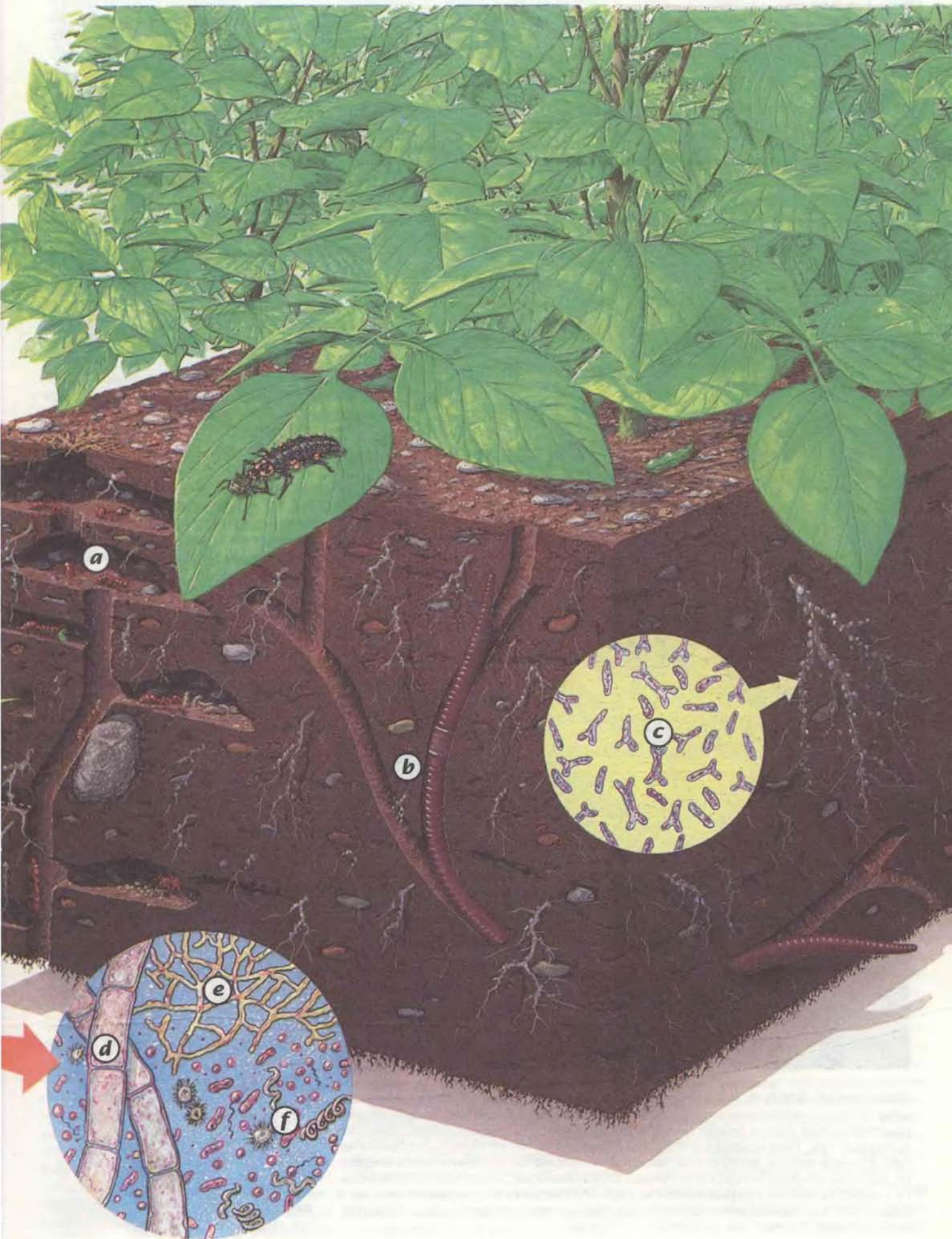
В 1980 г., по оценкам министерства сельского хозяйства США, около 20—30 тыс. фермеров, что составляет примерно 1% от их общей численности в стране, практиковали нетрадиционные методы ведения хозяйства, в большинстве своем отражающие элементы сбалансированной агрономии. Сегодня, по утверждению некоторых экспертов, эта цифра удвоилась или даже утроилась. Фермеры,

ЗДОРОВАЯ ПОЧВА является неотъемлемым условием сельского хозяйства и представляет собой живую среду. Рыхлая, но связная структура хорошей почвы позволяет удерживать влагу и не препятствует проникновению воздуха. Муравьи (а) и земляные черви (b) естественным образом перемешивают ее. Бактерии *Rhizobium* (c), живущие в клубеньках корней бобовых культур (таких как соя) связывают азот воздуха, который является для растений основным питательным веществом. Другие почвенные микроорганизмы, включая грибки (d), актиномицеты (e) и бактерии (f), разлагают органическое вещество, высвобождая при этом большое количество питательных веществ. Микроорганизмы вырабатывают вещества, которые обеспечивают слипание между собой частичек почвы. Чтобы оставаться здоровой, почва должна «подпитываться» органическими веществами, такими как навоз разных видов и растительные остатки.

применяющие почвозащитные технологии и постепенно избавляющиеся от зависимости от удобрений и пестицидов, сообщают, что издержки производства у них, как правило, ниже, чем у тех, кто стоит ближе к традиционному сельскому хозяйству. Иногда урожай на «сбалансированных» фермах несколько ниже, чем на «традиционных», но он зачастую компенсируется более низкими производственными затратами, что дает равный или даже больший чистый доход.

Чтобы осознать преимущества сбалансированного сельского хозяйства, необходимо понять, какое важное значение имеет почва. Ее нельзя рассматривать стоящей в ряду таких «инструментов» для получения сельскохозяйственных культур, как пестициды, удобрения или тракторы. Поч-





ва — это сложная, живая и хрупкая среда, которую необходимо охранять и пестовать, чтобы обеспечить ее долговременную производительность и стабильность.

Здоровая почва является благодатной средой для роста. Воздух свободно проникает в нее, она надолго задерживает влагу после дождя. Столовая ложка почвы содержит миллионы частичек песка, пыли и глины и может вмещать достаточное количество питательных веществ. В той же столовой ложке почвы содержатся миллиарды микроорганизмов, включая бак-

терии, актиномицеты, плесневые грибки и водоросли, большинство из которых разлагает органическое вещество. Разложение ведет к образованию гумуса и высвобождению питательных веществ. Микробы производят также клейкие вещества, называемые полисахаридами, которые склеивают между собой частички почвы и таким образом препятствуют эрозии.

Другим важным результатом процессов, происходящих в почве, является фиксация азота. Определенные бактерии в почве или в корнях расте-

ний (в основном бобовых) связывают азот воздуха и превращают его в фиксированные формы, которые растения и другие организмы используют для производства белка. Количество азота в почве в значительной мере определяет ее плодородие.

ОДНОЙ из наиболее ранних вех на пути к сбалансированному сельскому хозяйству в США является издание в 1911 г. книги Франклина Кинга «Фермеры сорока веков: беспаровое земледелие в Китае, Корее и Японии». В ней описано, как земледельцы в отдельных районах Восточной Азии обрабатывали земли в течение 4 тыс. лет, причем плодородие почвы не снижалось. Эта и другие публикации начала XX века были посвящены философским аспектам сельского хозяйства, рассмотрению его как целостной структуры и анализу сложных взаимодействий внутри системы фермерских хозяйств.

Примерно в это же время сельское хозяйство США находилось на ранних стадиях индустриализации. Разрабатывались новые технологии и научные методы, чтобы помочь фермерам удовлетворить спрос в сельскохозяйственных продуктах растущего населения городов. Например, используя вместо лошадей различные механизмы, фермеры могли увеличить площадь под зерновыми культурами на 20—30%, так как могли вспахать больше земли за меньшее время и не выращивать фуражные культуры.

Многие люди продолжали верить в то, что управлять сельским хозяйством нужно с учетом биологических и экологических аспектов, а не посредством «химии» и внедрения новых технологий. Их усилия способствовали рождению в 30-е годы движения за охрану и рациональное использование почв, развитию движения за органическое земледелие и углублению научных исследований в этой области. Тем не менее к началу 50-х годов технологические преимущества повернули сельское хозяйство в новое русло, создав систему, которая полагается на использование химикатов, новых сортов культур и трудосберегающих энергоёмких сельскохозяйственных машин. Такой подход стал известен как традиционная система ведения сельского хозяйства.

После внедрения пестицидов, дешевых удобрений и высокоурожайных сортов растений стало возможным возделывать одну и ту же культуру (монокультуру) на одном и том же поле год за годом без снижения уровня запасов азота в почве или возникновения серьезной проблемы с вредителями. Фермеры стали концентрировать



ПОЧВЕННАЯ ЭРОЗИЯ, вызванная стоком вод, проделала глубокий овраг на этом поле, расположенном на востоке шт. Вашингтон. Даже небольшая эрозия пахотного слоя почвы может снизить продуктивность сельскохозяйственного производства. Традиционные способы земледелия часто приводят к увеличению степени эрозии вследствие снижения содержания органического вещества, которое сохраняет структуру почвы. В системе сбалансированного сельского хозяйства эрозия сдерживается за счет поступления в почву органического вещества и выращивания покровных культур, которые предотвращают выдувание или смыв почвы.



ЗЕЛЕННЫЕ УДОБРЕНИЯ мульчируются и запахиваются в землю, обогащая почву и способствуя улучшению ее продуктивности в будущем. Бобовые (в данном случае донник

белый) являются отличным зеленым удобрением, так как связывают атмосферный азот, уменьшая потребность в любых видах синтетических азотных удобрений.

свои усилия на выращивании меньшего числа культур. Правительственные программы поощряли монокультуры путем субсидирования производства только пшеницы, кукурузы и некоторых других основных зерновых культур. К сожалению, эта практика способствовала интенсивной эрозии почв и загрязнению вод сельскохозяйственными химикатами.

В период с 1950 по 1985 г. доля общих издержек сельскохозяйственного производства в США, приходящаяся на выплаты по процентам на заемный капитал, на расходы по использованию капитала и производство средств сельскохозяйственного производства (химические удобрения, пестициды и оборудование), почти удвоилась — с 22 до 42%, в то время как затраты на оплату труда и приобретение средств производства для фермеров снизились с 52 до 34%. Вследствие недостаточного финансирования и отсутствия общественного интереса научные исследования в области сбалансированного сельского хозяйства в этот период почти не проводились.

Тем не менее к концу 70-х годов стала возрастать озабоченность по поводу того, что быстро растущие издержки производства стали угрожать фермерам в национальном масштабе. В ответ на это в 1979 г. министр сельского хозяйства Р. Бергланд утвердил программу исследований с целью оценки масштабов органического

сельского хозяйства в США, применяемых в рамках этой системы технологий, а также экономических и экологических последствий такого хозяйствования. Отчет «Сообщения и рекомендации по органическому сельскому хозяйству», опубликованный в 1980 г., был основан на всестороннем изучении 69 «органических» ферм в 23 штатах.

В отчете делался вывод о том, что органическое сельское хозяйство эффективно, поскольку обеспечивает экономию энергии и охрану окружающей среды; оно продуктивно и стабильно и имеет тенденции к долговременной сбалансированности. Публикация отчета вызвала интерес к сбалансированному сельскому хозяйству внутри страны и за рубежом. Приведенные в нем рекомендации легли в основу «альтернативного» сельского хозяйства, принципы которого были изложены в принятом конгрессом в 1985 г. «Законе о безопасности продуктов». Он открывал перспективы для научных исследований и обучения фермеров ведению сбалансированного сельского хозяйства.

Движение за сбалансированное сельское хозяйство получило новый импульс в сентябре прошлого года, когда Сельскохозяйственный отдел Национального совета по научным исследованиям выпустил другую работу — «Альтернативное сельское хозяйство». Хотя выводы этой рабо-

ты несколько противоречивы, она, вероятно, является наиболее важным подтверждением успеха фермеров, полагающихся вместо химикатов на биологические ресурсы и их оптимальное взаимодействие. Было установлено, что фермы с хорошей организацией труда, где возделываются разнообразные культуры с применением небольшого количества химикатов или без них, по продуктивности не уступают традиционным, а по уровню доходов часто превосходят их. Было также заявлено, что широкое использование проверенных альтернативных систем даст фермерам большую экономическую выгоду, а нации в целом — улучшение состояния окружающей среды.

«СБАЛАНСИРОВАННОСТЬ» не является возвратом к методам, существовавшим до индустриальной революции; скорее она включает в себя старые («сберегающие») методы ведения сельского хозяйства в сочетании с современными технологиями. Сбалансированные сельскохозяйственные системы предусматривают использование современного оборудования, сертифицированных семян, охрану и рациональное использование почв и водных ресурсов, а также последние достижения в способах кормления и ухода за животными. Упор делается на правильный выбор севооборотов, восстановление плодородия



БОЖЬЯ КОРОВКА — естественный хищник для гороховой тли и других насекомых-вредителей. В программах интегрированной защиты от вредителей, которые применяются в настоящее время на многих фермах, используются естественные отношения хищник-добыча или другие биологические методы борьбы с вредителями с целью снижения потребности в химических пестицидах. Фермеры, которые практикуют биологические методы борьбы, поощряют размножение полезных микробов и насекомых, таких как божья коровка. Таким образом, поля становятся «негостеприимными» для насекомых, питающихся листьями растений.

почвы, разнообразие культур и домашних животных и борьбу с вредителями естественными способами.

Всюду, где это возможно, «внешние» ресурсы, например покупные удобрения и топливо, заменяются «внутренними», которые имеются на ферме или вокруг нее: солнечная энергия или энергия ветра, биологические методы борьбы с вредителями, биологически фиксированный азот и другие питательные вещества, полученные в свою очередь из органических веществ или из «запасов» почвы. В некоторых случаях внешние ресурсы могут быть необходимыми для достижения сбалансированности. Как правило, такие фермерские системы могут значительно отличаться друг от друга, поскольку каждая видоизменяет свои методы в соответствии с определенными экологическими и экономическими требованиями.

Важнейшим элементом почти всех сбалансированных агросистем является севооборот — планируемое размещение культур, выращиваемых на одном и том же поле. Когда применяется севооборот, урожайность обычно бывает на 10—15% выше, чем при выращивании монокультуры. В большинстве случаев монокультура может выращиваться «вечно» только при внесении большого количества удобрений и пестицидов. Севооборот позволяет успешнее бороться с сорняками и вредителями, повышает устойчивость к болезням, обеспечивает более эффективное прохождение через почву питательных веществ и дает некоторые другие преимущества.

Типичный семилетний севооборот мог бы включать возделывание люцерны в течение 3 лет и запахивание ее в почву с последующим выращиванием на протяжении 4 лет уборочных культур: один год — пшеница, затем — соя, затем — опять пшеница и в завершении — овес. Далее цикл повторяется. В первый год выращивания пшеницы расходуется часть азота, накопленного люцерной; резервы азота в почве значительно меньше истощаются соей, которая является бобовой культурой. Овес выращивается в конце цикла, потому что он по сравнению с пшеницей менее требователен к наличию питательных веществ.

Другой важной особенностью сбалансированного земледелия является регулярное добавление в почву растительных остатков, навоза и других органических веществ. Органическое вещество улучшает структуру почвы, повышает ее способность удерживать влагу, увеличивает плодородие и улучшает ее «физическую спелость». Чем выше физическая спелость почвы, тем легче она поддается обработке, тем быстрее прорастают семена, тем лучше формируется корневая система. При хорошей физической спелости вода легче просачивается в почву, уменьшается поверхностный сток и эрозия. Органические вещества являются к тому же питательной средой для земляных червей и почвенных микробов.

Основным источником питательных веществ в сбалансированном земледелии являются навоз животных и зеленые удобрения. Зеленые удобре-

ния — это травы или бобовые культуры, которые запахиваются в почву или «мульчируются» на ее поверхности в конце вегетационного периода с целью повышения продуктивности почвы и улучшения ее физического состояния. Зеленые удобрения помогают бороться с сорняками, насекомыми-вредителями и с эрозией, а также идут на корм скоту и не наносят вреда дикому природному миру.

Выращивание разнообразных сельскохозяйственных культур и разведение различных видов животных позволяет фермеру избежать экономического и биологического риска; это достигается путем комбинации видов и сортов сельскохозяйственных культур и путем интегрированного подхода к выбору зерновых, деревьев и животных. Когда, например, сильнейшая засуха поразила в 1988 г. штат Северная Дакота, многим фермерам, выращивающим пшеницу как монокультуру, просто нечего было убирать. Фермеры многоотраслевых агросистем тем не менее смогли продать скот осенью или убрать свои поздние культуры и засухоустойчивые сорта. Биологически многоотраслевое сельскохозяйственное производство в меньшей степени подвержено экономическим кризисам перенасыщенного рынка или падению цен на отдельные виды продукции.

Борьба с насекомыми-вредителями, болезнями и сорняками без использования химикатов является одной из задач развития сбалансированных агросистем, и надо сказать, что успехи, достигнутые в этой области, обнадеживают. Один из известных методов ограничения использования пестицидов называется интегрированной защитой растений от вредителей (ИЗВ), которая может включать возделывание сортов растений, устойчивых к болезням, и биологические методы борьбы (такие как естественные хищники или паразиты, которые удерживают популяции вредителей на допустимом уровне). Фермеры могут выбрать различные способы обработки почвы, время посева, севооборот, способы использования растительных остатков с целью создания условий для воспроизводства полезных насекомых, которые уничтожают различных вредителей или вытесняют их из естественной среды обитания. Пестициды используются только в крайнем случае; они вносятся, когда вредители наиболее уязвимы или когда полезные насекомые и естественные враги вредителей могут пострадать в наименьшей степени.

Программы интегрированной защиты помогли резко снизить использование пестицидов на таких культу-

рах как хлопок, сорго и арахис. Они используются сейчас на площади более 12 млн га (около 8% всех сельхозугодий США), обеспечивая ежегодный чистый доход более 500 млн долл. Но в отношении многих культур, таких как кукуруза и соя, при выращивании которых использование пестицидов значительно возросло, программы интегрированной защиты были сведены до уровня «контроля за использованием пестицидов».

Биологические методы являются одним из лучших средств борьбы с вредителями без использования пестицидов. Они применяются уже более 100 лет и показали себя экономически выгодными, особенно в борьбе с насекомыми, что было подтверждено при реализации более 250 сельскохозяйственных проектов в разных районах земного шара. Тем не менее объемы финансирования таких методов со стороны министерства сельского хозяйства США сокращаются.

МОЖЕТ ЛИ сбалансированное сельское хозяйство успешно вести и быть стабильным, продуктивным и доходным? С целью сравнения результатов сбалансированных и традиционных систем сельскохозяйственного производства один из авторов этой статьи (Рейганольд), работая совместно с Л. Эллиотом и А. Анджером из Университета шт. Вашингтон, изучал состояние почвы двух ферм, специализирующихся на выращивании товарной пшеницы. На сбалансированной ферме на площади 800 акров (320 га) начиная с 1909 г., когда была впервые вспахана земля, не использовались синтетические удобрения и в ограниченных масштабах применялись пестициды. Земли соседней фермы на площади 1300 акров (520 га) обрабатывались по традиционной технологии: почва была впервые распашана в 1908 г.; с 1948 г. здесь использовались удобрения, а с начала 50-х годов — пестициды. На ферме со сбалансированным земледелием применялась сложная система севооборотов и практиковались почвозащитные приемы обработки земли, в то время как на традиционной ферме применяли простой двухпольный севооборот. На сбалансированной ферме также выращивались бобовые в качестве покровной культуры и зеленого удобрения.

За счет различия в способах обработки почва на сбалансированной ферме содержала значительно больше органических веществ, азота и легкоусваиваемого калия, чем почва на традиционной ферме. Она имела более высокий уровень содержания питательных веществ, влаги, большее количество микроорганизмов и соде-

ржала больше полисахаридов. Почва отличалась лучшей структурой и более высокой степенью спелости; пахотный слой был на 16 см толще, чем на традиционной ферме, где верхний пахотный слой был тоньше вследствие эрозии почвы.

Урожайность озимой пшеницы в период с 1982 по 1986 г. на сбалансированной ферме была в среднем с одного акра на 8% ниже, чем на традиционной. Тем не менее урожайность пшеницы на сбалансированной ферме достигла средней по региону и для примера можно сказать, что почти на 13% превзошла урожайность на другой соседней традиционной ферме с такой же почвой. Такие высокие результаты были достигнуты несмотря на почти 80-летнее ведение хозяйства без синтетических удобрений за счет поддержания почвенного плодородия и частично за счет снижения эрозии почвы.

Хотя сохранение плодородия почвы отвечает интересам фермеров, большинство из них обычно выбирают систему хозяйствования, обеспечивающую быстрое получение высоких доходов. До недавнего времени обычные системы земледелия, приносящие доходы в короткое время, казались более выгодными по сравнению со сбалансированными. Это неудивительно, так как научные исследования и политика министерства сельского хозяйства в течение последних 40 лет

были направлены на расширение традиционного сельскохозяйственного производства.

Но если человеческое общество примет во внимание необходимость сохранения окружающей среды и здоровья населения, можно усомниться в том, что традиционное сельское хозяйство в будущем останется рентабельным. Если бы все косвенные расходы были включены в стоимость производства в традиционном сельском хозяйстве, то, по всей вероятности, сбалансированные агросистемы оказались бы более рентабельными и выгодными для общества.

Одно из наиболее известных исследований по экономике сбалансированного сельского хозяйства было проведено учеными Вашингтонского университета У. Локеретсом, Дж. Ширер и Д. Кодем. Анализируя эффективность использования энергии и стоимость производства сельскохозяйственных культур, они проводили попарное сравнение между многочисленными органическими и обычными фермами на Среднем Западе. В период с 1974 по 1978 г. потребление энергии в расчете на доллар произведенной продукции на органических фермах составило только 40% от ее расхода на обычных фермах. Хотя органические фермы имели более низкую урожайность культур по сравнению с обычными, издержки производства здесь были ниже при том же дене-



КОМБИНИРОВАНИЕ различных растительных культур и животных способствует сбалансированности ферм путем поддержания плодородия почвы и уменьшения зависимости от одной культуры. На ферме, показанной на рисунке, параллельные полосы на земле были засеяны по контуру овсом (желтый), кукурузой и люцерной (зеленый). В пределах каждой полосы используется четырехпольный севооборот: кукуруза (один год) сменяется овсом (один год), а затем люцерной (два года). Такой севооборот позволяет успешно бороться с сорняками, вредителями и болезнями; он также повышает эффективность кругооборота питательных веществ. Контурное земледелие в значительной мере снижает эрозию почвы.



ДОХОДЫ сбалансированных ферм, согласно С. Кратену из Университета шт. Вашингтон, могут превышать доходы обычных ферм. Он установил, что на обоих видах ферм денежный доход в расчете на один акр в течение двух лет был практически одинаковым. Но вследствие того, что расходы на средства производства на сбалансированной ферме были ниже, ее чистый доход оказался на 22,4% выше. Переменные издержки включают затраты на топливо, техническое обслуживание и эксплуатацию машин, семена, удобрения, пестициды и оплату труда рабочих. К разряду постоянных издержек относятся выплаты налогов на собственность и процентов по займам.

жном эквиваленте. В результате чистый доход от возделывания сельскохозяйственных культур на двух типах фермерских хозяйств был почти равным, за исключением одного года.

Несмотря на эти обнадеживающие результаты, некоторые фермеры, перешедшие от традиционного к сбалансированному производству, встретились с кратковременными трудностями. Проблемы возникали из-за того, что фермеры отказались от внесения пестицидов и удобрений сразу на всей площади. Такие радикальные изменения могут иногда привести к снижению урожайности из-за серьезных проблем с сорняками, резкого увеличения численности насекомых-вредителей и снижения плодородия почвы, причем эта ситуация может сохраняться в течение ряда лет.

Ученые Исследовательского центра Родаль в Кутстауне (шт. Пенсильвания) изучали процесс перехода от традиционного к сбалансированному сельскому хозяйству и пришли к выводу, что наилучший путь — это постепенное и осторожное его осуществление. Даже постепенные изменения могут вызвать небольшое снижение урожайности сельскохозяйственных культур, пока почва приводится в новое химическое и биологическое рав-

новесие. Фермеры должны осуществлять нововведения только на одном поле, чтобы исключить риск сразу для всего хозяйства. Переход осуществляется более гладко, если регулярно добавлять в почву органическое вещество в виде навоза или зеленых удобрений.

ЧТО ЖЕ удерживает фермеров от перехода к сбалансированному сельскому хозяйству? Одним из препятствий являются федеральные сельскохозяйственные программы, которые поддерживают цены только на небольшое количество культур. На кукурузу и другие культуры — пшеницу, хлопок и сою, занимающие примерно 2/3 посевных площадей — приходится около 3/4 всех субсидий, выделяемых правительством США. Отсутствие субсидий для поддержания цен на другие культуры в значительной мере отталкивает фермеров от внедрения многоотраслевого производства, севооборотов и выращивания зеленых удобрений и стимулирует их на развитие монокультуры с целью получения максимальных урожаев и высоких доходов.

Долгосрочные экономические преимущества сбалансированного сельскохозяйственного производства мо-

гут быть не столь очевидными для фермера, столкнувшегося с проблемой выплаты взятых займов. Многие традиционные фермерские хозяйства имеют большие задолженности, часто в результате значительных капитальных вложений в покупку специализированных машин и другого оборудования. Эти задолженности сдерживают переход к сбалансированному сельскому хозяйству. Сегодня общество не только не оказывает фермерам финансовой поддержки, но и не создает других стимулов к переходу к сбалансированным способам хозяйствования, которые могли бы быть выгодными для населения.

Кроме того, имеется слишком мало доступной информации для фермеров по ведению сбалансированного сельского хозяйства. Научные исследования, финансируемые правительством, в малой степени были направлены на альтернативное сельское хозяйство и вместо этого были нацелены на агрохимические способы производства. Агробизнес также определяет направления исследовательских работ путем предоставления денежных сумм университетам для разработки интенсивных технологий производства зерновых монокультур.

Расширяется правовая база, обеспечивающая изменения в американской системе ведения сельского хозяйства, но финансовая поддержка проектов по развитию сбалансированного производства составляет лишь небольшую долю от общей суммы субсидий, выделяемых на развитие сельского хозяйства. В 1988 финансовом году конгресс предоставил 3,9 млн долл., а в 1989 финансовом году — 4,45 млн долл. на реализацию исследовательских и образовательных программ по сбалансированному сельскому хозяйству в рамках «Закона о производительности в сельском хозяйстве», который является одной из составных частей «Закона о безопасности продуктов» (1985 г.). Объемы финансирования в 1990 г. были такими же, как и в предыдущем году — 4,45 млн долл., что составляет только 0,5% бюджета министерства сельского хозяйства на проведение научных исследований и обучение специалистов.

Программа по сбалансированному сельскому хозяйству с низкими капиталовложениями под названием LISA (Low-Input Sustainable Agriculture), которая появилась в результате усилий федерального правительства, должна способствовать решению многих задач: уменьшению зависимости фермерских хозяйств от синтетических удобрений, пестицидов и других покупных производственных ре-

сурсов, увеличению доходов и продуктивности хозяйств, экономии энергии и природных ресурсов, уменьшению эрозии почвы и потери питательных веществ, развитию сбалансированных агросистем.

В докладе палаты представителей «Сельскохозяйственные системы с низкими капиталовложениями», подготовленном в 1988 г., конгрессу было рекомендовано пересмотреть или отменить некоторые постановления о программах поддержания цен, которые поощряют более широкое использование сельскохозяйственных химикатов и препятствуют внедрению низкокапиталоемких способов производства. В прошлом году на рассмотрение конгресса было представлено три законопроекта — два в сенат и один в палату представителей, — которые позволят фермерам применять систему севооборотов и использовать другие альтернативные методы, не теряя при этом финансовой поддержки. Все законопроекты находятся на стадии рассмотрения.

Перевод сельского хозяйства на новый путь потребует не только принятия новых законов и положений. Необходимо развернуть обширную научно-исследовательскую работу и формировать общественное мнение в нужном направлении. Министерство сельского хозяйства и университеты США медленно приступают к проведению научных исследований в области сбалансированного земледелия. Особый приоритет в исследованиях предоставляется разработке специальных систем возделывания культур, которые наиболее эффективно производят и потребляют азот. Важно определить, какое количество азота фиксируется бобовыми культурами в различных условиях, а также найти оптимальные пути внедрения бобовых в севообороты.

СОЕДИНЕННЫЕ Штаты должны сделать шаг вперед в своих научных исследованиях и по другим направлениям. Необходимо расширить наши представления об альтернативных удобрениях и особенностях прохождения питательных веществ через сельскохозяйственные экосистемы. Должны быть найдены эффективные биологические средства борьбы с вредителями, сорняками и болезнями. Это направление может быть основано на использовании полезных насекомых и микроорганизмов, аллелопатическом культурообороте (препятствующем росту сорняков), различных комбинациях культур в севооборотах, выращивании генетически устойчивых сортов культур. Следует больше внимания уделять изуче-

нию возможностей выращивания различных покровных культур, развитию новых способов обработки почвы и вопросам интеграции животноводства и растениеводства.

Американские фермеры возделывают в настоящее время лишь малую долю существующих в мире многих тысяч видов культур. Они могут увеличить свои доходы путем расширения посевов альтернативных культур, например тритикале, амаранта, женьшеня и люпина, которые успешно выращиваются в других странах. Кроме расширения ассортимента, необходимо постоянно заниматься сбором и накоплением так называемой гермоплазмы (семян, черенков и пыльцы) традиционных культур и их диких форм.

Богатые коллекции гермоплазмы дадут селекционерам широкую генетическую базу для выведения новых культур с высокой устойчивостью к вредителям, болезням и засухе. В настоящее время большое количество гермоплазмы, которую используют американские селекционеры, поступает из развивающихся стран.

В сбалансированные агросистемы могут быть включены новые виды культур, создаваемые с помощью биотехнологических методов, например зерновые, которые сами фиксируют азот. И все-таки ни биотехнология, ни любая другая отдельно взятая технология не могут заменить сбалансированного экологического подхода. Успехи сбалансированного сельского хозяйства не зиждятся на создании «суперкультур»: в этой системе используются растения, имеющиеся сейчас в наличии.

Совершенствование обучения кадров имеет такое же значение, как и проведение дальнейших научных исследований. Фермеры должны получить полное представление об особенностях сбалансированного сельского хозяйства и его выгоды. Министерство сельского хозяйства и Кооперативная служба пропаганды сельскохозяйственных знаний и внедрения достижений должны обеспечить фермеров современной, точной, актуальной, практической информацией, с учетом конкретных местных условий производства. Фермеры и общественность должны быть проинформированы о потенциальных неблагоприятных последствиях загрязнения окружающей среды и ухудшении здоровья людей в результате применения определенных агрохимических средств.

Одним из наиболее эффективных путей распространения практической информации о сбалансированном сельском хозяйстве является система фермерских ассоциаций, например та-

кая как «Практикал Фармерз оф Айова». Фермеры из шт. Айова по предложению своей ассоциации согласились принять участие в исследованиях и демонстрировать на своей земле методы ведения сбалансированного сельского хозяйства. Они регулярно встречаются для обмена информацией и сравнения полученных результатов. Так как интерес к этой системе растет и она доказала свою эффективность, фермерам следует способствовать ее развитию.

Некоторые ученые и специалисты в области охраны окружающей среды предлагают облагать налогами производителей удобрений и пестицидов с целью компенсации наносимого ими ущерба и направлять эти средства на финансирование исследований в области сбалансированного сельского хозяйства и поощрения фермеров, отказывающихся от использования химикатов. Такой подход характерен для системы финансирования Леопольдовского центра сбалансированного сельского хозяйства, который был основан в 1987 г. законодательными органами шт. Айова. Те же принципы заложены в «Закоме о защите подземных вод шт. Айова».

Сельское хозяйство является одним из основных элементов природных ресурсов, от которого зависит не только качество жизни человека, но и возможность его выживания. Если усилия по развитию сбалансированного сельского хозяйства увенчаются успехом, то от этого выиграют и фермеры, и общество в целом. И что более важно, США смогут сохранить свои природные ресурсы и значительно продвинуться по пути создания сбалансированного общества.

УВАЖАЕМЫЕ ПОДПИСЧИКИ!

По всем вопросам доставки журнала «В мире науки» просим обращаться в Центральное агентство зарубежных изданий «Союзпечать».
129110 ГСП Москва, Безбожный пер., д. 19, корп. 16
тел. 280-89-87, 280-90-88, 280-88-11.



Оливер Хевисайд

Выдающийся физик викторианской эпохи, замкнутый человек, выступавший с резкой критикой своих оппонентов на страницах печатных изданий, Хевисайд был одним из основоположников современной теории электричества

ПОЛ ДЖ. НАХИН

ОН РОДИЛСЯ в одной из лондонских трущоб, у него не было университетского образования, и, за исключением шести лет работы в телеграфной компании, он был безработным. Однако благодаря своему таланту и целеустремленности Оливер Хевисайд стал одним из ведущих физиков викторианской эпохи. Он развил теорию электромагнитного поля Джеймса Клерка Максвелла, открыл принцип передачи сигналов на дальние расстояния, что позволило осуществить дальнюю телефонную связь, высказал идеи, предвосхитившие телевидение, радиосвязь и некоторые аспекты теории относительности Эйнштейна.

Хотя среди ученых своего времени Хевисайд пользовался большим уважением, в настоящее время его имя почти забыто. Частично это объясняется тем, что предложенные им методы оказались столь эффективными, что авторы учебников стали широко использовать их для объяснения фундаментальных теорий, разработанных ранее другими исследователями. Например, многие полагают, что два столетия назад Ньютон уже пользовался векторами для описания сил; на самом же деле первым, кто применил векторы в физике, был Хевисайд.

Странно, что нынешний мир, в котором незаурядная личность не может остаться незамеченной, способен предать забвению имя англичанина, чья индивидуальность выделялась в эпоху, отмеченную такими именами, как генерал Чарлз Гордон, Флоренс Найтингейл, Льюис Кэрролл и Джек Потрошитель. Оливер Хевисайд был оригиналом из оригиналов, человеком, который своими успехами был обязан только самому себе и который жил в стране, своими достижениями также обязанной лишь самой себе.

Хевисайд мог быть одним из диккенсовских персонажей. Младший из четырех сыновей резчика по дереву, который едва мог содержать семью, он начал свою жизнь (в 1850 г.) неподалеку от фабрики, на которой когда-то работал Диккенс, будучи еще ребенком. В раннем детстве Хевисайд

переболел скарлатиной. Болезнь привела к резкому ухудшению слуха, из-за чего маленький Оливер был лишен общества других детей. Этот недуг впоследствии отразился на характере Хевисайда, который был известен своей неуживчивостью и саркастичностью, порой уводившей его слишком далеко в выступлениях против своих оппонентов на страницах печати. Спустя годы Хевисайд вспоминал о своей юности с большой горечью, говоря, что она «навсегда деформировала» его жизнь.

Тем не менее Хевисайд учился в школе очень хорошо. После ее окончания он был пятым из более чем 500 претендентов на сдачу экзамена в колледж в 1865 г. Самой плохой оценкой будущего корифея в области математической физики был 15%-ный бал по евклидовой геометрии — любопытное обстоятельство, явившееся одним из первых проявлений неприязни Хевисайда к «строгим доказательствам». «Самое худшее — это евклидова геометрия, — писал Хевисайд впоследствии. Поразительно, что молодые люди должны забивать себе голову всякими логическими вывертами и пытаться понять доказательство одного очевидного факта посредством другого, в равной степени... очевидного, ощущая в себе зарождающуюся неприязнь к математике, вместо того, чтобы изучать геометрию, один из наиболее важных и фундаментальных предметов».

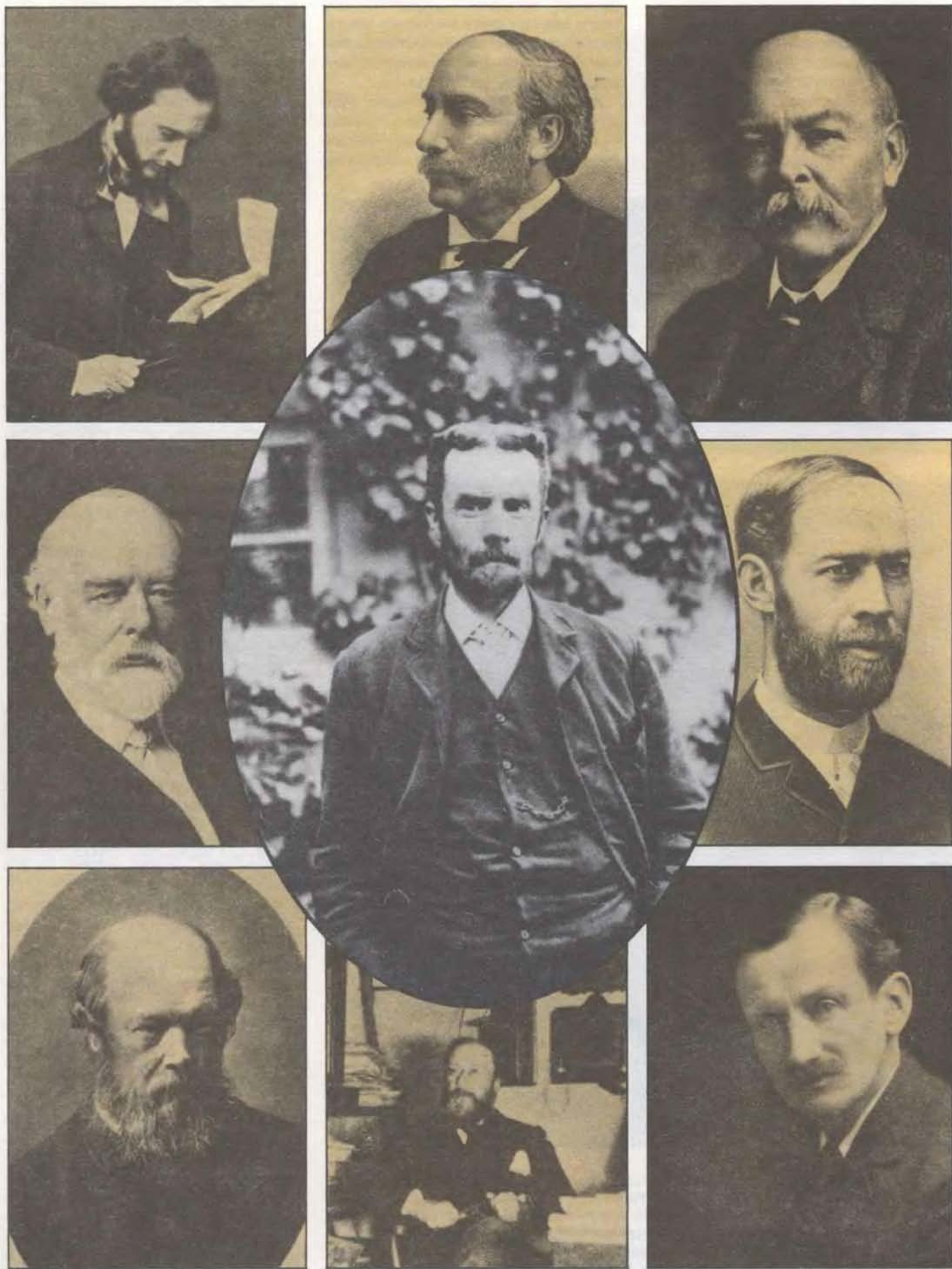
Молодой Хевисайд, не имея ни средств, ни желания получить дальнейшее академическое образование, в шестнадцатилетнем возрасте оставил стены учебного заведения, самостоятельно выучил азбуку Морзе и основы электричества и в возрасте 18 лет отправился в Данию, где устроился работать в телеграфной компании. Это была его единственная оплачиваемая работа.

ПОЛУЧИТЬ работу в телеграфной компании Хевисайду помог его дядя, Чарлз Уитстон, который был женат на сестре матери Оливера. Имя Уитстона, изобретателя, который к

кругу своих многочисленных друзей ученых причислял Уильяма Томсона (позднее лорда Кельвина) и Майкла Фарадея, вспоминается в связи с измерительным «мостом Уитстона», устройством для измерения электрического сопротивления (хотя в изобретении этого моста Уитстон не сыграл какой-либо роли). Такому человеку, как Уитстон, видимо, не составило большого труда подыскать своему племяннику работу. Оливер, по настоянию своего дяди, изучил также датский и немецкий языки в дополнение к тем языкам, которые он уже знал. Для него поступление на работу телеграфистом предполагало повторение пути, избранного его старшим братом Артуром, который был служащим частной телеграфной компании до 1870 г., когда все внутренние телеграфные службы попали под монопольный контроль Главного почтового управления Великобритании.

Хевисайд освоил специальность телеграфиста и наладчика телеграфных аппаратов и быстро продвигался по службе. В 1871 г. он вернулся в Англию и стал главным оператором в бюро телеграфной компании Great Northern Telegraph, которое находилось в городе Ньюкасл-апон-Тайн и ведало международным телеграфом. В то же время он усиленно занимался самообразованием, делая упор на математику. Первыми вехами на научном пути Хевисайда стали две его статьи по электричеству, опубликованные в 1872 и 1873 гг. В первой статье использовалась только алгебра, тогда как во второй, которую отменил Максвелл во втором издании своего «Трактата об электричестве и магнетизме», был применен математический анализ.

Возможно, что под впечатлением от замечательного трактата Максвелла Хевисайд в 1874 г. принял решение оставить телеграфную компанию, чтобы полностью посвятить себя научной работе. Это был весьма серьезный шаг для двадцатичетырехлетнего человека, не имевшего независимых средств к существованию. Хевисайд никогда не пытался пере-



ОЛИВЕР ХЕВИСАЙД (в центре) в «окружении» своих друзей и врагов. Фотографии друзей, ценивших блестящий ум Хевисайда (по часовой стрелке, начиная со среднего левого снимка): Оливер Джозеф Лодж, лорд Кельвин, лорд Рэ-

лей, Джон Генри Пойнтинг и Генрих Герц. В нижнем ряду помещены фотографии врагов Хевисайда, которых он нажил себе из-за резких высказываний в их адрес (слева направо): Питер Тейт, Уильям Прис, Уильям Бернсайд.

смотреть свое решение оставить работу в столь раннем возрасте, и это весьма тревожило его семью, хотя все в ней отнеслись с участием к его намерениям и старались не досаждать ему — даже поднос с едой оставляли у дверей его комнаты, ставни которой обычно были плотно закрыты. В этой комнате Хевисайд проводил за

работой все ночи и значительную часть дня при свете коптящих масляных ламп, от которых, по словам знакомого Хевисайдов, в комнате становилось «жарче, чем в аду».

Хевисайда (как и молодого Эйнштейна 25 лет спустя) математическая физика привлекла своей внутренней простотой и изяществом, характер-

ными даже для таких сложных построений, как уравнения Максвелла. Максвелл продемонстрировал единство электричества и магнетизма, придав математическую форму представлениям Фарадея о двух силах как о полях. Система уравнений Максвелла позволила объяснить многие известные явления и предсказать те, о которых даже не подозревали. Наиболее же важным был вывод Максвелла о том, что колеблющееся электрическое поле должно порождать в пространстве магнитное поле, колеблющееся с той же частотой, которое в свою очередь должно порождать электрическое поле и т.д. Эта электромагнитная волна должна распространяться со скоростью света, также являющегося электромагнитным излучением.

Максвелл умер в 1879 г. в возрасте 48 лет, за девять лет до того как гениальный немецкий ученый Генрих Герц экспериментально доказал существование электромагнитных волн в пространстве. Почти сразу после этого Оливер Дж. Лодж — один из тех, кто впоследствии окажет Хевисайду наиболее горячую поддержку — обнаружил электромагнитные волны в металлическом проводнике. Лишь после этого теория Максвелла стала общепринятой.

Хевисайду не нужны были подтверждения электромагнитной теории Максвелла, поскольку он считал ее «очевидной истиной» уже в силу ее одной математической структуры. Создать такое, по словам Хевисайда, мог только «божественный гений». О том, сколь большое впечатление на Хевисайда произвела работа Максвелла «Трактат об электричестве и магнетизме», можно судить по его письму, написанному в 1918 г.: «Я увидел, что она [теория] обладает великой, величайшей и удивительной по своим возможностям силой. Я был полон решимости овладеть ею и принялся за работу... Мне потребовалось несколько лет, прежде чем я постиг то, что мог. Затем я отложил труд Максвелла в сторону и пошел своим путем. И продвигался уже гораздо быстрее».

ХЕВИСАЙД значительно упростил 20 уравнений Максвелла с 20 переменными, сведя их к двум уравнениям с двумя переменными, которые описывали векторы электрического и магнитного поля. Большая часть теоретической работы была проведена одновременно с Герцем, который в своей книге по электрическим волнам любезно заметил, что «Г-ну Хевисайду принадлежит приоритет». Джордж Фрэнсис Фицджеральд из Тринити-колледж в Дублине писал,



ИЗЛУЧЕНИЕ, распространяющееся со «сверхсветовой» скоростью, было предсказано Хевисайдом за несколько десятилетий до того, как его впервые наблюдали в виде голубого свечения в воде, окружающей такие источники высокоэнергетических электронов, как исследовательский реактор Triga Mark II (изображен на фотографии) Корнеллского университета. Это так называемое Черенковское излучение возникает, когда скорость заряженной частицы превышает скорость света в плотной среде. Излучение порождает коническую ударную волну (рисунок вверху). В уравнении (слева) ϕ , угол полураствора конуса, выражен через c , скорость света в вакууме, n , показатель преломления среды и v , скорость частицы. Когда v приближается к c , угол раствора максимальный (около 41° в воде). По мере замедления частицы, конус исчезает.

что «Трактат Максвелла загроможден остатками блестяще выбранных им рубежей атаки, окапавшихся лагерей и следами боев. Оливер Хевисайд очистил его от всего этого, выбрал прямой маршрут, проложил широкую дорогу, а также обследовал значительную часть сельской местности».

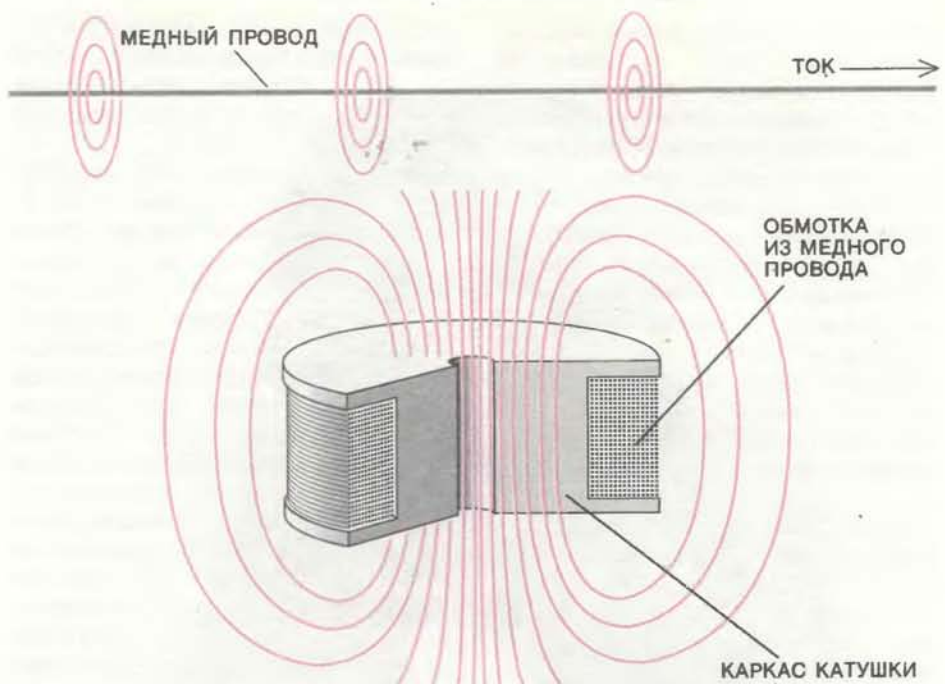
Эти слова были прекрасной похвалой со стороны человека, позже получившего известность за высказанное им предположение (независимо от Лоренца) о сокращении продольных размеров тел в направлении их движения (см. статью Эдмунда Уайтакера «Дж. Ф. Фицджеральд», Scientific American, November, 1953).

В течение ряда лет уравнения электродинамики в новой форме назывались уравнениями Герца-Хевисайда, позже молодой Эйнштейн называл их уравнениями Максвелла-Герца. Сегодня же эти уравнения носят имя только Максвелла.

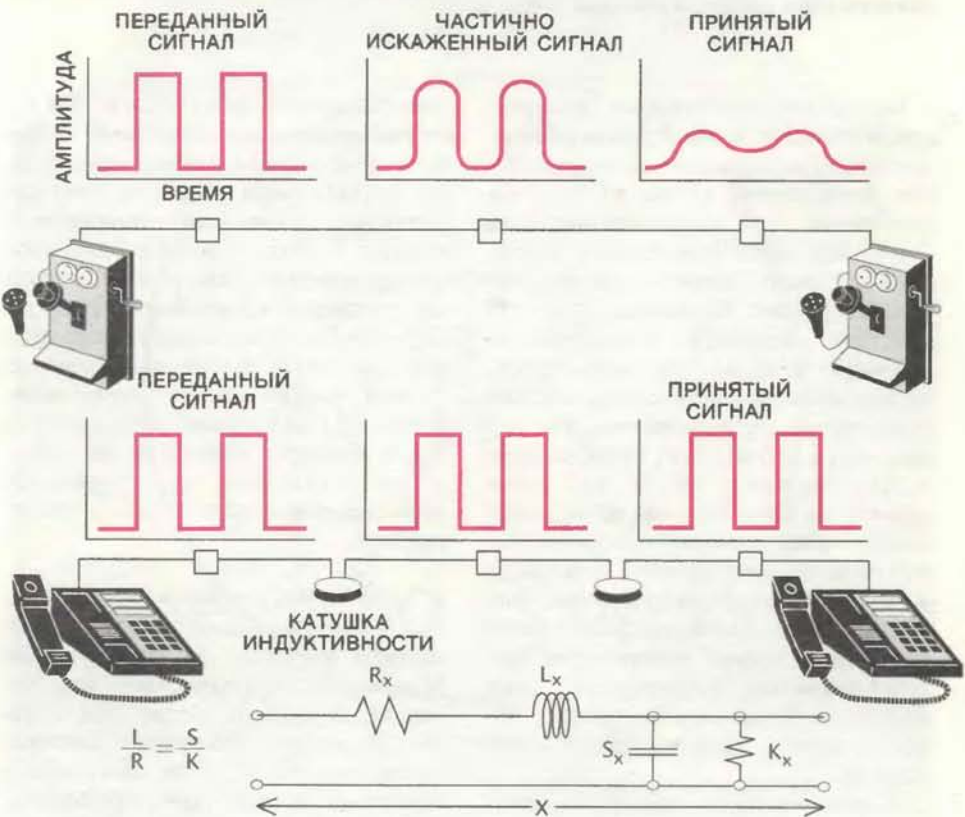
Методы Хевисайда были столь же важны, как и его результаты. Вместе с Джозая Уиллардом Гиббсом из Йельского университета Хевисайд научил физиков мира, как оперировать векторами. Векторы позволяют описывать силы, характеризующиеся численным значением и направлением. Если один вектор представляет силу в данной точке, то система векторов — силовое поле. Над векторами могут выполняться арифметические действия, а также дифференциальные операции; путем дифференцирования системы векторов, описывающей, например, магнитное поле, находится вектор электрического потока в любой данной точке.

Однако операции над векторами не всегда просты. Например, векторное произведение не является коммутативным, т. е. произведение векторов a и b не равно произведению векторов b и a . Но все же векторы не столь сложны, как кватернионы, от которых они произошли.

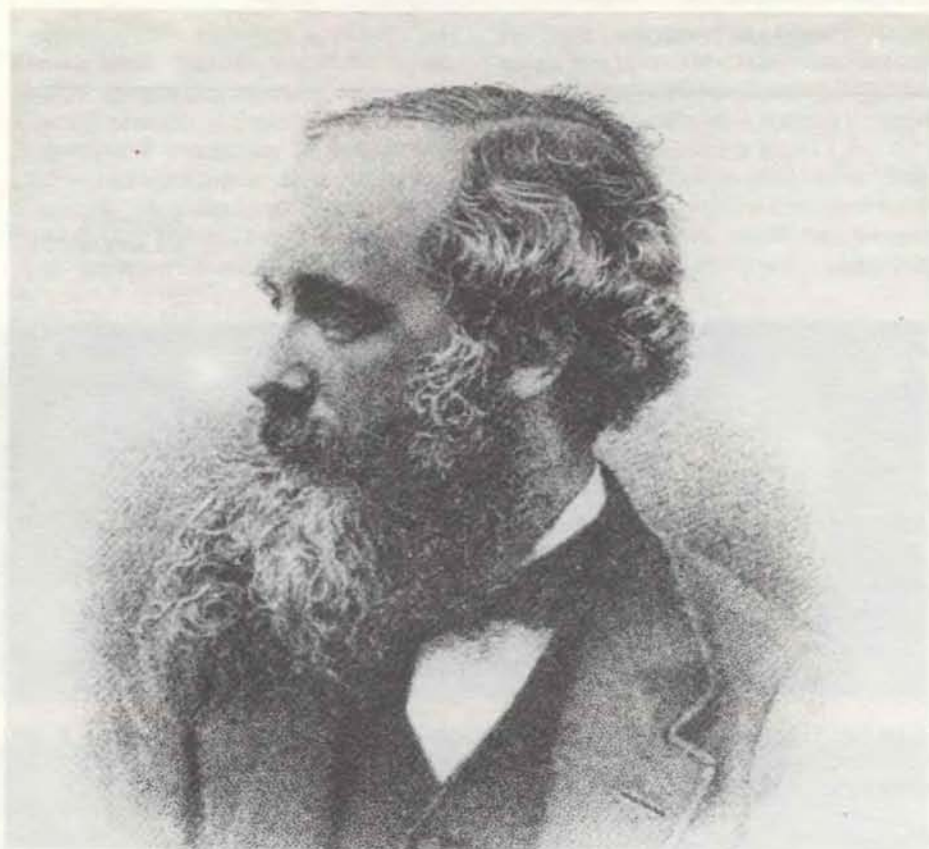
Кватернионы, у которых к трем пространственным координатам добавлена скалярная переменная, были предложены в 1843 г. ирландским математиком Уильямом Роуаном Гамильтоном. Эту систему чисел, конкурировавших в то время с векторами, отстаивал шотландский физик Питер Г. Тейт, друг Максвелла и Кельвина. Ни Максвелл, ни Кельвин не питали большой симпатии к кватернионам, но оба они не заостряли внимания на этом предмете, ограничиваясь лишь высказываниями против них. Тейт, однако, яростно сражался за «старую математику», полемизируя с Хевисайдом и Гиббсом в своих письмах, которые он отсылал редактору журнала Nature.



ИНЖЕНЕРЫ поначалу изыскивали способы уменьшить индуктивность в кабельных линиях дальней связи, поскольку она вызывает задержку сигнала. Задержка обусловлена тем, что магнитное поле, возникающее при прохождении по проводнику тока (вверху), в течение короткого времени накапливает энергию сигнала, а затем отдает ее. Хевисайд показал, что с помощью дополнительной индуктивности можно избежать искажения сигнала — проблемы более важной, чем задержка сигнала. Первые «нагрузочные катушки» индуктивности сконструировал Джордж А. Кемпбелл из американской фирмы «Белл». Каждая из трехсот опытных катушек Кемпбелла увеличивала в 35-мильном отрезке кабельной телефонной линии индуктивность на 0,11 Гн и сопротивление на 12 Ом.



ИСКАЖЕНИЕ сигнала в телефонной линии возникает вследствие того, что его высокочастотные составляющие опережают низкочастотные, в результате чего сигнал теряет свою первоначальную форму (вверху). В телефонных линиях, свободных от искажений, используются дополнительные катушки, увеличивающие индуктивность данного отрезка линии настолько, чтобы выполнялось приведенное здесь соотношение (слева внизу), где L — индуктивность, R — линейное сопротивление, S — емкость и K — проводимость изоляции.



ДЖЕЙМС КЛЕРК МАКСВЕЛЛ (1831—1879) — основоположник электромагнитной теории, которую он изложил в своем «Трактате об электричестве и магнетизме». Этот труд, по словам Хевисайда, был написан «божественным гением». В 24-летнем возрасте Хевисайд оставил свою работу с тем, чтобы полностью посвятить себя развитию теории Максвелла.

Метод математического анализа, предложенный Хевисайдом (в настоящее время он известен как операционное исчисление), также не получила одобрения со стороны журнала *Proceedings of the Royal Society*, рецензент которого Уильям Бернсайд, отклонил работу Хевисайда из-за отсутствия строгости доказательств. Хевисайд признал этот недостаток, но с позиции человека, презирующего «логическое разжевывание». Он писал: «Ну и что из того? Разве должен я отказываться от обеда лишь потому, что не понимаю, как происходит процесс пищеварения?» Любопытно, что человек, сообщивший Хевисайду о том, что его работа отклонена, был Джон Уильям Рэлей, профессор физики в Кавендшской лаборатории при Кембриджском университете, один из самых больших сторонников нового метода, предложенного Хевисайдом.

В конечном счете векторы одержали победу и нашли столь широкое применение в физике и математике, что имена тех, кто их придумал, быстро стерлись из памяти. В учебниках теория Максвелла излагалась теперь в векторной форме, в которой она выглядела намного проще.

Следующее важное применение те-

ории Максвелла относится к 1884 г., когда Хевисайд и Джон Генри Пойнтинг на ее основе (и независимо друг от друга) ввели понятие вектора плотности потока электромагнитной энергии. Пойнтинг первый опубликовал свои результаты, и этот вектор заслуженно носит его имя. К тому же фамилия Пойнтинга (которая на английском языке звучит одинаково со словом «pointing» — «указывающий». — *Ред.*) весьма «подходит» к этому вектору, поскольку он действительно указывает направление потока энергии в данной точке пространства.

ОПИРАЯСЬ на теорию Максвелла, Хевисайд пришел к столь далеко идущим выводам, о которых сам Максвелл мог бы только мечтать. Хевисайд, например, попытался ответить на вопрос, что будет с заряженными частицами, если они начнут двигаться со скоростью, превышающей скорость света. Его записные книжки были испещрены расчетами поведения таких «сверхсветовых» частиц. Примером «сверхсветового эффекта», который возникает в плотной среде, такой как вода, является мягкое голубое свечение из бассейновых ядерных реакторов. Свечение

возникает вследствие того, что электроны, вылетевшие из реактора, движутся со сверхсветовой скоростью (см. рисунок на с. 70), порождая электромагнитную ударную волну (как и самолет порождает ударную звуковую волну, когда его скорость превысит скорость звука). Это излучение известно как черенковское излучение и названо так по имени русского физика П. А. Черенкова. За его открытие ему, совместно с двумя другими советскими учеными (И. Е. Таммом и И. М. Франком. — *Ред.*) была присуждена Нобелевская премия в 1958 г. — 50 лет после того, как это излучение предсказал Хевисайд.

Любопытно, что хотя современная теория «запрещает» частице двигаться со сверхсветовой скоростью в вакууме, она допускает возможность такого движения. Некоторые теоретики используют понятие «тахин» — гипотетической частицы, для которой скорость света в вакууме является предельно минимальной. Энергия тахионов, если они существуют, приближается к нулю при бесконечно больших скоростях и становится бесконечно большой при скорости света. В соответствии с теорией относительности они должны двигаться обратно во времени, т. е. следствия в таком случае будут предшествовать своим причинам, вопреки принципу причинности, который, однако, не является законом физики. Хевисайду ничего не было известно об этих антивременных эффектах, однако если тахионы действительно существуют, они в принципе могут быть обнаружены по «излучению Хевисайда», которое должны испускать.

Блестящие успехи Хевисайда в развитии теории Максвелла не остались незамеченными. Хотя большинство своих работ он публиковал в журнале *Electrician* («Электрик»), рассчитанном на инженеров-электриков, этот журнал читали и многие известные ученые. Даже великий Максвелл когда-то опубликовал в нем свою заметку. Поэтому научная элита была вполне осведомлена о том, что представлял собой Хевисайд как ученый.

В 1889 г. Томсон в своем обращении при вступлении в должность президента Института инженеров-электриков назвал Хевисайда «авторитетом». Позже в том же году Лодж, представляя Хевисайда читателям журнала *Nature*, сказал о нем, что этот ученый в своих «выдающихся исследованиях электромагнитных волн продвинулся вперед дальше, чем это доступно пониманию в настоящее время».

Спустя два года Хевисайд был избран членом Лондонского королевского общества, причем его кандида-

туру поддержали такие знаменитости как Томсон, Лодж, Фицджеральд и Пойнтинг. Звание члена Лондонского королевского общества, очень престижное и сегодня, в те времена, когда еще не были учреждены различные премии ученым, считалось еще более почетным. Таким образом, за 17 лет Хевисайд из безвестного безработного телеграфиста превратился в мировую известность.

Все это выглядело как в голливудском фильме. Однако сам Хевисайд воспринял свое избрание членом Лондонского королевского общества со смешанным чувством: с одной стороны, он был счастлив, что его труды нашли признание, а с другой — понимал, что те руки, которые аплодировали ему теперь могут потом его же и «отшлепать». Такое его отношение объяснимо в свете тех событий, которые произошли за прошедшее десятилетие, когда Хевисайд был участником множества ожесточенных споров, в которых далеко не всегда было ясно, кто выйдет победителем.

Упомянутая речь Томсона имела особое значение для слушателей, которые следили за спором между Хевисайдом и самым ярким из его многих противников Уильямом Г. Присом, техническим экспертом Главного почтового управления Великобритании. Называвший себя «практичным человеком», пренебрежительно относившийся к теоретикам и не дававший ходу идеям математиков, Прис имел «твердые» представления о том, какими должны быть кабельные линии связи. Хевисайд опубликовал свои не менее «твердые», но совершенно противоположные представления, после чего они обменялись через печать язвительными замечаниями. Спор между ними все более разгорался и вскоре привлек к себе пристальное внимание.

Любопытно, что даже в 80-х годах прошлого столетия мог возникнуть горячий спор, затрагивающий фундаментальные основы теории электричества. К тому времени средства дальней связи достигли такого уровня, который впечатляет даже сейчас. Не только между городами, но и континентами сообщения передавались по массивным кабелям, для «питания» которых использовались механизмы-гиганты. Разработка систем и оборудования для линий дальней связи велась хотя и быстрыми темпами, но почти не опираясь на теорию. Единственным математическим обоснованием был анализ потока электроэнергии очень низкой частоты в длинных проводниках, выполненный Томсоном еще 30 лет до этого. Эта теория хорошо работала в том случае, когда скорость передачи информации составляла всего не-

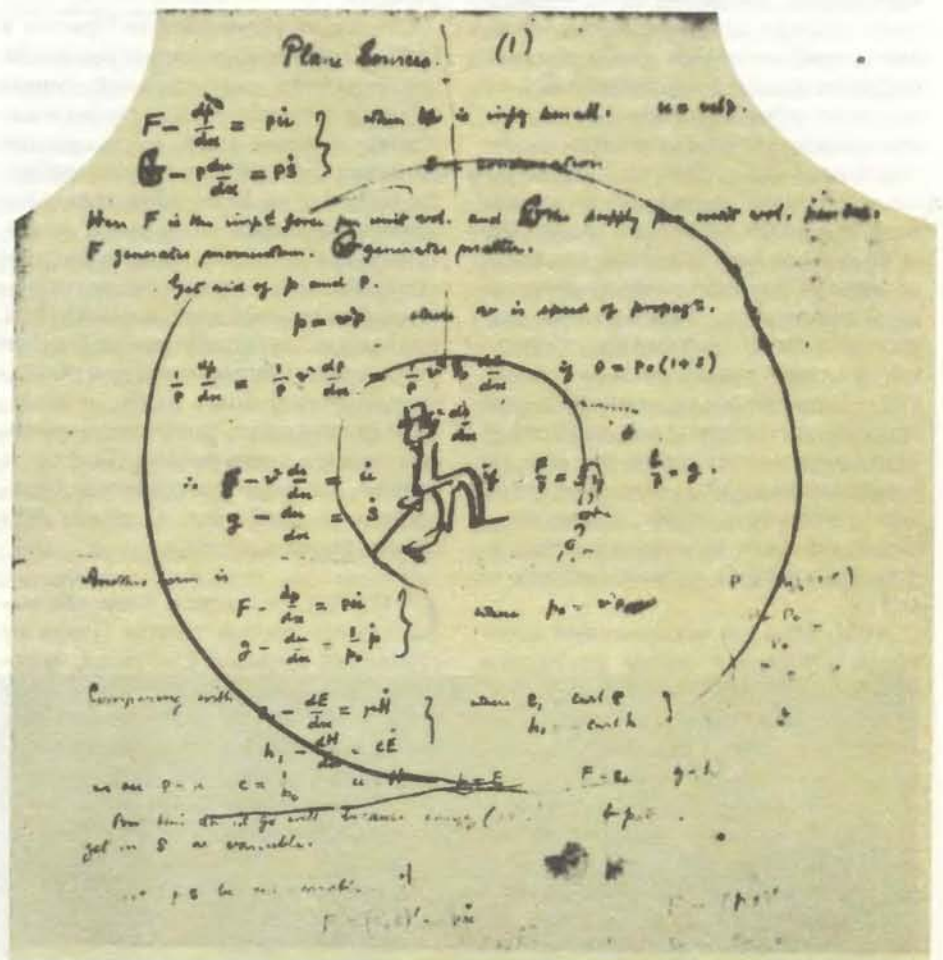
сколько слов в минуту, но была совершенно непригодной для гораздо более высоких скоростей, необходимых для передачи речи по телефону.

ПРОБЛЕМА, требовавшая скорейшего решения, состояла в следующем: как предохранить высокочастотный сигнал от искажения при его передаче по кабельной линии связи. Некоторые искажения неизбежны, например те, которые обусловлены электрическим сопротивлением, из-за которого часть энергии сигнала превращается в бесполезное тепло. Искажение может быть также обусловлено индуктивностью и емкостью цепи, приводящими к тому, что энергия сигнала кратковременно передается магнитному или электрическому полю соответственно. Искра, возникающая, когда вилку шнура электронагревательного прибора вынимают из розетки, обусловлена индуктивностью цепи — это энергия, накопленная в магнитном поле, существовавшем в цепи, когда по ней протекал электрический ток. Конденсатор же накапливает энергию в электрическом поле,

которое может сохраняться некоторое время даже после того, как он отключен от зарядившего его источника. Вот почему так опасно, например, открывать только что отключенный от сети телевизор, в котором имеются высоковольтные конденсаторы.

Томсону было известно, что явления накопления энергии в трансатлантических кабелях, проложенных в середине прошлого столетия, в основном обусловлены емкостными эффектами. Он также знал, что при тогдашних очень низких скоростях передачи сигналов можно было пренебречь индукционными эффектами и проводимостью изоляции.

Теория Томсона, хотя и несовершенная, постепенно превратилась в догму для тех, кто не знал, с какими упрощениями она была построена. Эти упрощения, допустимые на начальных этапах развития телеграфии, оказались неприемлемыми для более «быстрых» линий, созданных для многократного телеграфирования (когда по одному проводу можно передавать несколько сообщений одновременно) и телефонной связи.



БОЛЕЕ «ЛЕГКАЯ» СТОРОНА личности Хевисайда (на английском «Хевисайд» буквально означает «тяжелая сторона». — Ред.) проявляется в этом рисунке, которым он сопроводил свои математические выкладки. Известны и другие, детально выполненные рисунки Хевисайда, показывающие, что он имел задатки художника, унаследованные им от отца, резчика по дереву.

Индукционные эффекты приводили к нарушению связи в таких линиях.

Одна из основных проблем заключалась в задержке передаваемого сигнала вследствие кратковременного накопления его энергии в магнитном поле линии. Время, за которое магнитное поле берет и отдает энергию, ограничивает максимальную скорость передачи сигналов. При этом происходит также потеря энергии, т. е. ослабление сигнала — единственная причина, заставлявшая Приса и других хоть как-то учитывать влияние индукции.

Вторая проблема была еще более серьезной и заключалась в частотном искажении сигнала. Известно, что сигнал можно представить в виде суммы простых синусоидальных колебаний определенной частоты и амплитуды (см. статью Рональда Н. Брейсуэлла «Преобразование Фурье», В мире науки, 1989, № 8). Высокочастотные составляющие сигнала распространяются в линии передачи более быстро, чем низкочастотные и теряют больше энергии.

В телеграфии эта проблема обычно решается путем фильтрации высокочастотных составляющих, однако этот метод не пригоден для телефонных линий связи. При самой высокой скорости передачи телеграфного сообщения азбукой Морзе сигналы не имеют важных составляющих частотой более 100 Гц. Для передачи же речи необходим диапазон в тысячи герц. В первых телефонах Белла речь можно было разобрать при удалении абонентов самое большее на несколько десятков миль. При больших расстояниях сигнал искажался настолько, что связь становилась невозможной. Первоначально неискаженный импульс, например такой, чей график изменения амплитуды во времени напоминает буква М, вскоре превращался в нечто «размытое», напоминающее поперечное сечение «лысой» автопокрышки (см. нижний рисунок на с. 71).

Атмосфера, за исключением ионосферы (Хевисайд одним из первых указал на ее существование), рассеивает радиоволны слабо, металлический проводник — значительно, вода же — очень сильно. Этим объясняется, почему радиосвязь между континентами появилась намного раньше кабельной телефонной связи, а также то, почему вплоть до настоящего времени ВМС США вынуждены связываться со своими подводными лодками, находящимися в погруженном положении, с помощью системы передачи на очень низких частотах, используя подземные антенны площадью в сотни квадратных миль.

Прис не понимал этих явлений. Он попросту полагал, что магнитная индукция — это «нечто нехорошее», от чего можно и нужно освободиться путем использования линий связи, отвечающих особым требованиям, как будто можно «отменить» одно из основных свойств электричества. Что еще хуже, он даже не понимал, почему Хевисайд хочет увеличить дальность телефонной связи. «В моем офисе есть один телефонный аппарат, — заявил Прис однажды, — но он больше для бутафории, поскольку я им не пользуюсь, да и не хочу пользоваться. Если мне нужно что-то сообщить в другую комнату, то я могу сделать это... через посыльного».

Прис предложил свой вариант цепей, свободных от искажений, исходя из «закона квадратов» Томсона, согласно которому сигнал, поданный на вход цепи, будет иметь максимальную силу на выходе, если его задержка пропорциональна квадрату длины кабеля. Однако этот закон применим лишь в том случае, если длина кабеля настолько велика, что накоплением энергии в магнитном поле можно пренебречь — факт, который Прис игнорировал.

Статья, опубликованная Присом в 1887 г., в которой он вывел уравнение для подсчета максимальной длины кабеля для телефонной связи без искажений, можно сказать, задержала развитие дальней связи в Великобритании почти на 20 лет. Его уравнение связывало полное и удельное сопротивление и емкость, полную длину и произвольные параметры материалов цепи и ее конфигурацию. Хотя Прис постоянно манипулировал введенными им параметрами, ему так и не удалось добиться того, чтобы с помощью их учитывать все: одна телефонная линия, соединившая Бостон и Чикаго, которую его уравнение определено «запрещало», на самом деле работала очень хорошо.

СПУСТЯ три месяца, Хевисайд выступил против теории Приса на страницах журнала *Electrician*, впервые указав там же, каким условиям должна отвечать кабельная линия связи, в которой потери энергии минимальны: отношение индуктивности к активному сопротивлению линии должно быть равно отношению ее емкости к проводимости изоляции (см. нижний рисунок на с. 71). И что характерно для Хевисайда, его математические расчеты чередовались с язвительными замечаниями в адрес Приса, которого он называл не иначе как «лжеученый». Но, вероятно, наибольшее негодование у Приса вызвала идея Хевисайда о возможности

избавиться от искажений сигнала в кабельной линии не путем уменьшения, а наоборот, за счет увеличения ее индуктивности.

Хевисайд придумал устройство, представляющее собой катушку из медного провода, чья индуктивность значительно превышает индуктивность данного отрезка кабельной линии, причем эта катушка лишь незначительно увеличивает сопротивление этого отрезка. Хевисайд высказал соображения своему брату Артуру, что Главное почтовое управление Великобритании могло бы изготовить и использовать такие «нагрузочные катушки», но оставил эту затею, узнав, что Прис обладал «правом вето» на все предложения в Управлении. В данном случае он не преминул бы воспользоваться им. Патент на такую катушку получил спустя примерно 10 лет Майкл И. Пупин, профессор Колумбийского университета. Впервые она была изготовлена для практических применений Джорджем А. Кемпбеллом, сотрудником американской фирмы «Белл», в самом конце прошлого столетия. Хевисайд при этом не получил ни признания, ни вознаграждения.

А в деньгах он весьма нуждался — его отец умер, а гонорар за капитальный труд «Электромагнитная теория» оказался совсем небольшим. Подспорьем была государственная пенсия, назначенная Хевисайду в 1896 г. по ходатайству Фицджеральда и других известных ученых.

В следующем «публичном споре» Хевисайд не проявлял озлобления возможно потому, что оппонентом был его друг Томсон, ставший к тому времени лордом Кельвином. Спор возник относительно возраста Земли по предсказаниям моделей, предложенных для оценки времени, в течение которого Земля должна израсходовать свое тепло. В то время никому не было известно о радиоактивном распаде в земной коре, который служил активным источником тепла (см. статью Лоуренса Балаша «Долгие дебаты о возрасте Земли», В мире науки, 1989, № 8). Предполагая, что тепло в недрах Земли распространяется в направлении ее поверхности через все геологические слои с одинаковой скоростью, Кельвин оценил максимальный возраст нашей планеты в 98 млн. лет, что было значительно короче того периода, который по теории Дарвина необходим для возникновения сложных организмов. Хевисайд предположил, что распространение тепла внутри Земли и через кору происходит с разными скоростями, и пришел к выводу, что возраст Земли составляет не

менее 300 млн. лет. Это была его «лебединая песня»: вскоре имя Хевисайда исчезло из рубрики писем в редакцию, а в 1908 г. он переехал в город Торки, что на южном побережье Англии.

Звание члена Лондонского королевского общества и другие заслуги Хевисайда ровным счетом ничего не значили для его соседей, среди которых этот человек сделался посмешищем. С возрастом и вследствие уединенного образа жизни у Хевисайда крепло чувство, что он гоним обществом. Писатель Беверли Николс, выросший в доме по соседству с домом Хевисайда, вспоминал о нем как о чуде и отшельнике, который подписывал свои письма странными буквами W.O.R.M. Сами по себе эти буквы ничего не означали, если не считать, что из них складывалось слово (в английском «worm» означает «червь». — *Ред.*), отвечавшее, как полагал Хевисайд, тому представлению, которое имели о нем люди.

Хевисайд, как писал Николс, однажды заменил свою мебель гранитными глыбами, «которые возвышались в пустых комнатах и делали их похожими на жилище какого-то неолитического гиганта». Он расхаживал по этим фантастическим комнатам, все более угрюмый и неряшливый. Правда было одно исключение: его ногти были всегда ухожены и покрыты ярко-красным лаком.

Умер Хевисайд в феврале 1925 г., вероятно, вследствие ушибов, которые он получил, упав с лестницы за несколько месяцев до своей кончины. Его похоронили в родительской могиле, и сейчас имя Хевисайда можно прочесть на могильной плите лишь срезав выросшую там траву. В следующий раз, когда вы будете звонить по междугородному телефону и услышите на другом конце четкий и громкий голос, вспомните на секунду имя этого талантливого, хотя и небезупречного человека, подарившего вам эту возможность.

ся вблизи кончика. Электрический заряд на конце «пера» притягивает к себе атомы с поверхности как благодаря действию электростатических сил, так и вследствие вандерваальсова взаимодействия, заставляющего ядро атома притягиваться к электронам других атомов. Этот эффект и использовали специалисты из IBM.

Эйглер и Швейцер начали с того, что напылили атомы ксенона на поверхность никеля, очищенную и охлажденную до 4К. (При низкой температуре движение атомов замедляется и соответственно повышается устойчивость атомарной структуры поверхности.) Вначале, подав низкое напряжение на иглу, ученые сделали снимок поверхности образца. Затем они начали увеличивать напряжение; в результате притяжение между иглой и атомами ксенона начало возрастать, а расстояние между ними уменьшаться.

Таким способом исследователи смогли «зацепить» отдельные атомы и заставить их двигаться по поверхности никеля. Когда атомы оказывались в нужном положении, Эйглер и Швейцер вновь уменьшали напряжение до величины, используемой в обычном режиме. Атомы ксенона оставались на местах благодаря наличию слабой связи между ними и атомами никеля на поверхности.

Возможность точного размещения в заданных местах отдельных атомов открывает интересные перспективы. Так, можно «на заказ» собирать молекулы из атомов и изменять их структуру. Более солидные планы заключаются в том, чтобы создать хранилище информации на атомном уровне (хотя, возможно, не в виде слов) и сверхминиатюрные электрические логические цепи. Эйглер и Швейцер признают, что не могут пока ничего сказать о достижимости этих целей. Однако исследователи высказывают надежду, что РТМ позволит достичь «предела миниатюризации».

Наука и общество

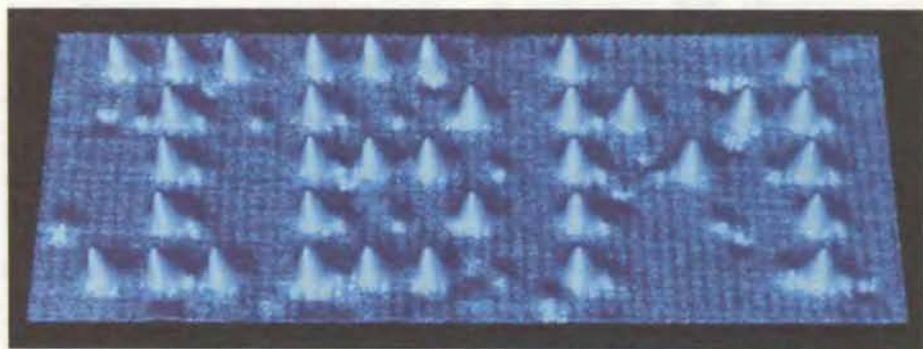
Атомы вместо чернил

ЭТО РЕДКОЕ достижение сочетает в себе рекламу с наукой. Д. Эйглер и Э. Швейцер из Алмаденского исследовательского центра корпорации IBM «выписали» трехбуквенное название своей фирмы с помощью 35 атомов инертного газа ксенона, точно размещенных на поверхности сверхохлажденного кристалла никеля. В поперечнике вся надпись из атомов занимает всего одну шестнадцатимиллиардную долю метра. Сообщение об этом шедевре атомной каллиграфии появилось 5 апреля в журнале «Nature».

Эйглер и Швейцер выполнили эту тончайшую работу с помощью растрового туннельного микроскопа (РТМ), разработанного в начале 80-х годов и предназначенного для визуального наблюдения атомов и молекул, но вовсе не для их расстановки. Принцип действия РТМ основан на туннельном токе, возникающем в промежутке между поверхностью исследуемого образца и движущейся над ней сверхтонкой вольфрамовой иглой. К игле прикладывается низкое напряжение, благодаря чему между ее кончиком и атомами на поверхности возникает разность потенциалов, обуславливающая квантовые флуктуации электронов и их туннелирование через промежуток. Отсюда название микроскопа.

Ток, текущий между поверхностью и кончиком иглы, зависит от расстояния между ними. При движении иглы над поверхностью механизм обратной связи управляет положением иглы и поддерживает постоянную величину напряжения; колебания иглы регистрируются, и по ним воспроизводится контур поверхности образца.

Таков нормальный режим работы РТМ. Вместе с тем РТМ можно использовать не только как инструмент для наблюдения. Обычно напряжение на кончике иглы поддерживается очень низким, чтобы не вносить возмущений в структуру поверхности образца. Однако, если это напряжение сделать больше, то можно управлять атомами и молекулами, находящими-



НАЗВАНИЕ КОРПОРАЦИИ, где работают создатели нового метода, набрано из атомов ксенона.

О солнечных пятнах и о том, как их наблюдать



ФОРРЕСТ М. МИМЗ

СТОЧКИ зрения большинства людей, Солнце светит всегда одинаково — ровным ярким белым светом, который краснеет или желтеет только тогда, когда рассеивается или поглощается частицами и парами в земной атмосфере. Однако более внимательный взгляд обнаруживает, что по сравнению с Землей Солнце куда более динамично. На его поверхности периодически возникают мощные бури, которые с легкостью могли бы поглотить несколько таких планет как наша.

Области повышенной активности на поверхности Солнца несколько холоднее, чем окружающие их участки, поэтому на фоне более горячего, а стало быть, и более яркого солнечного диска они кажутся темными. Такие темные области называются солнечными пятнами. Сейчас — прекрасное время для их наблюдения: всего несколько месяцев отделяют нас от пика солнечной активности в текущем периоде — одном из наиболее бурных

среди наблюдавшихся учеными (см. рисунок на следующей странице).

Некоторые пятна настолько велики, что их можно увидеть без увеличительных приборов. В самом деле, за 1700 лет до изобретения телескопа китайские астрономы наблюдали солнечные пятна, не прибегая ни к каким инструментам. Но я, например, давно зная о таких древних наблюдениях, до марта 1989 г. никогда не разглядывал солнечные пятна без специального телескопа. И вот однажды два человека сообщили мне в один день, что по дороге на работу видели большое пятно на Солнце. Солнце стояло низко над горизонтом, и его можно было безбоязненно рассматривать сквозь дымку.

К тому времени, когда я получил эти сообщения, дымка рассеялась. Поэтому я отправился в ближайший магазин, где продавались приспособления для сварки, и купил там светофильтр, применяемый в маске сварщика. А спустя несколько минут мы с

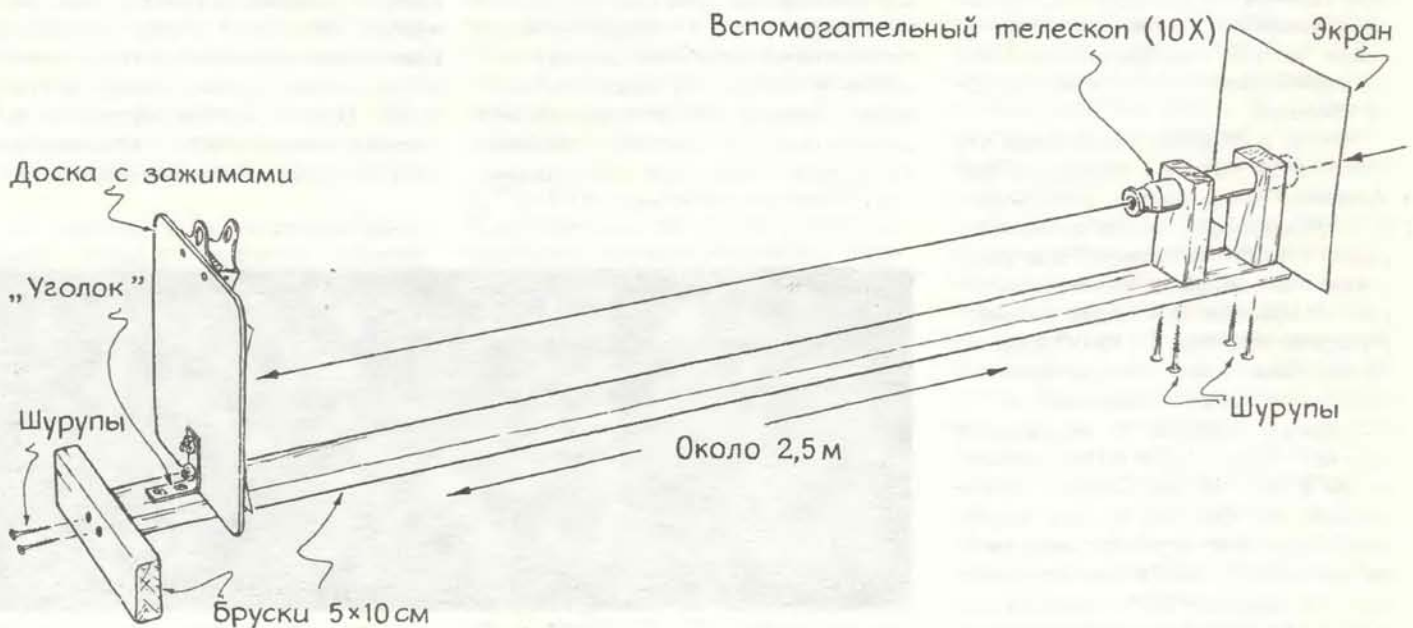
продавцами магазина уже рассматривали через эти фильтры солнечные пятна.

Кто интересуется астрономией, помнит эту необычную группу примерно из 50 пятен под названием «область 5395». Широкая же публика «узнала» об области 5395 косвенным образом: это скопление пятен создало излучение, вызвавшее поразительную «иллюминацию» в ночном небе в большей части Северного полушария. Иллюминация, известная под названием северного сияния, была видна на оконечности полуострова Флорида, в южной части Мексики и даже на островах Кайман южнее Кубы (20° с.ш.).

Когда одни любуются северным сиянием, заметным так далеко на юге, другие недовольно ворчат. Причина проста: возрастающая активность Солнца, приводящая к возникновению сияния, вызывает отрицательные эффекты — как на поверхности Земли, так и вблизи нее. Изменяются орбиты спутников, особенно низковысотных; прерывается радиосвязь; в электросети возникают колебания напряжения, и может даже отключиться свет.

Область 5395 породила чрезвычайно много таких неполадок, которые были суммированы Джо Алленом из Мирового центра данных А по физике солнечно-земных связей в Боулдере, шт. Колорадо. Скачки напряжения были отмечены в штатах Нью-Мексико и Нью-Йорк. В канадской провинции Квебек 13 марта шесть миллионов жителей провели без света девять или больше часов. Потери составили 187 млн. кВт-час.

Область 5395 ответственна и за на-



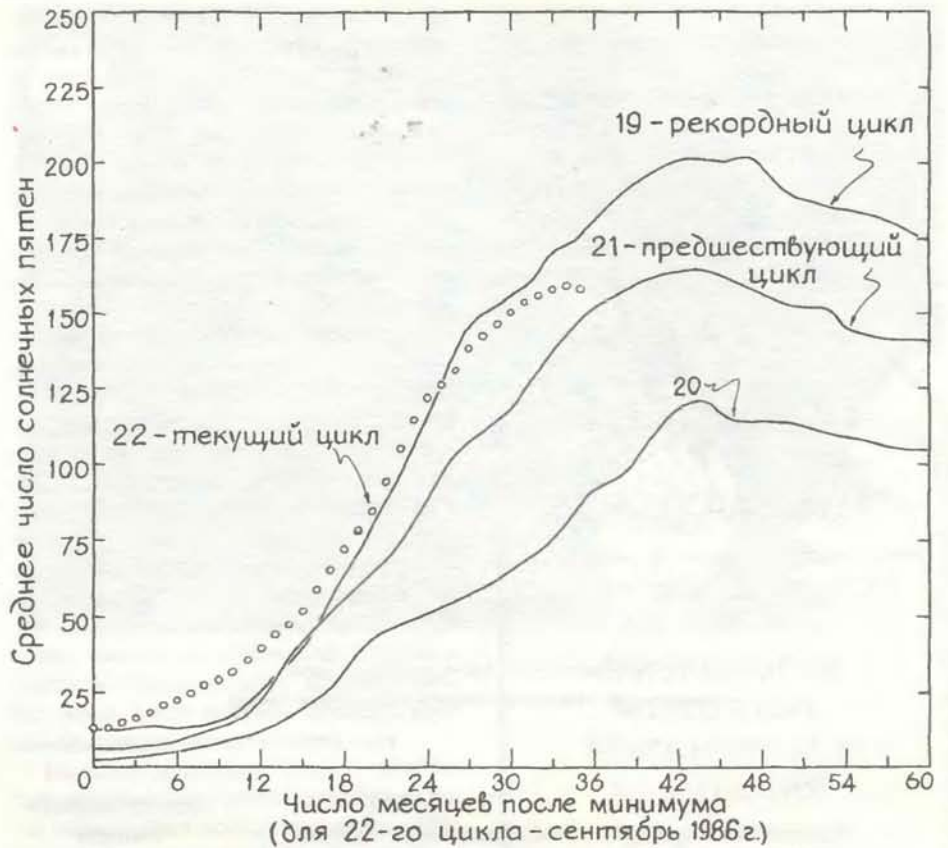
Домашняя солнечная обсерватория

рушения радиосвязи. Обычно верхние слои земной атмосферы отражают радиоволны, но подвергаясь интенсивной бомбардировке солнечными лучами, они начинают поглощать радиосигналы. Для сигналов большей частоты верно обратное: они начинают распространяться далеко за свои обычные пределы. Пока существовали пятна из области 5395, с этими эффектами познакомились многие радиолюбители и операторы радиосвязи. Здесь же кроется объяснение жалоб многих калифорнийцев на то, что управляемые по радио двери их гаражей открывались и закрывались как попало. Это явление было связано с работой расположенной неподалеку радиостанции военно-морского флота. Станция перешла на новую частоту, поскольку передавать на стандартной частоте из-за влияния Солнца на ионосферу было невозможно.

Несмотря на перечисленные неприятные эффекты, связанные с солнечными пятнами, наблюдение самих пятен может доставить вам большое удовольствие. А следя за Солнцем на протяжении, скажем, месяца, вы поймете его изменчивую природу. По сравнению с наблюдениями звезд, ведущимися и профессиональными астрономами, и любителями, этот эксперимент, как вы быстро убедитесь, намного более удобен для проведения и дает любителю больше информации. Если те, кто наблюдает звезды, должны всю ночь следить за интересующими их объектами, то наблюдать Солнце вы можете в любое время в течение дня. Это можно делать и в условиях дымки, и из комнаты, если окно выходит на солнечную сторону.

Самый быстрый и простой способ обнаружить на Солнце пятна — это взглянуть на него через подходящий светофильтр. Именно так поступил я в первый раз во время появления области 5395. Чрезвычайно важно, чтобы фильтр достаточно ослаблял солнечный свет. Фильтры для сварщиков имеют градацию в соответствии с тем, какое количество света они пропускают. Самый темный из имеющихся в продаже фильтров — это фильтр № 14. Он пропускает в 2,7 раза меньше света, чем фильтр № 13, который в свою очередь пропускает в 2,7 раза меньше света, чем фильтр № 12, и т. д. Надежную защиту глаз от прямого солнечного света обеспечивает только фильтр № 14.

Фильтры для сварщиков бывают в основном двух размеров: 5 × 10,8 см и 11,4 × 13,3 см. Маленький фильтр — это солнечная мини-обсерватория для наблюдения солнечных пятен во время уличных пробок, обеденных перекуров и прогулок. Большой фильтр,



Текущий солнечный цикл в сравнении с предыдущими циклами

который может уместиться в кармане пальто или сумочке, удобнее, поскольку закрывает большую часть лица.

В некоторых магазинах можно найти пластмассовые светофильтры, покрытые металлической пленкой. Хотя эти фильтры могут иметь те же коэффициенты ослабления, что и стеклянные одного с ними номера, случайная царапина на металлической пленке будет пропускать опасные для глаза лучи. По этой причине стеклянные фильтры для нашей цели предпочтительнее.

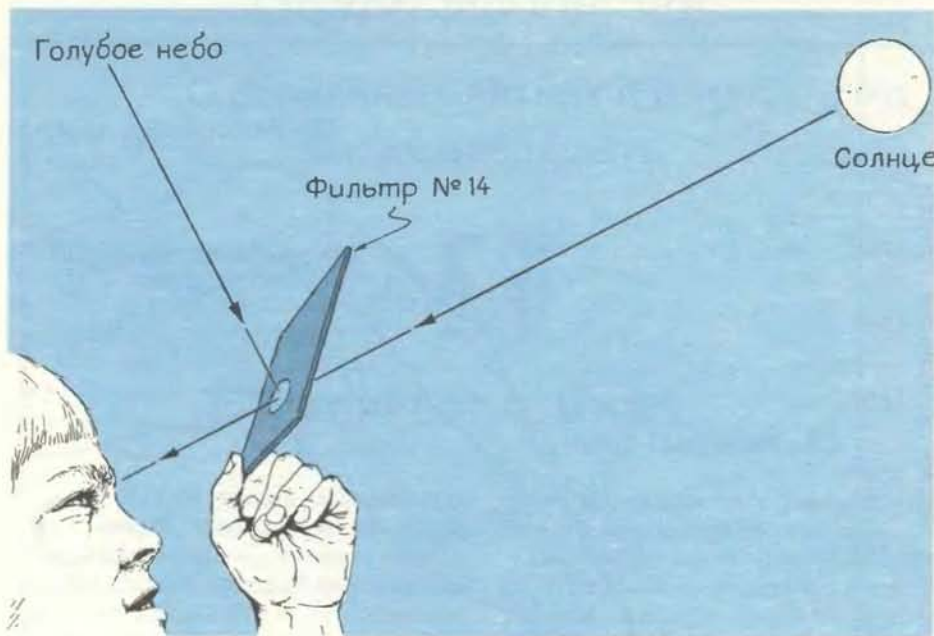
Независимо от того, какой фильтр вы приобрели, не пользуйтесь им в сочетании с телескопом или биноклем! Эти инструменты собирают достаточно света, чтобы ваши глаза, даже если они защищены светофильтром, подверглись опасности. Кроме того, стеклянный поглощающий фильтр, помещенный между глазом наблюдателя и окуляром телескопа, может быть поврежден в результате нагревания, вызванного увеличенным изображением солнечного диска.

Через стеклянный фильтр для маски сварщика Солнце кажется желтым или желтовато-зеленым, а через пластмассовый — золотистым. Если стеклянный фильтр наклонить, ослабление света возрастет; это бывает полезно, когда нужно найти небольшие солнечные пятна. Когда с перво-

го взгляда пятна не видны, посмотрите на край Солнца, а затем на диск в целом. Если видимые пятна имеются, одно или несколько из них могут «проявиться» в поле зрения. Обнаружил я это случайно, когда при написании этого раздела вышел на улицу. Вначале мои глаза увидели чистый солнечный диск. Обведя его взглядом несколько раз, я заметил по обе стороны от экватора два больших пятна.

Этот эффект «усиления» остроты зрения, открытый мною случайно, вы можете проверить с помощью большого фильтра. Глядя на Солнце через фильтр, отклоняйте верхнее ребро фильтра от головы, пока не увидите голубое пятно — отраженный свет неба (см. рисунок на следующей странице). Голубое пятно наложится на солнечный диск. Из-за того что фильтр наклонен, Солнце будет казаться более тусклым. Отраженный свет неба, попадая в глаза, вызывает дополнительное сужение зрачков, вследствие чего Солнце кажется еще бледнее. Как показывает мой опыт, такая уловка резко повышает видимость солнечных пятен и делает наблюдения более приятными для глаз.

Этот метод наблюдения, внешне примитивный, позволит вам многое узнать. Активность Солнца в текущем 11-летнем цикле сейчас близка к пику, благодаря чему вы имеете счастливую возможность наблюдать



Отраженный свет голубого неба
помогает лучше различать солнечные пятна

за поведением основной группы солнечных пятен. Так, например, в конце августа 1989 г. я с помощью своей карманной солнечной обсерватории обнаружил очень крупное пятно на восточном краю солнечного диска. Через три дня оно выросло и превратилось в два гигантских пятна, соединенные между собой. Такое явление смутило даже профессиональных астрономов. Вначале двум пятнам были присвоены разные номера — область 5669 и область 5671. Однако, проанализировав магнитную структуру этих двух областей, астрономы обнаружили, что в действительности две области представляют собой единую обширную группу пятен. После этого области 5669 и 5671 стали рассматривать как одну, присвоив ей номер 5669.

Эта в высшей степени необычная группа пятен стала источником нескольких крупных всплесков радиоволн, светового и рентгеновского излучения. Я следил за областью 5669 в течение почти двух недель, пока она, повернувшись с Солнцем, не переместилась на западный край диска. Однажды утром, через несколько минут после восхода Солнца, я имел редкую возможность наблюдать область 5669 через плотную дымку и обычные темные очки.

Область 5669 была столь велика, а ее форма столь необычна, что мне захотелось изучить ее более подробно. Для этого я взял бинокль и спроецировал изображение солнечного диска на лист бумаги. Простейший способ сделать это — поставить бинокль на фотографическую треногу. В некоторых магазинах фотопринадлежностей можно купить приспособления, которые позволяют укреплять на треноге бинокли различного вида.

Наводя бинокль на Солнце, ни в коем случае не смотрите в него! Не следует также смотреть вдоль бинокля — поверх него или сбоку. Вместо этого наденьте крышку на одну из входных линз и наведите бинокль приблизительно на Солнце. Затем поворачивайте бинокль, наблюдая за его тенью. Когда тень станет минимальной, это будет означать, что бинокль сориентирован более или менее правильно. Окончание юстировки определяется тем, что в центре области тени должно появиться бледное изображение солнечного диска. Теперь поставьте экран из картона перед открытой линзой, чтобы затенить изображение солнечного диска и сделать его более ярким. Наконец поместите белый лист бумаги или картона в 20—30 см от бинокля и добейтесь, чтобы изображение было резким.

Класс	Полутень наибольшего пятна	Распределение пятен
А Полутени нет	x Нет	x Одинокое
В Полутени нет	r Рудиментарная	o Открытое
С Одна полутень	s Небольшая симметричная	i Промежуточное
Д Множественные полутени	a Небольшая асимметричная	c Компактное
Е Крупные пятна со сложными полутенями	h Большая симметричная	Пример „Dai” Класс — D Полутень — a Распределение — i
Ф Крупнейшие группы со сложными полутенями	k Большая асимметричная	
Н Одно большое пятно с полутенью	Полутень Тень	

Классификация групп солнечных пятен по Макинтошу

Метод проецирования при наблюдении солнечных пятен может применяться в сочетании с большинством типов биноклей и телескопов и является наиболее безопасным для глаз. Помните, однако, что любопытные дети (или взрослые) могут захотеть взглянуть в окуляр инструмента прямо на Солнце. Поэтому присматривайте за теми, кто находится вблизи инструмента. Запомните: даже мимолетный взгляд на солнечный диск в маленький телескоп грозит частичной потерей зрения. Вы должны также помнить, что сфокусированный солнечный свет может воспламенить или расплавить визирные нити или координатную сетку телескопа или бинокля, сделанные из пластмассы.

Если у вас есть небольшой телескоп, вы можете без труда соорудить стационарную солнечную обсерваторию — такую, как два года назад сделала моя четырнадцатилетняя дочь Вики. Для этого ей понадобились: деревянные бруски, доска с зажимом, картонный экран и небольшой телескоп с 10-кратным увеличением. Подойдет для этих целей и вспомогательный телескоп от большого телескопа. Обсерватория Вики изображена на рисунке на с. 76. Сооружая свою обсерваторию, вы можете увеличить расстояние между телескопом и доской с зажимом, чтобы изображение солнечного диска было больше.

Прежде чем приступить к наблюдениям, положите тот конец установки, где укреплен телескоп, на забор или на ступеньку приставной лестницы. Уберите картонный экран. Поднимайте или опускайте нижний конец установки, пока тень телескопа не окажется в центре белого листа бумаги, удерживаемого зажимом. Итак, телескоп направлен примерно на Солнце. Теперь вы должны осуществить точную юстировку, чтобы солнечный диск оказался в центре листа бумаги. После этого верните на место картонный экран, делающий изображение Солнца более ярким.

С помощью этого простого проекционного устройства вы можете следить за перемещением пятен по солнечному диску. Изображение диска должно быть в центре листа, удерживаемого зажимом. Поставьте несколько точек на бумаге по периметру изображения и проведите через эти точки окружность. Для более точного определения положения пятна можно воспользоваться осями координат или координатной сеткой. Выделите на бумаге место для записи даты, времени суток и пояснений. С этого шаблона сделайте несколько копий.

Чтобы наблюдения за движением солнечных пятен были аккуратными,

вы должны делать их в одно и то же время суток. Такой режим гарантирует, что во время наблюдений Солнце будет ориентировано одинаково. Если распорядок вашего дня не позволяет это сделать, установите систему в нужном направлении и в течение нескольких минут наблюдайте за движением изображения Солнца на бумаге. При необходимости поверните доску с зажимом или всю установку так, чтобы солнечное пятно двигалось параллельно координатной линии.

Теперь вы должны определить примерное положение северного полюса на Солнце. Во время местного кажущегося полудня в Северном полушарии звездный север соответствует верхней точке Солнца. Действительный северный полюс находится в пределах 26° от звездного севера. Если телескоп дает перевернутую картину, то верх изображения Солнца в полдень соответствует направлению на север. Если картина прямая, верх изображения соответствует югу.

На этой установке Вики в течение четырех месяцев почти ежедневно вела наблюдения солнечных пятен. Она измеряла вращение Солнца, следя за тем, как некоторые пятна и группы пятен движутся по солнечному диску. Вики видела, что некоторые пятна двигаются по диску быстрее других; объясняется это тем, что солнечная атмосфера на экваторе вращается быстрее, чем у полюсов.

В процессе наблюдения за изображениями солнечных пятен время от времени слегка двигайте бумагу взад-вперед. Это помогает устранить эффекты, вызываемые текстурой бумаги, и выявить детали, которые легко проглядеть. Хотя наблюдаемые изображения можно «сохранить» с помощью фото- или видеокамеры, многие любители предпочитают, как это делала Вики, отмечать пятна карандашом. Так вы можете зарисовать небольшие пятна, которые не были бы зафиксированы на фото- или видеопленке. Однако если у вашего телескопа отсутствует система автоматического слежения, работать следует быстро. Если пятен много, приходится периодически заново наводить телескоп на Солнце, чтобы солнечный диск совпал с наброском на бумаге.

Серьезные наблюдатели, возможно, предпочтут следить за Солнцем с помощью астрономического телескопа, который позволяет не только получать изображение Солнца, но и наблюдать его непосредственно. Инструменты прямого видения обычно снабжаются фильтрами в виде металлической пленки, устанавливаемыми на входном отверстии, а не на окуляре. С помощью достаточно хорошего

инструмента можно увидеть, что центральная темная часть некоторых солнечных пятен (тень) окружена более светлой областью, называемой полутенью. Кроме того, солнечные пятна и группы пятен могут быть классифицированы в соответствии с размерами и внешним видом. Одна система классификации приведена на рисунке на с. 78.

Вниманию читателей!

*Р. Эккерт, Д. Рэнделл,
Дж. Огастин*
**ФИЗИОЛОГИЯ
ЖИВОТНЫХ.
МЕХАНИЗМЫ И
АДАПТАЦИЯ**

Перевод с английского
В 2-х томах

Авторитетный учебник по физиологии животных, написанный известными американскими специалистами и выдержавший в США три издания за короткий срок. Его отличает общебиологическая ориентация, современность как самого материала, так и способа его подачи. На русском языке выходит в 2-х томах. В т. 1 дано теоретическое введение, описаны транспорт ионов, физиология нервной и эндокринной систем, работа мышц. В т. 2 рассмотрены клеточная подвижность, осморегуляция и выделение, кровоснабжение, газообмен, тип питания и пищеварение, выделение тепла и терморегуляция. Приведен словарь терминов.

Из заключения кафедры физиологии животных МГУ: «В советской учебной литературе в последние десятилетия аналогичных изданий не было. Книга будет несомненно полезна не только студентам-биологам, но и преподавателям, аспирантам и научным сотрудникам».

Для студентов-биологов и медиков, преподавателей физиологии на биологических факультетах.

Цена 7 р. 90 к.
за комплект.

Позиция № 88 по темплану
издательства на 1991 г.



Пыльные ветры; взгляд Дюрера; компьютерная визуализация; 30 000 иголок; биогенные минералы



Филип Моррисон

Кеннет Пай. ЭОЛОВЫЙ ПЕРЕНОС И ОТЛОЖЕНИЯ АТМОСФЕРНОЙ ПЫЛИ

AEOLIAN DUST AND DUST DEPOSITS, BY Kenneth Pye. Academic Press, Inc., 1989 (paperbound, \$ 17.50).

П ПРОЕЗЖАЯ мимо города Натчеза (шт. Миссисипи), вы непременно обратите внимание на десятиметровую толщу породы, обнажившуюся во время прокладки шоссе. Эта порода, прикрытая полуметровым слоем почвы, поражает своей необычайной однородностью. Это так называемый лёсс — смесь глинистых и илистых частиц почти без каких-либо посторонних включений. Если посмотреть на геологическую карту региона, можно заметить еще одну особенность этой породы: лёсс залегает широкой полосой, протянувшейся вдоль восточного берега Миссисипи на север до Сент-Луиса. Толщина этого слоя постепенно уменьшается к востоку: на обрывистых берегах реки она максимальна (25 м), в 30 км на восток слой лёсса уже не так четко прослеживается и толщина его составляет всего 1—2 м. Возраст этих отложений был определен с помощью радиоуглеродного и некоторых других методов.

Даже неискушенного читателя убедит выдвинутая специалистами гипотеза происхождения лёсса к востоку от Миссисипи. Согласно этой гипотезе, он возник в ледниковую эпоху в период последнего пика оледенения, т.е. примерно 11 тыс. лет назад. Причиной образования лёссовых отложений были преобладающие западные ветры, которые несли пыль из долин. Источником частиц пыли были периодически обнажавшиеся отмели на реке Миссисипи, ежегодно пополняемые гравием и песчинками, приносимыми ледником. Размер поднятых в воздух пылинков был такой, что они падали на землю в среднем после двух часов полета. Частички диаметром порядка 30 мкм задерживались расте-

ниями и неровностями ландшафта. Это были, по-видимому, самые пыльные дни в истории Земли.

В поисках лёсса мы последуем за автором и на другие континенты. Бассейны Рейна и Дуная, долины великих рек центральной Азии, аргентинские пампасы — везде обнаружены солидные пласты лёсса. Однако его распространение не ограничивается берегами рек. По-видимому, около 10% суши в настоящее время покрыто лёссом — это и Аляска, и средний запад США, и десятки других регионов мира вплоть до Новой Зеландии. Лёсс покрывает площади более 1 млн. км² в центральном Китае (где его толщина составляет много сотен метров), образуя желтые почвы Среднего Царства — плодородные, но легко поддающиеся эрозии.

Возраст мощных лёссовых отложений в центральном Китае был определен магнитным методом и составляет 2 млн. лет. За этот долгий период осадочный слой пережил множество изменений и был свидетелем оледенений и межледниковых периодов. Высокогорья Тибета и Тяньшаня имеют гораздо большую площадь и намного старше речных долин. Средняя скорость накопления лёсса в Китае в десять раз ниже, чем в низовьях Миссисипи. Свойства лёсса варьируют в зависимости от времени его образования. В периоды с более холодным климатом количество пыли увеличивалось, в моменты потепления, сопровождавшиеся увеличением осадков, ее было в 10—20 раз меньше. Два миллиона лет назад уровень моря был ниже, чем сейчас, ветры сильнее, а зимы суровее и суше. Растительность, задерживавшая частицы пыли из обширных холодных пустынь, была скуднее. В Китае пылинки проделывали путь в несколько сот миль — в десятки раз дальше, чем те, которые осели вдоль берегов Миссисипи.

В книге упоминается лишь одно от-

ложение лёсса, образовавшееся более 2 млн. лет назад. Это отвердевшая докембрийская порода в северной Норвегии. Возможно, что мы просто не умеем выделить лёсс среди обильных морских отложений того периода; может быть эта непрочная порода слишком недолговечна, а может быть ее формирование в широких масштабах началось лишь сравнительно недавно. Ответы на эти вопросы пока не найдены.

Пыль в окружающем нас «пыльном» мире имеет много источников. Их перечислением и открывается книга. Основным источником частиц размером до 1 мкм является выветривание осадочных пород. Более мелкие частицы образуются в результате химических реакций в кислотных газах (как естественного, так и индустриального происхождения). В книге дается подробная характеристика пылевых частиц по размеру, минеральному, химическому и магнитному составу, а также по наличию изотопов кислорода. В наши дни крупнейшим источником пыли в мире является пустыня Сахара. Автор приводит характеристики сахарской пыли, иногда достигающей даже Британских островов, а также пыли, приносимой из Монголии в Пекин. Они однотипны: и та и другая состоят из пылинок среднего размера. Из гораздо более крупных частиц состоит пыль, собранная на балконе одного из отелей во время пыльной бури в шт. Канзас. Гораздо более мелкие частицы образуют пыль, принесенную ветром из Сахары через Атлантику на о. Барбадос. Пыль, состоящая из мелких частичек, обнаружена в кернах, взятых со дна океана и в полярных льдах, однако общее количество ее на порядок меньше, чем количество пыли, отлагающейся на суше. Как и молния, пыль — явление чисто континентальное.

Чтобы понять такое явление, как разносимая ветром пыль, необходимо иметь хотя бы элементарное понятие о том, что такое ветер. Пылевые «дьяволы» — термические смерчи, не сопровождаемые дождевыми облаками — могут иметь различные размеры. Такие смерчи высотой в 0,8 км по наблюдениям в районе Бонневиль Солт Флетс — Пустыне Большого Соленого озера в штате Юта могут существовать до семи часов. Метеостанции сообщают о пыльной буре на основании визуальных наблюдений — в том случае, если из-за пыли видимость падает ниже одного километра. Рекордное число пыльных дней приходится на иранскую метеостанцию, расположенную в пустыне: каждый четвертый или пятый день в году она регистрирует плохую видимость.

Это означает, что в такие дни в одном кубическом метре воздуха содержится сотни микрограммов пылевых частиц. Это примерно соответствует погоде, которая преобладает на берегах Миссисипи в течение 10 тыс. лет лёссовобразования.

В 30-х годах XX века выветриваемая из засушливых районов пыль все время висела в воздухе. В течение 4 месяцев в году пыльные дни регистрировались дважды в неделю. В худшие из них всякая нормальная жизнедеятельность была невозможна. Дома, амбары, тракторы и поля были погребены под наносами 7-метровой высоты... Пыль скрывала солнце в течение нескольких дней... Лампочка на противоположном конце комнаты казалась не ярче огонька сигареты. Все предметы в домах — даже еда в холодильнике — были покрыты слоем пыли.

Написанная на основе большого количества литературных источников, эта книга не претендует на исчерпывающее освещение этого вопроса, однако поднимает многие современные проблемы, связанные с окружающей средой. Несмотря на некоторую перегруженность специальными данными, она будет интересна для широкого круга читателей и явится хорошим руководством для того, кто захочет глубже «зарыться» в земную пыль.

Фриц Корени. «АЛЬБРЕХТ ДЮРЕР И ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО И ЖИВОТНОГО МИРА В ЭПОХУ ВОЗРОЖДЕНИЯ»

ALBRECHT DÜRER AND THE ANIMAL AND PLANT STUDIES OF THE RENAISSANCE, by Fritz Koreny. Little, Brown and Company, 1985 (\$ 75).

ВЕЛИКИЙ Дюрер писал: «Поистине искусство заключено в природе; кто умеет обнаружить его, тот владеет им». Это первоклассное справочное издание примечательно публикацией нескольких акварелей и работ маслом мастера эпохи Возрождения. Они находятся в знаменитом собрании Albertina в Вене и несколько лет назад были в центре внимания на проходившей там великолепной выставке. Многие слышали об этих работах и знают их по современным репродукциям, например «Молодой заяц», «Большой кусок торфа», «Букет фиалок», «Жук-олень» и «Ирис».

С поразительным мастерством Дюрер отображает мельчайшие детали окружающего его мира: переливающееся красками расправленное левое крыло молодой сизоворонки, одуванчик, жука-олень, подорожник,

камнеломку, тысячелистник и многое другое. Он влетает эти реальные творения природы в яркие картины воображаемого мира, где они часто соседствуют с крылатыми ангелами, грозными рыцарями или лучезарной мадонной, окруженной животными, — существами одновременно земными и имеющими значение символа.

Достаточно точное визуальное отображение реальной природы художником, хотя и зависящее от его «собственного видения» и мастерства, можно считать одной из ранних форм естественнонаучных исследований, методическая основа которых была позднее сформулирована естествоиспытателями XVII в. Во времена Дюрера еще не было всеобъемлющих иллюстрированных травников. Позднее Брунфельс, Фукс и Геснер систематически и скрупулезно описали мир растений, впервые рассчитывая на широкое печатное распространение своих работ. Для сравнения в книге приводятся два рисунка ириса, один из них выполнен Геснером, а другой — Дюрером. Хотя рисунок Геснера нельзя назвать холодным, это все же «обобщенный ирис», в котором ощущается «дидактическое намерение» автора. Ирис Дюрера тоже включает в себе все «общие признаки», и тем не менее в нем ощущаешь нечто особенное, свойственное именно тому цветку, который изобразил художник.

У Дюрера, конечно, были предшественники. К ним можно отнести, например, целую плеяду флорентийцев, чье обостренное мироощущение помогало создавать им великолепные картины природы. У него были и последователи, но значительно позже. Большая эрудиция, которая отличает автора данного издания, помогла ему найти некоторые работы предшественников великого мастера, а также устранить сомнения в отношении работ, относящихся к концу XVI в., авторы которых подражали ему, подделывали, копировали или просто изменяли картины природы Дюрера (часто включая и его монограмму «AD»). При этом Корени нашел основания не включать хорошо известные рисунки охристо-коричневого куска торфа, написанных неуверенной рукой фиалок, а также трогательного совенка в список работ, которые с уверенностью могут быть отнесены к кисти Дюрера.

Мастерство Дюрера, как и Леонардо да Винчи, служило одновременно науке и искусству. В дальнейшем эти две сферы человеческой деятельности разошлись. Тем не менее ученые остаются верны характерному для эпохи Возрождения стремлению постичь смысл того, что их окружает в приро-

де. Правда, смысл, который им открывается теперь, утратил свою интимность, поскольку наука весьма усовершенствовала орудия восприятия окружающего мира. Даже художника сегодня едва ли удовлетворит непосредственное и чисто созерцательное восприятие, какой бы пронизательностью он ни обладал.

Чтение этого великолепного, напечатанного в ФРГ издания доставляет истинное удовольствие. То, о чем повествует автор, покоряет своей широтой, искренностью и достоверностью.

Ричард Марк Фредхоф, Уильям Бензон. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ: ВТОРАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ

Vizualization: The Second Computer Revolution, by Richard Mark Friedhoff and William Benzon. Harry N. Abrams, Inc., Publishers, 1989 (\$ 49.50).

ДВАДЦАТЬ видов горы Маунт-Шаста заполняют один из разворотов этой увлекательной и вполне доступной для любого читателя прекрасно иллюстрированной книги. Величественный пик горы, запечатленной со всех сторон, изображен в самом центре на всех снимках. Однако, чтобы получить все эти фотографии, совсем не нужно было облетать горную вершину; да и фотоаппарата, собственно, никакого не было. Трехмерное изображение с мельчайшими деталями было получено с помощью радара, на борту высокоорбитального шаттла, с двух точек, удаленных на многие мили друг от друга. Оба «снимка» в цифровой форме взаимно коррелировались компьютером, пока не было получено изображение ряда статистически соответствующих участков в пределах выветренного склона с богатым структурным разнообразием. Величину горизонтального отклонения точки съемки можно было рассчитать очень точно для различных мест, а затем пара радарных изображений была встроена в трехмерную стереомодель вершины, и все это с использованием хранящихся в памяти битов.

Радарная установка была направлена на Маунт-Шаста с удобной для обзора точки пространства на высоте 100 миль над земной поверхностью. Геометрические преобразования не сложны, скорее утомительны в этом однообразном мире нулей и единиц. Подразумевалось, будто наблюдатель стоит на той же высоте, что и вершина горы, и на приемлемом расстоянии от нее, а гора «позировала», как на вращающемся постаменте; каждый вид открывается достаточно полно, и окончательное изображение

фотографировалось кадр за кадром с цветного экрана дисплея. (Процессор был запрограммирован так, чтобы лес окрашивался в зеленый цвет, а скальные породы — в серый с помощью специального радарного сигнала, поэтому читатель не должен быть слишком придирчивым к неестественности цветовой гаммы.) На следующих страницах представлены пять черно-белых изображений изрезанного каньонами спутника Урана Миранды. Эти снимки были сделаны в основном с помощью тех же методов по данным, полученным не с пролетающего высоко над Калифорнией шаттла, а с космической станции «Вояджер-2» во время ее полета в окрестностях Урана на расстоянии около 2 млрд. миль от Земли; можно предположить, что изготовление снимков Маунт-Шафта было хорошей разминкой для специалистов из Лаборатории реактивного движения.

Не прибегая к более сложным техническим приемам и используя чуть больше изобразительных деталей, чем в том снимке, о котором уже говорилось, авторы изготовили целую галерею изображений (140 из них цветные), чтобы всесторонне раскрыть возможности современной техники визуализации. И хотя огромный объем вычислительных работ на компьютерах, который пришлось выполнить авторам, вполне оправдывает название данной книги, они умышленно расширили ее контекст, повсюду сопровождая обсуждаемые аспекты поясняющими иллюстрациями.

В начале книги речь идет об особенностях зрительного восприятия человека в том виде, как это когда-то изложил Р. Грегори (он же написал и предисловие к данной книге), считавший, что восприятие играет столь же важную роль для компьютера, как и для человека. При рассмотрении какого-либо объекта мы сами постоянно совершаем вычисления, часто на подсознательном уровне. Человеческий глаз — это не просто живой фотоаппарат, он связан с мозгом, а стало быть и с сознанием. Здесь же излагаются и основные положения теории Э. Лэнда о цветовом восприятии сетчаткой глаза и объясняется сложный механизм пространственного видения. В книге приведен автопортрет Матисса в двух видах, чтобы показать различие между формой, которую мы отчетливо видим, и нашим суждением о цвете, который не столь четко передает геометрию образа.

Одна из глав посвящена описанию цифрового представления данных в том виде, как это используется в нашей повседневной практике, в голографии, в радиолокации, в магнитно-

резонансных системах построения изображений и др. Кодирование позволяет исправить окраску, изменить геометрию, увеличить контрастность, усилить контур и обеспечить одновременную обработку многих изображений. Мы видим, что можно сделать с пикселями, меняя точку за точкой, будто переключая чашечки в ящичке для красок, и с предметными системами, поддающимися комплексному математическому описанию. То, что мы понимаем под словом «алгоритм», открывает перед нами необычайную возможность синтезировать реально несуществующие образы — от небоскребов до живописных натюрмортов из фруктов — с помощью луча со сложной траекторией и фрактальных структур. В книге приведен только один кадр из ставшего весьма популярным мультипликационного фильма 1984 г. «Приключения Андре и Уолли Б.». В нем лесной массив из хвойных деревьев создан движением луча по заранее заданным траекториям — от верха, где располагаются кроны деревьев, до низа, где стелется трава, — и текстура всего этого пейзажа создается с учетом нашего привычного восприятия образов живой природы. Картина формируется с помощью «процедуры многократного умножения» исходных 20 тыс. байт на входе до 60 млн. байт в ее окончательном виде, обеспечивающих великолепие создаваемого образа. Читателю предоставляется также возможность познакомиться с большим разнообразием возможных комбинаций различных методов построения изображений, которых в настоящее время с каждым днем становится все больше. Один из новых методов использован при построении изображения горной вершины Маунт-Шафта, другой — в моделировании скопления молекул в процессе их столкновения на больших скоростях. Такие изображения способствуют появлению новых технологий, которыми отмечено завершение нынешнего десятилетия и обзором которых заканчивается книга.

Один из авторов книги, Р. Фредхорф — опытный научный журналист, работа которого на протяжении всех 80-х годов была связана с рассматриваемой областью, и этот труд является своеобразным его творческим отчетом. Читатели, хорошо знакомые с вычислительной техникой, найдут в книге многое из того, что им уже известно, и все же им будет небезынтересно познакомиться с описанием многих примеров и мыслями других специалистов. Тем же, кто далек от современных технических проблем, книга своим простым и до-

ходчивым языком поможет понять смысл совершаемой сегодня революции в теории познания, занимающей достойное место в современном мышлении.

Алдис Роуз. СЕВЕРОАМЕРИКАНСКИЙ ДИКОБРАЗ

THE NORTH AMERICAN PORCUPINE, by Uldis Roze. Smithsonian Institution Press, 1989 (\$ 29.95).

В ПОСЕЛЕНИЯХ, расположенных вблизи от леса, эти колючие зверьки нередко считаются вредителями, но вряд ли кто из постоянных жителей таких мест станет убивать их, ведь дикобраз — чуть ли не единственное животное, которое человек, если заблудится в лесу без оружия, может поймать и употребить в пищу. Всем известно знаменитое средство защиты дикобраза — длинные иглы, которыми утыкана его кожа. Сотрудник Куинс-Колледжа А. Роуз как истый натуралист предлагает нам рассказ из первых рук: он сам наблюдал, подсчитывал численность, ловил, пугался дикобразов, восхищался ими. Более десяти лет работал он в безлюдных лесах на склонах гор Катскилл и за эти годы научился понимать дикобразов, которых повидал немало. Его книга озарена разнообразием, силой и радостью непосредственных впечатлений. Длительные визуальные наблюдения, мониторинг с помощью радиоаппаратуры, химический анализ, усыпление животных безвредными анестезирующими средствами, импровизированные ловчие приспособления (например, бола для сбора образцов листьев с верхних ветвей лип), успешные приманки — все это было в арсенале мирного исследования, позволившего автору глубоко проникнуть в жизнь дикобраза.

Итак, средства защиты дикобраза. У этого довольно медленно передвигающегося животного тело покрыто 30 тыс. острых длинных игл. Белые с черным кончиком иглы закреплены в коже не жестко. Мягкие, легкие и неэластичные, они торчат во все стороны, создавая как бы круговую оборону. Все, что попадет в пределы критического расстояния, рискует быть пронзенным, причем иглы могут целиком входить в тело жертвы. Направление игл легко изменяется, и животное обращает их в нужную сторону — к жертве или к неосторожному приближившемуся потенциальному врагу. На хвосте иглы черные и короткие, они приводятся в боевую готовность мгновенным взмахом хвоста.

Мертвый дикобраз — соблазнительная пища для других животных, однако порой в лесу попадаются совершенно нетронутые замершие трупы, хотя вокруг них множество следов хищников. Выходит, дикобраз и после смерти пользуется уважением среди лесных обитателей. Только проворная куница-рыболов, или пекан, охотится на дикобраза. Пекан кружит вокруг него, кусая раз за разом в незащищенную морду до тех пор, пока — это происходит примерно через полчаса — жертва не ослабнет настолько, что агрессор может опрокинуть ее и добраться до уязвимо-го живота.

Дикобразы иглы бывают смертельны для многих животных и иногда для человека. У кончика иглы имеется небольшой заусенец (как на рыболовном крючке), благодаря которому игла, втыкаясь в тело, уходит все глубже и может достигнуть жизненно важных органов, что очень опасно, или даже пройти насквозь. Автор описывает случай, приключившийся с ним самим: однажды не вытасшенная игла дикобраза, проколов одежду, вошла в мышцу плеча, а через несколько дней оказалась в предплечье, пройдя внутри ткани, как крот.

Почему иглы дикобраза лишь изредка бывают причиной инфекции? Дело в том, что они покрыты бактерицидным слоем, который представляет собой смесь жирных кислот, подавляющих размножение микробов. Но зачем же беречь жертву от вторичной инфекции? Затем, что часто дикобраз становится своей собственной жертвой: падая с дерева, он может пораниться иглами.

Дикобраз использует иглы только в особо угрожающих для него ситуациях как стратегическую защиту, когда все прочие способы исчерпаны. Благодаря черно-белой окраске это животное хорошо видно в сумерках и ночью. И на слух присутствие дикобраза трудно не обнаружить, так как он в качестве предупреждения дробно постукивает зубами. Учуять его тоже легко, поскольку он испускает резкий сигнальный запах, похожий на козлийный (пахучие вещества, по-видимому, выделяются из голых участков кожи, открывающихся, когда хвост поднят). Ну, а если вы проигнорировали все три предупреждающих знака, придется познакомиться с иглами.

Дикобразов называют вредителями, потому что, если поблизости живут люди, они грызут и портят их имущество. Роуз признается, что как-то и он не выдержал и стукнул палкой пару зверьков, постоянно обдиравших фанерные стенки его новой хижи-



В конце лета дикобразы лакомятся яблоками и другими плодами.

ны (в конце концов заборчик из проволочной сетки высотой 60 см положил этому конец). Фанера очень часто привлекает дикобразов. Временки, сарайчики и другие хозяйственные постройки, а также инвентарь несут следы их «преступлений». Соблазняют дикобразов и основания кузовов автомашин. Смысл всей этой вредоносной деятельности — поиски ионов натрия, в которых дикобразы, как и другие травоядные, испытывают недостаток. Дикобразы мало чего боятся и запросто приходят к человеческому жилью погрызть фанеру, которая пропитана противогрибковыми составами, богатыми натрием, обглодать инструменты, впитавшие пот с ладоней пользовавшихся ими людей, ободрать основание кузова автомашины, запыленное солевой смесью, которой посыпают дороги от наледи.

Роуз рассказывает, как в первые годы ему приходилось сталкиваться с алчущими натрием дикобразами и как, находясь ночью в своей хижине, он наблюдал за подвижным частоклолом всю работавших зубов, одолевавшим его домик снаружи. «Я чувствовал себя, словно внутри контрабаса — так вибрировала моя хибарка под мощными зубами». Как выяснилось, дикобразам был нужен только натрий. Потребность в нем резко сезонная, причем по весне фанеру и т. п. поедают преимущественно самки. Все эти обстоятельства пока непонятны.

Животные, питающиеся растениями, которые не имеют таких тканей, как нервная и мышечная, получают с

пищей в избытке калий, но недостаточно натрия; соотношение этих ионов может достигать 500:1 в пользу калия. В почках у млекопитающих не делается различия между двумя ионами, и дефицитный натрий выводится из организма наравне с избыточным калием. Давно замечено, что дикобразы часто едят желтую кубышку, в которой содержание натрия в 1000 раз выше, чем в среднем в других растениях. Дикобразы также подбирают и грызут валяющиеся в лесу кости, оставшиеся от чьей-нибудь добычи, и время от времени, поедая растения, глотают сидящих на них муравьев. Каким образом в организме дикобраза удерживается достаточное количество необходимой соли? Должно быть, у этого животного, подобно американскому лосю, имеется внутрикишечный запас натрия. «Но я не чувствовал себя вправе убивать животных, чтобы проверить эту гипотезу», — пишет Роуз.

Дикобразы в поисках пищи лазают по деревьям. Они едят ветки, листья и плоды. С приближением зимы животные, вынужденные ограничивать свой рацион корой и сучками «спящих» деревьев, начинают малопомалу голодать. Они теряют в весе, многие гибнут. Извлекая энергию из медленно переваривающейся целлюлозы, дикобразы, как и жвачные животные, содержат в кишечнике симбиотические бактерии, гидролизующие целлюлозу.

Когда приходит весна, дикобразы поедают молодые почки, которые богаты белком. Начинают они с са-

харного клена, затем берутся за бук и ясень. В этой последовательности есть свой смысл. В процессе роста в листьях накапливаются танины, которые служат у листовых пород средством химической защиты — они придают листьям горький вкус. Повидимому, именно образование танинов побуждает дикобразов переходить от одного источника пищи к другому. К середине лета они принимаются за желуди и семена бука, а в пору сбора урожая набрасываются на дикие яблоки.

По-своему дикобразы изменяют самый лес. Они обдирают кору с верхних веток деревьев, но никогда со стволов. В результате поблизости от их нор со временем появляются целые «ведьмины роши» — группы старых укороченных деревьев с причудливо изогнутыми ветвями; они особенно бросаются в глаза после листопада.

Конечно, о дикобразах можно написать еще много интересного, особенно об их эволюции. Но натуралиста-любителя небольшая книга Роуза вполне удовлетворит. Для автора каждый зверек — это учитель и рассказчик, воплощающий сложность и красоту живого мира.

Хайнц А. Ловенштам, Стивен Вайнер. О БИОМИНЕРАЛИЗАЦИИ ON BIOMINERALIZATION, by Heinz A. Lowenstam and Stephen Weiner. Oxford University Press, 1989 (\$ 57).

Нам в плоть и кровь вошло убеждение, что царство живой и неживой материи отделены друг от друга границей, еще более извилистой, чем дорога через горы Трансильвании. Двое исследователей — геолог из Калифорнийского технологического института и биолог из Вейцмановского института — предлагают в своей всеобъемлющей, но компактной книге широкий взгляд на эту сложную проблему естествознания. Их внимание сосредоточено на осязаемых конечных продуктах: ионах, макромолекулах и кристаллах, которые строятся клетками во всех пяти царствах живой природы.

Систематические списки и классификации, составляющие основу этого трактата, поражают воображение. У 50 с лишним типов живых существ — от микроскопических цианобактерий до хордовых (включая человека) — с их сложными минерализованными структурами в состав организма входят около 60 биогенных минеральных веществ: от кальцита, галенита и плавикового шпата до калия. Несколько глав посвящено анализу данных о всех важнейших группах живых орга-

низмов; в трех — четырех главах рассматривается процесс биоминерализации, его особые функции и эволюция. В конце концов палеонтология «записана» в минерализованных ископаемых остатках так же, как история — на камне, глине и бумаге.

Мы можем привести только некоторые примеры из огромного числа затронутых в этой книге. Большинство ученых знакомы с обладающим магнитными свойствами черным оксидом железа, производимым некоторыми видами бактерий, обитающих в иле, и знают о существовании структур из зерен магнетита у многочисленных животных от пчел до лосося. В 60-е годы стало известно, что подводные известняковые уступы в субтропических морях отполированы и отшлифованы маленькими моллюсками необычного строения, называемыми хитонами, которыми питаются организмы, живущими на поверхности и в поверхностном слое камней. Первым, кто понял, что в зубах этих животных должно содержаться какое-то твердое вещество, был Ловенштам: ведь известняк не может крошиться известняк.

И действительно, зубы хитонов упрочнены магнетитом. Они растут ряд за рядом, как на конвейере, так что можно наблюдать весь процесс минерализации. Каждый зуб образуется как комплекс из трех локализованных минералов. Моллюски занимают первое место среди накопителей минералов. Слои перламутра ласкают глаз и демонстрируют высокую степень специфичности формы, размера и типа минералов.

Одиночные кристаллы кальцита характеризуются удивительно определенными разломами, эта их особенность дала толчок развитию кристаллографии. Иглы морского ежа представляют собой единый кристалл кальцита, богатого магнием, и обладают способностью к регенерации после разлома. Определенная ось кристалла всегда расположена вдоль радиуса тела животного. Форма иглы гладкая, без кристаллических граней в микроскопическом масштабе, тем не менее порядок атомов полностью сохранен. На фотографиях, полученных с помощью сканирующего электронного микроскопа, видны блестящие поверхности рудных как у отполированного кремня. Иглы морского ежа, похоже, сделаны из сложного композитного материала, обладающего твердостью и упорядоченностью кристаллических веществ, но в отличие от них нехрупкого.

Каким образом биокристаллические продукты принимают свойственную живому организму форму? В

простейших случаях они вырастают внутри клеток так же, как минеральные микрокристаллы. Находясь в пространстве, ограниченном клеточной мембраной, кристаллы изолированы от внешней среды, а в клеточном содержимом концентрация ионов, необходимых для их роста, как правило, низкая. Для регуляции концентрации ионов имеются насосные механизмы, и возникновение центров кристаллизации облегчается образованием специальных поверхностей. Рассмотрим одноклеточную диатомовую водоросль. Она окружена изящно разрезанными и перфорированными кремневыми пластинками, образовавшимися в результате причудливых перемещений клеточных органелл. Геометрически правильная «броня», на которой откладывается кремний, «куется» внутри клетки. Оканчивается она снаружи, а как это происходит, остается неясным. В результате получается нечто волшебное — форма, внешне прекрасная, оказывается грубой и беспорядочной на молекулярном уровне, где и происходят химические процессы.

Представители одной из групп микроропланктона строят красивые скелеты из сульфата стронция. Но ионы стронция настолько редки в морской воде, что, когда эти организмы погибают, их скелеты быстро растворяются в отличие от их родственников с обычными скелетами из карбоната кальция. Пресноводные улитки, строящие свои раковины из карбоната кальция, выращивались в порядке эксперимента в воде с повышенным содержанием стронция. В итоге вырастали улитки с раковиной из одного только карбоната стронция. Повидимому, для живой клетки не проблема осуществить массивное производство неорганического вещества.

Что произошло в конце докембрия, когда впервые появились животные с твердыми элементами организма? На такие узловы вопросы следует отвечать с осторожностью. Выглядит привлекательной гипотеза о том, что возникли новые аминокислоты, для синтеза которых нужен молекулярный кислород. Это в свою очередь могло привести к появлению структурных гликопротеинов, таких, как коллаген, и в конечном счете — животных с твердыми структурами. Сама управляемая биоминерализация могла начаться гораздо раньше, поскольку возраст некоторых кристаллов магнетита составляет 2 млрд лет. Возможно, что они бактериального происхождения.

Не исключено, что красно-черные слои полосчатых железорудных

формаций являются результатом самых ранних процессов сложной биоминерализации. Бактерии могут служить центрами кристаллизации льда; возможно, что чередующиеся полосы в этих формациях образовались в результате температурных изменений, которые воздействовали на поверхность бактериальных клеток.

Таким образом, дифракция рентгеновских лучей, электронная микроскопия, химический анализ, мощная

инфракрасная спектроскопия — вот благодаря чему ширятся знания о макромолекулах, создавая особую область биологии. А ведь в основе этих исследований — любопытство любителей микроскопии викторианской эпохи. Хорошо иллюстрированный обзор Ловенштама и Вайнера, наверняка, станет прекрасным популярным пособием по естествознанию, достойным нашего времени.

в состоянии вращения человека, которого укачивает, — оказалось весьма непростой задачей, как вспоминает один из научных сотрудников ВВС М. Кабриски. Такие параметры, как пульс, движения глаз, интенсивность дыхания, электрическая активность кишечника в экспериментальной ситуации «болтанки», измерить нетрудно. Но обычное оборудование для электроэнцефалографии имеет размеры посудомоечной машины, весит не менее сотни килограммов и не приспособлено для человека на вращающемся кресле.

Челен, соединив свое умение инженера-электрика, врача и радиолюбителя, создал миниатюрный — площадью всего десятков квадратных сантиметров — электроэнцефалограф с питанием от батареек. Этот прибор измеряет мозговую активность на частотах на порядок более низких, чем позволяют приборы, используемые в клинической практике; он регистрирует сигналы $1 \cdot 10^{-5}$ — $5 \cdot 10^{-5}$ В. Электроэнцефалограф Челена крепится на голове, и в дополнение к поверхностным электродам, которые могут соскальзывать и давать искаженные показания из-за испарины, под кожу вводятся платиновые иглы.

Хотя дилантин прекращает проявление симптомов укачивания, исследователи из ВВС заявляют, что не располагают достаточными данными для определения влияния этого препарата на aberrантную электрическую активность мозга, сопровождающую болезнь движения. Но это сейчас не так уж важно. Правда, именно

Наука и общество

Чтоб не становилось тошно

ВОЗДУШНЫЕ ямы, толчки при посадке, резкие рывки — все это неизбежная часть повседневной работы летчиков, штурманов, космонавтов и других представителей летных профессий. У них тошнота на рабочем месте — не предмет для шуток за обедом: она отнимает время, что дорого обходится, особенно в работе космонавтов.

До недавнего времени очень немногие исследования продвинули понимание физиологии «болезни движения», или укачивания, хотя ее симптомы — тошнота, испарина, головокружение, сонливость — знакомы большинству путешественников. Никому ранее не приходило в голову изучить низкочастотную электроэнцефалограмму (ЭЭГ) человека, которого укачивает. Неудивительно, что в таком исследовании получились неожиданные результаты. Эта работа недавно проведена Технологическим институтом ВВС на базе ВВС Райт-Паттерсон.

Оказалось, что картина электрической активности мозга при укачивании поразительно похожа на ту, которая наблюдается при определенных эпилептических судорогах. Врач У. Челен намеревался доложить об этом на ежегодном съезде Ассоциации по космической медицине, которая должна была состояться в мае этого года в Новом Орлеане. Когда Челен различил на ЭЭГ необычные волны, он решил попытаться лечить болезнь движения хорошо известным противосудорожным препаратом дилантином, который представляет собой соединение фенитоина. Это лекарство действительно помогало при укачивании, причем не только исчезала рвота, но и в целом самочувствие улучшалось. Эффективность дилантина навела Челена на предположение о том, что причиной болезни движения является частичный эпилептический припадок, затрагивающий мозг или ствол моз-

га, как в случае судорог при эпилепсии.

В то время как летчикам не разрешается принимать лекарственные препараты, космонавты стараются справиться с укачиванием с помощью пилюль, а также клеящихся пленок, из которых через кожу поступает скополамин, предотвращающий тошноту и рвоту. Одновременно принимают декседрин (амфетамин), противодействующий побочному эффекту седативного влияния скополамина. Однако Челен отмечает, что эта комбинация препаратов не очень эффективна: 70% применявших ее в космическом пространстве все равно укачивало. Полностью работоспособность не терялась, но деятельность затруднялась.

Осуществление прямого эксперимента — количественной регистрации низкочастотных волн электрической активности мозга у находящегося



УКАЧИВАНИЕ, или болезнь движения, изучается на базе ВВС Райт-Паттерсон.

специфическая ЭЭГ натолкнула Челена на новый путь исследований. Однако, по его словам, бывают эпилептические припадки, не отражающиеся на ЭЭГ, и могут быть изменения ЭЭГ в отсутствие клинических судорог. Чтобы выяснить, есть ли корреляция между этими явлениями, предполагается в текущем году начать картирование мозга с целью проследить, где при укачивании возникают изменения электрической активности и как они распространяются в мозге.

Следующим этапом исследований станет проверка других, более новых противосудорожных лекарств, таких, как карбамазепин, по своей структуре не родственных фенитоину. Эти исследования помогут разобраться, действительно ли болезнь движения является формой частичных эпилептических припадков или же эффективность дилантина обусловлена иными причинами. «Нас крайне интересуют средства, пригодные для использования в самолетах. Не исключено, что пилотам ничего подходящего пока не найдется, но, может быть, удастся подобрать что-нибудь для пассажиров», — говорит Челен. Авиационный врач базы ВВС в Эдвардсе уже начал испытания «в воздухе» дилантина в качестве средства против укачивания.

Фирма Parke-Davis, производящая дилантин, выразила интерес к результатам исследований, ведущихся в ВВС, и, возможно, рассмотрит вопрос о проведении собственных подобных исследований. Другие фармацевтические компании тоже вполне могут взяться за такие работы, поскольку срок патента на дилантин давно истек. Производители лекарств сейчас все больше обращаются к стратегии целенаправленного конструирования препаратов: известные соединения модифицируются таким образом, что их действие несколько изменяется. Можно надеяться, что какие-то варианты существующих противосудорожных средств в один прекрасный день помогут одержать победу над укачиванием.

Осторожный подход

БОРЬБА вокруг «промышленной политики» в Вашингтоне, судя по всему, завершилась. Кто же вышел победителем? Те, кто полагает, что правительству не следует целевым назначением финансировать технически высокоразвитые отрасли. В качестве «утешительного приза» администрация Буша обещает выделять деньги на «особые, заведомо конкурентоспособные, практически реализуемые» технологии.

«Эти определения выбраны очень

удачно, чтобы избежать разногласий, которыми обычно сопровождаются вопросы о финансировании», — заметил Т. Муррин, заместитель министра финансов. В прошлом году Муррин и другие сторонники активного участия правительства в финансировании технологических разработок начали терять почву под ногами, когда администрация отвергла представленный министерством финансов план финансирования работ по созданию системы телевидения высокого разрешения (ТВР). А совсем недавно жертвой оказался К. Филдс, директор Управления научно-технических разработок министерства обороны, принципиальный сторонник государственного финансирования работ в области ТВР. В апреле Филдс был смещен со своего поста после того, как упомянутое управление решило выделить средства небольшой компании, занимающейся разработкой микроэлектронных устройств.

«Мы настоятельно стремимся к тому, чтобы правительство брало на себя определенные обязательства по финансовому обеспечению исследований и разработок», — заявил М. Боскин, возглавляющий Совет экономических консультантов. Однако Боскин и другие выступают против выделения специфических направлений для оказания финансовой помощи. «Правительство не должно делить всех на преуспевающих и неудачников, — считает Боскин. — История показала, что при таком подходе можно допустить серьезные просчеты».

Таким образом, план, которым сейчас руководствуется правительственная администрация, предусматривает, как говорит Д. Бромли, директор Управления научно-технической политики, оказание финансовой помощи на разработку заведомо конкурентоспособных технологий, которые смогут позитивно повлиять на развитие многих отраслей. В этот перечень попадут те технологические разработки, которые «могут не оказать достаточно сильного влияния ни на одну из отраслей, чтобы компании были заинтересованы в затратах средств, необходимых для осуществления разработки».

Для того чтобы выявить технологии, достойные правительственной финансовой поддержки, администрация просматривает доклады по «ключевым» технологиям, подготавливаемые министерством обороны и министерством финансов, а также Управлением научно-технической политики. Доклад министерства обороны, составленный в марте, содержит описание 20 технологий, считающихся весьма важными для разработки вооружений. (Доклад министерства финансов должен был

быть подготовлен в апреле, а доклад Управления научно-технической политики будет готов в октябре.)

Следует отметить, что эти доклады сильно отличаются от первых отчетов по ключевым технологиям. «Нам эти доклады надоело до тошноты, — признается Муррин. — Мы уже не удивляемся тому, что многие технологии, встречающиеся в перечнях, приводимых в докладах, повторяются». Что же будет делать правительство после того, как определит «достойные» технологии? Бромли утверждает, что администрация «лихорадочно начнет создавать консорциумы и кооперативы с включением частных фирм при участии или без участия правительственных организаций». При таком подходе, указывает Бромли, компании сообща делят риск и совместно несут расходы, связанные с разработкой технологии, и не исключено, что совместными усилиями им удастся сократить период от начала разработки до выпуска на рынок готовой продукции.

Одним из механизмов по оказанию финансовой поддержки таких консорциумов будет программа создания передовых технологий, инициатором которой недавно стал Национальный институт стандартов и технологий (НИСТ). Эта программа предусматривает оказание помощи в создании технологий, разработка которых недостаточно финансируется или связана с решением серьезных технических проблем. Деньги предполагается выделять в виде дополнительных субсидий небольшим компаниям или консорциумам.

Следует, однако, отметить, что и сама программа испытывает недостаток в средствах: отпущенная на 1991 финансовый год сумма составляет 10 млн. долл., несмотря на то что конгресс проявил заинтересованность в том, чтобы бюджет программы был увеличен в 10 раз. Как заявил директор НИСТ Дж. Лионс, хотя Управление научно-технических разработок министерства обороны заслужило честь и славу в связи с оказанием финансовой помощи в разработке передовых технологий, институт в отличие от управления не будет финансировать выпуск готовой продукции. «Мы проталкиваем изделия через процесс разработки», — заявил Лионс. Например, в рамках программы по созданию высокотемпературных сверхпроводников можно попытаться усовершенствовать методы генерирования больших токов в условиях действия сильных магнитных полей, а не пытаться построить сверхпроводящие двигатели.

«Попытки создать телевидение высокого разрешения научили нас многому, — заметил Лионс. — В сфере гражданского производства, где вы не


можете узнать потребителей и состояние рынка так же хорошо, как в сфере производства военной техники, для федерального правительства было бы ошибочным ориентироваться на конечную продукцию». В случае с ТВР, вспоминает Лионс, промышленные фирмы надеялись, что правительство будет финансировать выпуск необычной продукции. «Но оказалось, — добавил Лионс, — что это совсем не то, что нынешняя администрация считает нужным или возможным».

Другой механизм, который правительство могло бы применить и о котором Бромли часто говорил на своих учебных лекциях по управлению наукой в Йельском университете, заключается в том, что правительство могло бы предложить закупить определенное количество изделий по заранее установленной цене. А затем производители самостоятельно должны определить, как сделать производство этого изделия прибыльным. «Использование правительства в качестве первого покупателя это, бесспорно, весьма результативный подход, который уже широко опробован в практике производства военной и космической техники, — сказал Бромли. — Он наверняка войдет в число тех, которые рассматривает нынешняя администрация».

Конгресс тем не менее продолжает сомневаться в том, что администрация достаточно серьезно рассматривает проблему обеспечения конкурентоспособности американской промышленности. Некоторые члены палаты представителей уже устали от поисков более приемлемых способов оказания помощи промышленности. Группа членов палаты от демократической партии намеревается представить на рассмотрение законопроект об обеспечении конкурентоспособности. Сенатор от шт. Огайо Дж. Глен вместе с несколькими своими коллегами уже вторично представил законопроект, предусматривающий создание «гражданского Управления научно-исследовательских разработок, подобного существующему в министерстве обороны». Член палаты представителей М. Ливайн от шт. Калифорния предложил создать «Технологическую корпорацию Америки», которая финансировалась бы из федеральных фондов для организации совместных предприятий и консорциумов с целью разработки и коммерциализации технологий, к которым промышленность проявляет равнодушие.

И все же конгресс и правительственная администрация нашли общую платформу. И конгресс, и администрация считают, что многие аспекты финансирования деловой активности в США проблематичны: высокая стои-

КЛЮЧЕВЫЕ ВОЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ			
ТЕХНОЛОГИИ, ПОЛУЧИВШИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ	СССР	НАТО	ЯПОНИЯ
КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ			
АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЖИДКОСТЕЙ			
СИНТЕЗИРОВАНИЕ ДАННЫХ			
ПАССИВНЫЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ			
ПОЛУПРОВОДНИКИ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СХЕМЫ			
ОПТОЭЛЕКТРОНИКА			
ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ			
ПРОИЗВОДИМОСТЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ			
ТЕХНОЛОГИИ, СПОСОБНЫЕ УЛУЧШИТЬ ВООРУЖЕНИЕ			
ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНЫЕ ДВИГАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ «ДУМАЮЩИЕ» МАШИНЫ И РОБОТЫ			
КОМПЬЮТЕРЫ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ РАДИОЛОКАТОРЫ			
КОНТРОЛЬ ЗА РАДИОЛОКАЦИОННЫМИ СИГНАЛАМИ			
МОДЕЛИРОВАНИЕ			
КОНТРОЛЬ ЗА СИСТЕМАМИ ВООРУЖЕНИЯ			
ПОЯВЛЯЮЩИЕСЯ ТЕХНОЛОГИИ			
МАТЕРИАЛЫ И ПРОЦЕССЫ НА ОСНОВЕ БИОТЕХНОЛОГИИ			
МАТЕРИАЛЫ, ПОЛУЧАЕМЫЕ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭНЕРГИИ			
СВЕРХЗВУКОВЫЕ СНАРЯДЫ			
ИСТОЧНИКИ ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ ЭНЕРГИИ			
СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ			

 существенно продвинулись вперед

 способны сделать значительный вклад в решение проблемы

 способны сделать некоторый вклад в решение проблемы

 вряд ли способны сделать какой-либо вклад в ближайшее время

ИСТОЧНИК: ДАННЫЕ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ ЗА 1990 Г.

мость капитала и система налоговых скидок, действующая в области исследований и разработок, не стимулируют вложение средств в эту сферу. По словам Бромли, США, видимо, придется разработать долгосрочные планы проведения исследований (и придерживаться их). «Мы могли бы даже рассмотреть возможность заключения соглашений между правительством и компаниями, подобных международных договорам, с тем чтобы администрация как государство брала на себя более ответственные обязательства по сравнению с теми, которые она несет при решении вопроса о продлении пребывания того или иного лица в составе правительства», — заявил он.

В настоящее же время администрация уполномочена финансировать только «особые» технологии. «И лишь совсем недавно в послании Американской ассоциации специалистов в области электроники сам президент заявил о том, что нынешняя администрация полагает, что она призвана играть важную роль в содействии разработке специфических технологий на протяжении всего периода «доконку-

рентной» фазы, — сказал Бромли. — Если коротко, то я назвал бы это официальной стратегией в нашей политике».

Маленькие соринки — большие проблемы

ОНИ ПРИЛИПЛИ, словно приклеенные. Их не удается оторвать ни промывкой, ни продувкой струей сжатого воздуха. Удалить же эти пылинки размером с вирус необходимо во что бы то ни стало. При современном уровне миниатюризации, когда токопроводящие линии в микросхемах на полупроводниковых кристаллах достигли размеров менее одного микрона, такие частички могут стать причиной серьезных дефектов, и вместо ожидаемых прибылей изготовители микросхем понесут большие убытки.

Цеха, где производятся полупроводниковые схемы, в наше время едва ли не самые чистые промышленные объекты. Sematech в Остине (шт. Техас), консорциум по производству полупроводниковых кристаллов, имеет стерильное помещение, в котором

концентрация пыли соответствует присутствию одной горошины в $2,5 \text{ км}^3$ воздуха. Однако поддержания исключительной чистоты в помещении еще недостаточно, чтобы избавиться от попадания пылинок, которые образуются в процессе нанесения схем на полупроводниковые пластины. Частицы технологического происхождения, загрязняющие схемы, являются причиной почти половины случаев брака в микросхемах.

Какое же средство можно использовать в качестве хорошего очистителя, достаточно мощного, чтобы удалить вредные частицы, и в то же время не повреждающего полупроводниковую пластину? Ряд исследователей изучают методы, основанные на использовании лазерного излучения, способного удалять мельчайшие частицы, засоряющие схемы. «Реально не существует никаких альтернативных способов устранения таких частиц», — заявила Сьюзен Аллен, специалист в области химии из Университета шт. Айова, которая в настоящее время оформляет патент на метод очистки кристаллов с помощью лазеров.

Имеются методы, которые хороши для удаления частиц размером более половины микрона. Однако элементы схем размером менее одного микрона могут оказаться поврежденными зернами, размер которых составляет $0,1 \text{ мкм}$ и менее. При таких размерах вандерваальсовы силы притягивают частицы к поверхности кристалла столь же прочно, насколько прочны химические связи. Струя сжатого газа, например, слишком слаба, чтобы преодолеть эти силы. Ее можно «усилить» кусочками сухого льда; в этом случае струя может оторвать некоторые частицы, но она сама засорена мелькими включениями и потому может служить источником загрязнения.

Жидкие промывающие средства, взбалтываемые ультразвуком, нельзя отфильтровать от частиц субмикронного размера, поэтому они привносят столько же засоряющих частиц, сколько и удаляют их. Плазма, или ионизованные газы, довольно чисто удаляют частицы, вступая с ними в химическую реакцию; к сожалению, они одновременно реагируют и с самой подложкой. Можно использовать электростатическое притяжение, наложив на поверхность кристалла тонкую пленку, но сама пленка в этом случае должна быть идеально чистой, а этого достичь не удается.

Лазеры имеют два преимущества: они не касаются кристалла и их излучение имеет такие длины волн, которые некоторыми веществами поглощаются лучше, чем другими. Метод, придуманный Аллен, как раз и основан на неоди-

наковой поглощательной способности веществ. Вначале она помещает полупроводниковую пластину в атмосферу водяного пара, не содержащего никаких включений. Пар собирается в зазорах под частицами. Затем на пластину направляется лазерный пучок инфракрасного диапазона, соответствующего спектру поглощения воды, но не поглощаемого кремнием. Вода вскипает, и образующийся пар отрывает частицы с поверхности полупроводника, а затем они уносятся конвекционным потоком воздуха.

До сих пор, как говорит Аллен, ей приходилось удалять загрязнения с полупроводниковых пластин, на которых еще не был нанесен рисунок схемы, и подложка при этом не повреждалась. А. Баулинг, возглавляющий исследования в области термической обработки и управления технологическими процессами в фирме Texas Instruments, заявил, что он проявляет большой интерес к методу, разработанному Аллен. Заинтересованность этой фирмы, как и других производителей полупроводниковых кристаллов, вполне понятна, поскольку внедрение лазерной очистительной установки могло бы освободить их от необходимости вложения 300 млн. долл. в оборудование для очистки кристаллов в цехах, где они изготавливаются. В действительности американские производители микронных схем, как правило, около 40% из нескольких сот кристаллов, вырезанных из одной 6-дюймовой кремниевой пластины, выбрасывают как негодные. В Японии, как считается, в отход идет только 10% кристаллов.

Однако Баулинг имеет и некоторые сомнения. «Меня беспокоит тот факт, что вода может попадать под токопроводящие линии рисунка, вытравленные в кремнии, и вспучивать их», — заявил он. Аллен согласна с этим опасением, но отмечает, что в ее системе необязательно использовать водяной пар. «В принципе можно использовать и аргон», — сказала она. Ясно, что в этом случае лазер должен излучать на длине волны, которую может поглощать аргон.

Другой метод, разработанный группой исследователей по главе с В. Запкой в Немецком центре промышленной технологии фирмы IBM, основан на непосредственном воздействии на загрязняющие частицы. Разработчики метода заметили, что если частицу облучить мощным пучком эксимерного лазера, то она отскакивает от пластины. Э. Там из Алмаденского исследовательского центра фирмы IBM в Сан-Хосе (шт. Калифорния), который помогает усовершенствовать метод Запки, заявил, что эксимерный лазер удаляет частицы даже с подложек, у ко-

торых точки плавления близки к температурам плавления самих частиц.

Это очень важно, говорит Там, потому что отсутствие разрушений на подложке указывает на то, что лазер не может испарять частицы. Он считает, что только тепло заставляет частицы отскакивать подобно зернам жареной кукурузы. Р. Бейсман и Д. Купер из Исследовательского центра им. Т. Уотсона фирмы IBM в Йорктаун-Хейтсе (шт. Нью-Йорк) в действительности наблюдали, как частицы отскакивали под воздействием излучения эксимерного лазера. «Я уверен, что некоторые подложки можно очищать от некоторых частиц без всяких разрушений», — сказал Бейсман.

Как бы там ни было, но никакой лазер не способен решить всех проблем, стоящих перед специалистами Кремниевой долины в области устранения загрязнений полупроводниковых изделий. «Существуют миллионы частиц, которые состоят из различных веществ, — указывает Там. — И кто знает, какие из них можно удалить, а какие нельзя». И все же решение должно быть найдено, иначе дальнейшая миниатюризация полупроводниковых микросхем застопорится на собственной пыли.

Чтоб легче дышалось

ЛОЖКА дегтя может испортить бочку меда. Эту известную поговорку можно применить к автомобилю и качеству воздуха. Лишь 10% всех автомобилей, перемещающихся по дорогам США, выбрасывают половину того количества отравляющего городского воздух монооксида углерода, которое приходится на весь автомобильный парк страны. Задача заключается в том, чтобы изыскать способ, который позволил бы быстро и без больших затрат выявить эти так называемые главные загрязнители, с тем чтобы их можно было отправить на ремонтную станцию.

ПАЭРТ — это то, что Д. Стедман, профессор химии Денверского университета, называет своим новым открытием. Приведенная аббревиатура образована из полного названия придуманного им способа: проверка автомобилей на экономичность расхода топлива. Стедман убежден, что именно этот способ способен выявлять «вредителей» из потока машин во время их движения на дорогах.

Прибор Стедмана основан на дистанционной регистрации выбросов у проходящих мимо автомобилей, до нескольких тысяч в день. В то время, когда автомобиль пересекает инфра-

красный луч лазера, чувствительные датчики регистрируют количество оксида углерода (СО) и диоксида углерода (СО₂), содержащееся в выхлопе. Затем компьютер подсчитывает отношение эффективно и неэффективно сгорающих масс горючего.

По мере увеличения срока службы автомобиля некоторые его детали, снижающие выброс вредных веществ, такие как каталитические преобразователи и датчики кислорода, изнашиваются. Без этих устройств автомобили, расходующие большое количество горючего или интенсивно эксплуатируемые, проезжают меньшее расстояние на единицу объема горючего. Они, кроме того, начинают выбрасывать в атмосферу повышенное количество поллютантов. Чтобы выявить такие автомобили, с помощью системы ПАЭРТ фиксируются объемы выбрасываемых веществ и одновременно устанавливается, насколько они соответствуют допустимым стандартным нормам.

Стедману пришлось потратить 10 лет на то, чтобы добиться признания своего изобретения. Десятилетие назад Агентство по охране окружающей среды (ЕРА) хотя и признавало идею ПАЭРТ достойной внимания, но было вынуждено отказаться от нее, поскольку не могло финансировать ее реализацию. С тех пор, как заявил сам изобретатель, он неоднократно сталкивался и с другими случаями активного сопротивления со стороны упомянутого агентства. Из неофициальных источников известно, что Стедман действительно конфликтовал с ЕРА. Однако директор ЕРА, ответственный за технические средства контроля выбросов, Ч. Грей, отрицает факты неодобрительного отношения к изобретению Стедмана. Он в частности заявил: «Мнение о том, будто эта идея подвергается гонению и что она нуждается в проталкивании, не верно».

Правда, устройство Стедмана измеряет концентрацию выбрасываемых поллютантов несколько отличным способом по сравнению с тем, каким пользуется ЕРА. Стандартный метод, с помощью которого ЕРА определяет, наблюдается ли в данном месте отклонение от установленных норм концентрации загрязняющих веществ в воздухе, основан на данных о содержании вредных веществ в выхлопе некоторого количества выборочных автомобилей. (В системе ПАЭРТ количественный показатель «вредности» определяется измерением массы поллютантов в граммах на один галлон сожженного горючего). В банке данных ЕРА о

массе выбросов имеются сведения о 11 600 автомобилях, подвергшихся проверке с 1975 г.; каждый автомобиль проверялся в течение двух дней, а стоимость такой проверки обходилась в 1500 долл. в день. Эта информация закладывается в компьютерную модель вместе с данными, которые не одинаковы для различных районов (такими, как погодные условия, топография местности и возраст автомобильного транспорта на дорогах), и в результате рассчитывается «загазованность» данной местности автотранспортом. В районах, в которых количество вредных выбросов превышает установленную ЕРА норму, местные власти обязаны разработать программу по улучшению качества воздуха, в противном случае они рискуют подвергнуться большому штрафу и лишиться выделения средств из федеральных источников.

«ЕРА намеренно пытается скрыть результаты сравнения метода ПАЭРТ, одна проверка по которому обходится в 50 центов, с используемым этим агентством методом проверки, обходящейся в 1500 долл», — утверждает Стедман. Метод ПАЭРТ следует сравнить и с ежегодной проверкой на холостом ходу, стоящей 10 долл., которую в соответствии с предписанием ЕРА должны проводить штаты. При испытании на холостом ходу также измеряется процентное содержание СО, а не масса этого оксида. «Идея заключается в том, чтобы проверить множество автомобилей и выявить среди них те немногие, которые действительно загрязняют воздух», — говорит Стедман.

Такие проверки на дорогах могли бы стать обязательной процедурой в комплексе мер, предпринимаемых в каждом штате в рамках борьбы с загрязнением воздуха; представитель от шт. Техас в палате представителей Дж. Бартон, член комитета по энергетике и торговле, внес дополнительную поправку к тексту предложенного «Акта о чистом воздухе», предусматривающую обязательное проведение такого дистанционного контроля. «Ежегодные проверки на предмет выявления главных источников загрязнения воздуха; представитель настолько же, насколько эффективным было бы проведение раз в год проверки состава выдыхаемого воздуха у владельцев автомобилей с целью выявления водителей-пьяниц», — заявил он.

Но теперь ЕРА начинает проявлять некоторый интерес к методу Стедмана. В прошлом году Стедману впервые была предоставлена возможность продемонстрировать возможность ПАЭРТ агентству как лучшую

исследовательскую работу, удостоенную премии регионального отделения ЕРА в Лас-Вегасе. Стедману удалось убедить в полезности своего изобретения местного метеоролога М. Питчфорда, по словам которого устройство Стедмана «в корне изменило наше представление о методах борьбы с вредными выбросами». Питчфорд, в частности, заявил: «Люди должны преодолевать устоявшееся воззрение на некоторые вещи и приветствовать появление новых средств контроля».

Другой сторонник метода ПАЭРТ — Д. Лосан, ответственный наблюдатель за полевыми исследованиями новых методов проверки качества воздуха в известном своей бескомпромиссностью Калифорнийском совете по контролю за состоянием воздуха. Лосан провел испытания метода ПАЭРТ при двойных заглушках на специальном автомобиле, изготовленном фирмой General Motors, «чтобы удостовериться, действительно ли в некоторых районах Лос-Анджелеса старых автомобилей, загрязняющих атмосферу, больше, чем в других». Он пришел к заключению, что «прибор дает точные данные о выбросах оксида углерода из выхлопных труб автомобилей при скоростях до 100 км/ч за время менее 1 с на автомобиль».

Нынешним летом ЕРА будет иметь возможность еще раз ознакомиться с системой ПАЭРТ. Агентство планирует провести испытания двух датчиков, удаленных на некоторое расстояние друг от друга, с тем чтобы оценить, как на их работу влияет погода и положение в пространстве, например при движении автомобиля в гору, с горы или по ровной местности. Стедман уверен, что планируемые агентством испытания докажут полную пригодность его прибора для измерения концентрации СО. Сейчас Стедман разрабатывает новый датчик для измерения выбросов углеводородов. Со свойственным ему энтузиазмом он говорит: «Имеются всякого рода вещества, которые мы можем идентифицировать с помощью дистанционных датчиков. Можно, например, обнаруживать все новые виды химических веществ, которые окисленные горючие будут исторгать в атмосферу».

Ответственный работник ЕРА Грей, однако, продолжает проявлять осторожность. «Одно дело возлагать надежду на новую технологию, — говорит он. — Другое — иметь достаточное количество экспериментальных данных, чтобы можно было с уверенностью утверждать, что именно этим способом мы должны прово-

дить инспекцию автомобилей». Что же касается изобретения Стедмана, то всякое внимание со стороны ЕРА увеличивает надежду на то, что оно вскоре поможет сделать воздух в городах более чистым.

Как оценить производительность?

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ — это чаша Грааля конкурентоспособной экономики. Корпорации, в которых рабочие трудятся с большей производительностью, собирают больше автомобилей, изготавливают больше микрочипов или продают больше энциклопедий, чем их конкуренты. Государства также стремятся повышать производительность и оценивают свое положение в мире в зависимости от темпов роста производительности в их экономике по сравнению с другими странами. Но повысить производительность — это не просто перегнать на одну баржу или перетащить на один тюк больше за единицу рабочего времени.

Измерить производительность труда забойщика или сталевара просто: следует разделить объем произведенной продукции на количество рабочих часов и, если необходимо, умножить результат на цену угля или стали. Но каким образом измерить производительность труда людей, имеющих дело с обработкой и передачей информации?

Даже если применить эквиваленты информационного века к рабочим на конвейере, трудно получить приемлемые цифровые показатели. Удобным показателем производительности может быть количество чеков, обрабатываемых в банке за один час, но

при этом другие показатели, внешне такие же объективные, на практике оказываются абсолютно несостоятельными. Подсчет количества нажатий клавиш текстового процессора за час не дает гарантии того, что нажимаются требуемые клавиши. Из бесед с некоторыми телефонными операторами стало известно, что, для того чтобы выполнить свои часовые нормы, они иногда прерывают одновременно массу телефонных разговоров. Кроме того, по словам Айлин Аппелбаум, экономиста из Темпльского университета, в одной телефонной компании обнаружили, что с увеличением нагрузки на человека, работающего за компьютером, невыходы на работу возросли настолько, что свели на нет весь выигрыш от повышения производительности труда при нахождении людей на рабочих местах.

Не вдаваясь в эти детали, государственные статистики подсчитывают производительность информационных работников и фактически почти всех, занятых в непроизводственном секторе, с помощью «последовательности дефлированных величин». При этом просто подсчитываются деньги, выплаченные работникам за предоставленные ими услуги, корректируются суммой с учетом инфляции и делят на количество рабочих часов.

Однако здесь имеется одно маленькое но: корректировка с учетом инфляции в значительной степени зависит от заработной платы работников. Платите людям больше за выполнение более важной работы, и показатели производительности не будут расти. Таким образом в целом производительность труда информационных работников — величина постоянная.

Поэтому нет ничего удивительного

в том, что переход в постиндустриальную экономику принес с собой значительное замедление роста показателей производительности труда. Также неудивительно, что ничем непримечательные «белые воротнички» сохраняются даже тогда, когда компании заполняют свои конторы компьютерами стоимостью в миллиарды долларов.

Для того чтобы продемонстрировать реальный рост производительности труда «белых воротничков», по-видимому, необходимо найти способы определения качества продукции в непроизводственной сфере. Любой, кто когда либо стоял в очереди, может отличить информационного работника с высокой производительностью труда от того, труд которого менее производителен, но выражение этого интуитивного чувства в количественных показателях остается неразрешимой проблемой. Национальная академия наук в настоящее время планирует осуществить проект по определению критериев производительности в непроизводственном секторе экономики.

И снова, вероятно, следует отметить, что даже при всех достижениях технического прогресса производительность в этом секторе на практике топчется на одном месте. Аппелбаум, как и ряд других ученых, подчеркивает, что во многих компаниях компьютеры используются лишь как безбумажные пишущие машинки, работникам дается лишь минимальная подготовка и делаются попытки автоматизировать скорее существующие операции, чем перестроить работу таким образом, чтобы использовать преимущества автоматизации. Она приводит типичный пример из практики рядовой страховой компании, в которой от руки заполняются полисы и бланки и затем отправляются по почте в загородные «кэмпусы». Там огромное количество работников, занимающихся вводом данных, проводит повторный набор этой информации на терминалах. Множество других работников затем занимается поиском этой информации. И они, по словам Аппелбаум, утверждают, что причиной низкой производительности является недостаточно высокая скорость печатания операторов.

Бывший вице-президент фирмы «Ксеркс» Пол Страссманн разработал метод, который он назвал «прибыль на организацию производства». Подсчитывается вклад работников непроизводственной сферы в чистую прибыль их нанимателей. Это чисто финансовое определение: вычисляется доход, который приносит работа



группы «белых воротничков», из него вычитаются затраты на заработанную плату и вспомогательное оборудование, и затем производится деление на величину всех этих затрат для того, чтобы получить результат в процентах. В некоторых случаях прибыль, по словам Страссманна, достигает 600%, иногда же она является отрицательной величиной. Автор этого метода утверждает, что он нашел общие характеристики, которые свойственны фирмам с высокой прибылью на организацию производства, но он воздерживается от таких заявлений, когда речь заходит о результатах труда отдельных работников.

По мере роста информационной сферы экономики проблема поиска количественных критериев производительности труда «белых воротничков» все более усложняется. Более того, по словам Марджери С. Блументал из Национальной академии наук, профессии, параметры которых раньше легко поддавались определению, быстро становятся «информационными». Благодаря появлению терминалов в торговых точках работники магазинов и даже официанты и бармены, задача которых прежде заключалась лишь в том, чтобы за час работы продать товар на определенную сумму денег, теперь также являются операторами по вводу данных при полностью автоматизированных системах управления запасами и их распределения в зависимости от вводимых данных.

Даже традиционные способы вычисления производительности труда в производственном секторе в скором времени могут измениться. Во все большем количестве товаров (от автомобилей до бумажников, которым «известны» обменные курсы валют) для выполнения многих функций используются встроенные компьютеры, от наличия которых в значительной степени зависит качество этих товаров. В прошлом году министерство торговли пересмотрело свои оценки в отношении инфляции в промышленности средств вычислительной техники для того, чтобы полнее отразить значительное удешевление компьютеров. В свою очередь новая оценка величины инфляции привела к повышению оценки производительности, реального ВВП (примерно на 70 млрд. долл.) и многих других показателей прошлых лет начиная с 1982 г. До тех пор пока Национальная академия наук или какая-либо другая организация не разработает точных способов измерения производительности труда в информационном веке, шаги, направленные на повышение

показателей производительности будут приносить скорее вред, чем пользу экономике страны.

Пол Уоллич

Еще не победа

«**М**Ы ПОЛУЧАЕМ множество душераздирающих писем от больных рассеянным склерозом, в которых заронили надежду публикации наших результатов, — жалуется Л. Худ из Калифорнийского технологического института. — Мы еще не создали средства для лечения людей от этого или какого бы то ни было другого аутоиммунного заболевания. Наш метод можно будет применить к человеку вряд ли раньше чем через десять лет». Худ, конечно, совершенно прав, стараясь охладить страсти, воспламененные новым сообщением в журнале "Journal of Experimental Medicine", в котором он и его коллеги описали излечение мышей от экспериментального аллергического энцефаломиелита (ЭАЭ).

Клиническая картина ЭАЭ почти такая же, как при рассеянном склерозе, который является наиболее распространенным неврологическим заболеванием у людей в возрасте от 20 до 40 лет. Как рассеянный склероз, так и экспериментальный аллергический энцефаломиелит состоят в рецидивирующем воспалительном процессе, сопровождающемся слабостью, тремором во всем теле и в тяжелых случаях параличом. Оба заболевания представляют собой аутоиммунные расстройства: иммунная система атакует клетки своего собственного организма, а именно миелиновые оболочки периферических нервных волокон. Однако между ними есть и существенные различия. Рассеянный склероз — это природная болезнь, обусловленная неизвестными пока генетическими причинами и факторами внешней среды. А ЭАЭ вызывается у лабораторных животных искусственно путем инъекции основного белка, входящего в состав миелина. При ЭАЭ введенный в организм животного основной белок миелина стимулирует определенные клетки иммунной системы, и они атакуют белок миелина в нервной системе. При рассеянном склерозе развивается сходная аутоиммунная атака миелиновых оболочек нервных волокон, но детали этого процесса остаются загадкой.

На сегодняшний день единственным способом воспрепятствовать как бы беспорядочному прогрессированию рассеянного склероза является

введение больному иммуносупрессорных агентов общего действия, например стероидов, которые подавляют иммунную систему, но тем самым ослабляют защиту организма от инфекций. Л. Худ, Д. Заллер и Г. Осман из Калифорнийского технологического института, а также О. Канагава из Вашингтонского университета разработали более избирательный метод подавления разрушительных аутоиммунных реакций. Они используют антитела против двух пептидов, обозначаемых V β 8.2 и V β 13, один из которых появляется на поверхности Т-лимфоцитов, участвующих в аутоиммунной реакции при ЭАЭ. Когда антитела против этих двух пептидов вводят в организм мыши, они вызывают иммунную атаку против вредоносных Т-лимфоцитов и их уничтожение. Поскольку остальные клетки иммунной системы не затрагиваются, защита от инфекций сохраняется.

В экспериментах Худа из 20 мышей, которым ввели антитела против пептидов V β 8.2 и V β 13, ЭАЭ после инъекции основного белка миелина развился только у двух особей, и его симптомы у них были сравнительно слабые, в то время как в контрольной группе из 17 животных заболели 14. Когда инъекции антител делали мышам, уже больным ЭАЭ, их состояние заметно улучшалось: из пяти особей у трех с парализованными задними ногами полностью восстановилась нормальная двигательная способность, а у четвертого животного, почти совсем парализованного, осталась лишь неподвижность хвоста.

Вместе антитела против пептидов V β 8.2 и V β 13 обладали гораздо большей эффективностью, чем по отдельности. Собственно, антитела против V β 13 сами по себе вообще не оказывали никакого действия. Худ и другие исследователи ранее обнаружили, что антитела против пептидов семейства V β 8 снижают частоту ЭАЭ до 25%.

Сколь ни обнадеживают эти данные, Заллер вслед за Худом призывает к сдержанности. Он подчеркивает, что прежде чем опробовать их метод на людях, необходимо идентифицировать антигены и Т-клетки, ответственные за рассеянный склероз, системную красную волчанку и другие аутоиммунные заболевания человека. А на такие исследования, по его мнению, уйдет 5—10 лет.

Работы по идентификации ключевых антигенов и клеток иммунной системы уже ведутся, по крайней мере для рассеянного склероза. Вскоре после того, как Худ с коллегами

опубликовал свои результаты, группа исследователей, возглавляемая Л. Стейнманом из Станфордского университета, сообщила в журнале "Nature" о том, что им удалось идентифицировать Т-лимфоциты, играющие ключевую роль при рассеянном склерозе.

В защиту прав животных

Речь пойдет не о том, что можно услышать на научной конференции. Вооруженные охранники обмениваются нервными смешками с полицейскими, стоящими у заднего входа в здании Техасского технического университета в Лаббоке. Нас быстро проводят к месту, где больше охраны и полиции, и озабоченные администраторы пристально изучают фото на наших пропусках.

Суть этого митинга, произошедшего в марте нынешнего года, — "осада" университета активистами движения в защиту прав животных, которое сейчас хорошо организовано, финансово обеспечено и насчитывает несколько сотен тысяч человек. Администрация и ученые, собравшиеся здесь, серьезно напуганы. Отдельные "энтузиасты" врываются в лаборатории, портят оборудование, похищают животных и уничтожают данные исследований. Они угрожают физической расправой тем, кто проводит или оправдывает эксперименты на животных, а также членам их семей. Уже были попытки осуществить такие угрозы.

Начиная с 1981 г. экстремисты совершили 71 противоправное действие в исследовательских учреждениях, включая Центр здравоохранения Техасского технического университета. В июле прошлого года члены одной из группировок, известной под названием "Фронт освобождения животных", ворвались в лабораторию физиолога Дж. Орема, изуродовали оборудование, уничтожили протоколы опытов и "освободили" 5 кошек, нанеся таким образом ущерб в 50—70 тыс. долл. В масштабах всей страны потери от подобных действий составят не менее 10 млн. долл.

Чаша терпения ученых переполнилась. Разгневанные исследователи переходят в контрнаступление. Университеты усиливают охрану своих лабораторий и составляют планы урегулирования сложившейся ситуации. Проводятся рекламные кампании в поддержку исследований на животных. И ученые, которые вначале считали, что дебаты с экстремистами ниже их достоинства, сегодня идут на

компромиссы. По словам врача-психиатра Ф. Гудвина, возглавляющего Управление по контролю психического здоровья и злоупотреблений алкоголем и наркотическими препаратами, наука противостояит нечистоплотности людей, играющих на чувствах и невежестве обывателя.

Но их противники не дилетанты. Активисты движения в защиту прав животных умеют привлечь внимание общественности, оказать давление на правительственных чиновников и использовать законы для достижения своих целей в "бумажных" интригах. По некоторым оценкам, на противодействие исследованиям на животных в 1990 г. будет истрачено 50 млн. долл. Это движение началось в США в 1981 г., когда А. Пачеко, один из основателей организации "Люди за нравственное отношение к животным" (PETA), получил работу в лаборатории в Сильвер-Спринге (шт. Мэриленд), где экспериментировали на обезьянах. Сделанные им фотографии стали "гвоздем" кампании протеста, которая привела к проверке всех лабораторий Национальных институтов здравоохранения и отмене ряда субсидий на исследования. Эти события подготовили почву для нового "Закона о бережном отношении к животным" 1985 г. Поскольку закон предусматривал усиление контроля за использованием животных в исследовательских целях и увеличение меры ответственности за его нарушение, многие ученые рассчитывали, что с вступлением его в силу экстремизм пойдет на убыль.

Вместо этого "Закон о бережном отношении к животным" был воспринят как признание вины со стороны исследователей. Активисты движения в защиту прав животных использовали его для дальнейшего нагнетания напряженности, поместив в журнале "Wall Street Journal" лозунг: "Мы выиграли сражение, теперь давайте выиграем войну". Сегодня PETA — крупнейшая в стране организация, занимающаяся защитой прав животных; она включает 250 тыс. членов, имеет годовой бюджет 7 млн. долл. и штаб-квартиру в Вашингтоне со штатом в 60 человек. Тактика движения меняется со временем в зависимости от настроения общественности.

Сейчас преобладает мягкий подход. "Быть может, животные — это существа вовсе не низшие, а просто иные, чем человек, — говорит директор организации И. Ньюкирк. — Вероятно, у людей нет морального права отлавливать их, увозить из родных мест и ставить на них опыты только для того, чтобы извлечь какую-то пользу для себя". Цели PETA остались такими же, как и несколько лет назад, когда Ньюкирк, в то время гораздо более резко настроенная, утверждала, что нет разницы между крысой, свиньей, собакой и ребенком. Конечная цель — прекратить всякое использование животных человеком в качестве не только объектов медико-биологических исследований, но и источника пищи, одежды, предмета спортивных забав, а также домашних любимцев.

Ученые в большинстве своем при-



ШИМПАНЗЕ получает пищу из рук исследователя в Медицинском центре Нью-Йоркского университета

Последние акции защитников прав животных	
15 января 1990 г.	Пенсильванский университет Экстремисты ворвались в лабораторию. Похищены компьютерные диски и протоколы экспериментов
14 июля 1989 г.	Центр здравоохранения Техасского технического университета Погром лаборатории. Нанесен ущерб 50—70 тыс. долл. Украдены 5 кошек и данные исследований, испорчено оборудование
5 июня 1989 г.	Эйвон Из-за угрозы взрыва двух бомб эвакуировали людей из торгового центра
24 апреля 1989 г.	Национальные институты здоровья Около 200 человек пикетировали учреждение; 58 арестованы; 3 ожидают суда за нападение на охрану
2 апреля 1989 г.	Аризонский университет в Тусоне Толпа ворвалась в 4 лабораторных корпуса и 2 из них были подожжены. Похищено более 1000 животных. Нанесен ущерб в 100 тыс. долл.
21 февраля 1989 г.	Калифорнийский университет в Беркли Демонстранты пытались разрушить новое оборудование для исследований на животных

По данным Фонда медико-биологических исследований

знают, что движение в защиту прав животных привело к некоторым благоприятным изменениям в науке: более эффективному использованию животных и развитию альтернативных методов исследований. Но культуры клеток и компьютеры не могут заменить живой организм во всей его сложности. Для некоторых исследований животные пока еще необходимы, как отмечает декан Ветеринарной школы Университета Тафта Ф. Лоу, "авангард антививисекционизма" окружил себя здравомыслящими людьми, которые, желая быть добродетельными, оказались вовлеченными в движение, выступающее против использования в опытах даже крыс и мышей. По словам ветеринарного врача Дж. Миллера из Управления по контролю риска, связанного с научными исследованиями, при Национальных институтах здоровья (OPRR), в последнее время предмет критики защитников животных изменился: вместо того чтобы собирать сомнительные истории о неприемлемых

условиях содержания животных или о каких-нибудь сумасбродных исследователях, бесконтрольно практикующих болезненные для животных эксперименты, они вообще отменяют научную ценность исследований на животных.

Специалисты из OPRR говорят о злоупотреблениях в исследовательских институтах и других организациях; большинство из них, однако, сами пришли из таких учреждений. "Мы проигрываем в любом случае, — говорит Миллер. — Если в самом деле есть предмет для обвинений, то учреждение получает средства на проведение контрольного исследования, которое должно было бы осуществляться нами. Если же мы не находим ничего предосудительного, наши доклады непременно объявят приукрашивающими действительность". Так, OPRR не нашло оснований для обвинений в каких-либо нарушениях в лаборатории Дж. Орема, предъявленных PETA, которая теперь требует от Главного статистического управления провести расследование работы OPRR.

"Закон о бережном отношении к животным" усилил общественный и правительственный контроль за деятельностью исследовательских институтов. Он предусматривает учреждение в институтах специальных комитетов по наблюдению за содержанием и использованием животных, причем в эти комитеты должны входить представители общественности. Задача таких органов — рассмотрение научной ценности каждого предложенного эксперимента и проверка его протоколов. Однако на открытых митингах Ньюкирк и другие защитники прав животных утверждают, что эти комитеты будут лишь механически утверждать все представленные на их суд методы. Активисты движения стараются довести до сведения общественности все факты, получая копии решений о субсидиях из федеральных фондов.

Некоторые государственные органы, финансирующие медико-биологические исследования, ужесточают условия предоставления субсидий исследователям, чтобы научные планы не сворачивались из боязни неприятностей. Гудвин поднял этот вопрос на митинге у Техасского университета. Он заявил, что учреждение, отказавшееся от субсидии в силу причин, не имеющих отношения к науке, рискует тем, что все субсидии ему будут пересмотрены, и коль скоро исследователи поддаются оказываемому на них давлению, значит, они более не нуждаются в финансовой поддержке. Кроме того, возглавляемая Гудвином

организация использует свободные деньги из фонда дотаций научным работникам на просветительскую деятельность с целью довести до общественного сознания понимание ценности животных для научных исследований.

Ученые могут получить помощь и со стороны конгресса США. Первый законопроект, согласно которому будет считаться подлежащим наказанию уголовным преступлением кража животных, погромы в лабораториях, а также не разрешенные виды опытов в финансируемых из государственных средств учреждениях, уже принят сенатом. Другой законопроект предусматривает более жесткие наказания за повреждение оборудования не финансируемых правительством лабораторий. Третье установление, касающееся приматологических и медицинских лабораторий, должно обсуждаться этим летом.

Научные работники обращаются за поддержкой также к общественности. Организация общественно-образовательного характера "Фонд медико-биологических исследований" подготовила серию интервью для телевидения. В одном из них бывший главный хирург К. Куп, вырывая страницы из фармацевтической энциклопедии Physicians' Desk Reference, показывает, что представляла бы собой эта книга без результатов исследований на животных: она будет в буквальном смысле слова легкой, поскольку останется одна обложка.

Исследователи организуют по всей стране "контрдемонстрации" против защитников животных. В пикетах стоят не только студенты и преподаватели, но часто члены общества "Неизлечимо больные за исследования на животных". Директор этой организации М. Бреннан считает, что проблема должна решаться на местном уровне. По ее словам, в 31 штате имеются собственные медико-биологические исследовательские и образовательные учреждения.

Всем этим движениям, однако, противодействуют тщательно спланированные мероприятия защитников прав животных, которые ловко пользуются шаткой структурой научного образования. PETA публикует журнал для школьников "PETA kids", а также устраивает специальные массовые курсы для учителей. Другие группы выступают спонсорами различных конкурсов в области искусства и литературы. На рассмотрении конгресса сейчас находятся поддерживаемые защитниками прав животных 9 законопроектов, направленных на ограничение медико-биологических исследований.

Ученые все-таки надеются на успех своих попыток рассказать общественности, для чего и как проводятся научные исследования. Защитники животных, взывающие о милосердии к беспомощным созданиям, и исследователи, ратующие о здоровье людей, играют в одну и ту же игру, которую заместитель вице-президента Станфордского университета Л. Хортон назвал политикой сострадания. В конце концов общественности решать, кто победит.

Атомный фонтан

ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 30 мК (микрорельвинов), т. е. одной тридцатимиллионной градуса выше абсолютного нуля, атомы натрия, полученные Стивеном Чу, медлительны, как патока на морозе. И так же "вкусны" для физиков.

Этот исследователь из Станфордского университета "омывает" атомный пучок лазерным светом, так что атомы, словно попав в вязкую среду, начинают двигаться еле-еле. В очень интересном докладе на заседании Американского физического общества, состоявшемся в апреле в Вашингтоне (округ Колумбия), Чу описал свой новый метод получения этих сверхохлажденных атомов в таком "фонтане". По его мнению, этот метод может быть использован для создания атомных часов, точность которых может превзойти современный стандарт, а также для исследования квантовомеханических явлений.

Идея атомного фонтана была впервые высказана около 40 лет назад Дж. Р. Захариасом (ныне покойным) из Массачусетского технологического института. Он предложил направить атомный пучок вверх так, чтобы самые медленно движущиеся атомы останавливались за счет гравитации притяжением и начинали падать вниз. Примерно в течение секунды, необходимой для того, чтобы поднимающиеся атомы начали опускаться, можно провести сверхточные измерения их энергетических уровней.

Идея Захариаса не осуществилась, поскольку медленные атомы подвергались толчкам со стороны быстрых атомов, которые подобны подросткам, бегущим в толпе и расталкивающим прохожих. Сейчас, однако, эта идея обретает реальность благодаря последним достижениям, позволяющим с помощью лазерного света охлаждать электрически нейтральные атомы и управлять ими.

Чтобы создать атомный фонтан, натрий испаряют в горячей камере. Отдельные атомы вылетают из каме-

ры через специальное отверстие со скоростью 60 000 см/с. Навстречу им направляют лазерный луч, в котором летящие атомы сталкиваются с фотонами (квантами света). "Эта картина напоминает полет эскадрильи над городом, где выставлены аэростатные заграждения", — говорит Чу.

Замедлившись до скорости 1000 м/с, атомы — их число около 100 млн. — попадают в магнито-оптическую ловушку. В течение полсекунды атомы накапливаются, и магнитное поле отключают. Затем они охлаждаются в "оптической патоке" — системе лазерного охлаждения, продемонстрированной Чу и его коллегами в 1985 г. Шесть лазеров замедляют движение атомов в пространстве. Наконец, лазер отклоняет атомный пучок вверх, формируя фонтан.

Фонтан дает возможность создать новый тип атомных часов. Счет времени основан на измерении энергетического спектра атомов с помощью метода "разделенного поля", за который Н. Рамзей в прошлом году получил Нобелевскую премию. Когда атомы движутся вверх через некую полость, осциллирующее микроволновое излучение переводит их с самого низкого энергетического уровня и создает суперпозицию двух уровней с более высокой энергией. В этом состоянии атом, подобно волчку, прецессирует с определенной частотой.

Спустя некоторое время атомы начинают падать вниз через ту же полость. Если микроволновый излучатель работает в такт с прецессией, микроволновое излучение заставит атом перейти на более высокий из двух энергетических уровней. Таким образом, частота осциллятора может быть жестко привязана к атомному стандарту. По словам Чу, с помощью атомного фонтана можно изготовить стандарт времени в 100 раз более точный, чем существующий в настоящее время, в котором используется пучок атомов цезия.

Однако нужно, чтобы фонтан содержал гораздо больше атомов. С этой целью Станфордская группа разработала атомную "воронку". Она собирает атомы в двумерный аналог магнито-оптической ловушки. В третьем измерении частота лазера сдвинута так, чтобы в этом направлении возникала стоячая световая волна, сбивающая атомы в "сгустки".

Воронка собирает движущиеся в разные стороны атомы со скоростями 2000 см/с в струю, тонкую, как лист бумаги, и текущую со скоростью всего 20 см/с, что соответствует температуре 30 мК. Станфордские исследователи планируют использовать такое устройство для запуска

атомов вверх и создания непрерывного фонтана. Тем самым они надеются получить десятки миллиардов атомов, необходимых для точного отсчета времени.

Атомный фонтан можно использовать также для проверки некоторых загадочных квантовых явлений. Одно из них — квантовое отражение. Согласно классической теории, все частицы должны свободно пересекать границу между областями с более высокой и более низкой энергией. Но в соответствии с представлениями квантовой механики такая граница действует подобно полупосеребренному зеркалу: некоторые частицы отражаются, а некоторые проходят. Если длина волны де Бройля частицы бесконечно велика, такая частица полностью отразится, что на первый взгляд противоречит интуиции. В фонтане атомы движутся настолько медленно, что имеют очень большую де-бройлевскую длину, которую для целей эксперимента можно считать бесконечной. Чу планирует направить фонтаны атомов на энергетический барьер, чтобы увидеть, насколько справедливы предсказания квантовой механики.

Доисторическая хирургия

ИВ ДРЕВНОСТИ, видимо, считалось, что дыра в голове — это не самое страшное. Результаты археологических раскопок свидетельствуют о том, что люди в северных районах Африки практиковали трепанацию (медицинский термин, означающий вскрытие полости кости, в данном случае черепа) еще 12 тыс. лет назад. В неолите европейцы, по-видимому, проводили трепанацию по крайней мере 5 тыс. лет назад.

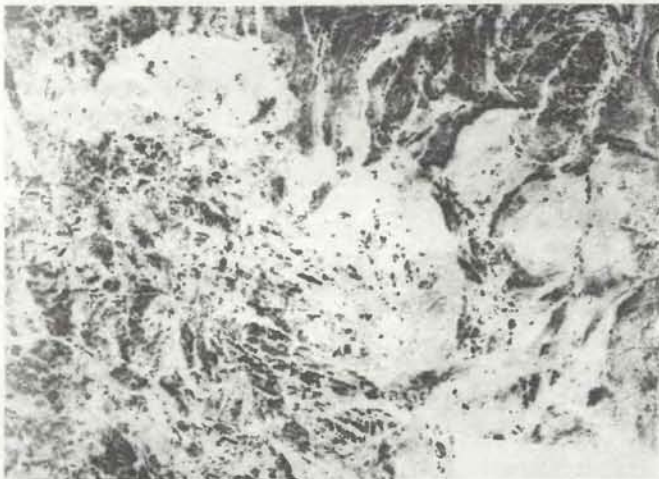
В Новом Свете трепанацию стали практиковать сравнительно поздно: самый большой возраст из найденных там трепанированных черепов составляет всего около 2400 лет. При этом жители Южной Америки, и в частности протоперуанцы, проводили эту операцию наиболее успешно. Перуанцы, как утверждает Д. Майкл Уильямс из Ханеманского университета в Филадельфии, намного опередили в этом деле все другие народы древности.

Действительно, в Перу найдено около двух третей из примерно полутора тысяч черепов доисторических людей, на которых, как считают археологи, имеются следы проведенной трепанации. Широкие исследования черепов, найденных в Перу, затруднены, так как они хранятся во многих музеях и частных коллекциях как в

Вниманию читателей!

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ГРАНИТОВ

П. Браун, Б. Чаппелл, У. Стивенз и др.
Перевод с английского



В книге, написанной известными геологами Великобритании, США, Австралии, Франции и Канады, рассматриваются многие принципиальные аспекты сложной проблемы генезиса гранитов: их общая геологическая типизация, связь плутонизма и вулканизма, механизмы выплавления, перемещения и кристаллизации магмы, геохимические особенности и др. Книга отличается геологической представительностью и широтой охвата фактических материалов, включающих данные по ряду эталонных провинций гранитоидного магматизма Европы, Азии, Северной и Южной Америки, а также Австралии. В ней наглядно раскрывается современный подход к изучению гранитов, базирующийся на комплексной методологии — сочетании детальных геолого-петрографических наблюдений с прецизионными геохимическими исследованиями. Содержащаяся в ней информация позволяет судить о значительном прогрессе в решении многих актуальных для науки и практики вопросов происхождения гранитов.

Для петрологов, геохимиков и геологов всех специальностей.

1991 г. 49 л. Цена 9 р. 70 к.



Эту книгу вы сможете заказать в магазинах научно-технической литературы



ВИРУСОЛОГИЯ

Под ред. Б. Филдса, Д. Найпа
В 3-х томах.
Перевод с английского



Фундаментальное руководство по вирусологии, написанное известными специалистами из США. Книга может служить учебным и справочным пособием. В первом томе рассмотрена таксономия, структурная организация, репродукция, общая и молекулярная генетика вирусов, эпидемиология и патогенез вирусных инфекций, трансформация вирусов и онкогенез. Во второй том вошли материалы по системе интерферона, химиотерапии и иммунопрофилактике вирусных заболеваний, а также по отдельным группам вирусов. В третьем томе рассмотрено более 10 отдельных групп вирусов.

Для вирусологов, молекулярных биологов, медиков, а также студентов и аспирантов, специализирующихся в области вирусологии.

1989, 110 л. Цена 8 р. 70 к. за комплект.

Эту книгу Вы можете приобрести в магазинах научно-технической и медицинской литературы.



Америке, так и в Европе. Тем не менее Уильямс и Джон У. Верано из Смитсоновского института надеются составить автоматизированную базу данных по трепанированным черепам для проведения дальнейших научных исследований в этой области доисторической хирургии.

Результаты предыдущих исследований показывают, что перуанцы проводили трепанацию путем сверления, выскабливания или выдалбливания в кости обычно круглого, но иногда и прямоугольного отверстия с применением каменных или металлических инструментов. Нередко попадаются черепа с несколькими отверстиями, а в одном экземпляре, найденном в Перу, насчитывается семь отверстий. «Он похож на бейсбольный мяч», — говорит Верано.

С большой степенью уверенности можно утверждать, что перуанцы применяли трепанацию для снижения повышенного внутричерепного давления, вызываемого травмой головы. На многих найденных черепках заметны трещины или другие следы травм. По словам Верано, эти люди постоянно били друг друга по голове дубинами и пращами. Отсутствие же каких-либо признаков повреждения на других черепках, по его мнению, говорит о том, что трепанация могла также применяться для лечения головных

болей при мигрени, эпилепсии и других мозговых расстройствах.

Уильямс и Верано намерены проверить это предположение. Они также надеются установить, знали ли перуанские хирурги, что следует избегать проведения операций на определенных частях черепа, насыщенных артериями или покрытых мышечной тканью.

Перуанцы, по-видимому, прекратили практиковать трепанацию ко времени испанского завоевания. По

крайней мере ни в одном из письменных источников не упоминается об этом методе лечения. По мнению Верано, европейцы того времени могли извлечь для себя много полезного, наблюдая за работой доисторических хирургов. На более чем половине черепов с отверстиями видны следы заживления. Европейские врачи добились аналогичного коэффициента выживаемости при хирургических операциях на черепе лишь к концу XIX в.

От «Летающего кольца» к новой конструкции бумеранга

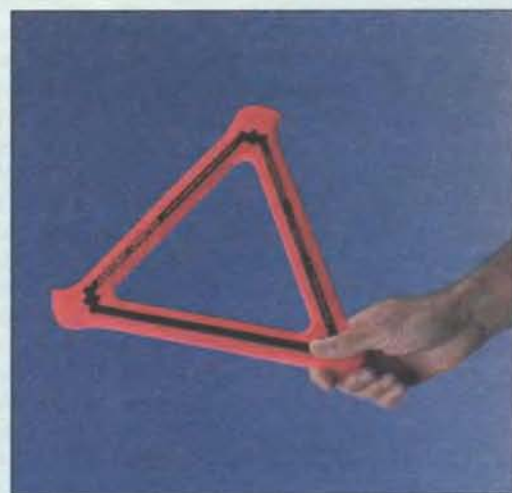
АЛАН Адлер любит делать летающие игрушки. Пять лет назад он создал «Аэроби» — резиновое кольцо, которое до сих пор удерживает рекорд по дальности полета: 383 м. Теперь Адлер, преподаватель Станфордского университета и основатель фирмы Superflight, Inc., продающей «Аэроби», разработал новый вариант бумеранга, старейшего аэродинамического «аппарата».

Традиционный бумеранг, который, как полагают, был изобретен австралийскими аборигенами 10 тыс. лет назад, представляет собой L-образное крыло, плоское с одной стороны и выпуклое с другой. Поскольку воздух, обтекающий выпуклую сторону, прорезывает больший путь и движется быстрее, создается разность давлений, обуславливающая возникновение подъемной силы, направленной в ту сторону, где давление ниже. В результате, когда бумеранг бросают отклоненным вправо от вертикали выпуклой стороной влево, он вращается против часовой стрелки и возвращается в то место, откуда был брошен.

Новый усовершенствованный бумеранг Адлера «Орбитер» представляет собой равносторонний треугольник. По словам изобретателя, трехсторонние бумеранги можно делать тоньше и легче L-образных и тем самым снизить сопротивление, не уменьшая устойчивость или подъемную силу. Треугольные бумеранги создавались и другими конструкторами, но только «Орбитер», по утверждению Адлера, имеет в вершинах «крыльевидные выступы», которые и создают основную долю подъемной силы, необходимой для полета «Орбитера» по замкнутой траектории. Соответственно остальная часть треугольника может быть сделана еще более плоской, что дает дополнительный выигрыш в сопротивлении.

В поперечном сечении «Орбитер» почти так же узок, как и «Аэроби». Важно, из какого материала сделана игрушка. Обе конструкции Адлера выполнены из пластмассового каркаса и мягкой резины. Пластмасса не дает игрушке деформироваться в полете, а резина смягчает удар по руке (или голове).

«Орбитер» летит более свободно, чем обычный бумеранг. К такому выводу, по крайней мере, пришли его поклонники на недавно состоявшихся летных испытаниях. Однако добиться того, чтобы «Орбитер» возвращался к месту старта каждый раз или хотя бы один раз из десяти, — дело нелегкое и требует определенной тренировки.



НАЛИЧИЕ НА ЧЕРЕПЕ ОТВЕРСТИЙ с гладкими краями свидетельствует о том, что этот человек из государства инков перенес пять трепанаций (пятое отверстие находится на затылке). Череп из коллекции Национального музея антропологии и археологии Перу. Фотография сделана Дж. Верано.

О лестницах, циклах и экономическом росте



РАЛФ ГОМОРИ

НАКОНЕЦ-ТО получен заветный результат научного исследования. Инженеры дорабатывают его и доводят до такой степени, когда он может быть реализован в практически полезном новом изделии. Это «лестничная парадигма» в эволюции технического достижения на пути к готовой продукции. Если этот термин кажется знакомым, так и должно быть; он доминирует в наших взглядах на связь науки с производством. Однако техническое новшество может появиться на рынке и в виде дополнительного улучшения, как новое поколение того или иного изделия, превосходящее прежнее. Это скрытая «циклическая парадигма». Просто? Мало чем отличаются? Возможно. И все же неумение делать различие между двумя этими категориями приводит к тому, что управляющие и те, кто определяет направление развития экономики допускают стратегические ошибки, которые отрицательно сказываются на обеспечении конкурентоспособности американских фирм.

Лестничная парадигма формирует наше мышление, поскольку она создает впечатляющую историю и открывает широкие возможности для журналистской деятельности. Примером может служить карьера таких изобретателей, как Белл и братья Райт. Во время второй мировой войны применение первых радиолокаторов и научная разработка процесса создания атомной бомбы подтвердили эту концепцию. Примером из недавней практики является транзистор. Его появление было результатом фундаментальных научных исследований на протяжении нескольких десятилетий, которые в конце концов привели к созданию практически полезного устройства. Вслед за этим серия быстро выполненных разработок привела к появлению первых полупроводниковых кристаллов, положивших начало новой весьма важной отрасли промышленности.

Лестничная парадигма раскрывает

историю появления той или иной отрасли или нового вида изделий. Циклическая парадигма указывает правильный подход к планированию совершенствования какого-либо уже существующего изделия. Она постулирует, какие последовательные незначительные улучшения привносились в каждое новое поколение изделия. Так, соблюдая циклический процесс, производители полупроводниковой техники имели возможность последовательно наращивать количество компонентов, размещаемых на одном квадратном сантиметре кристалла, доведя плотность упаковки до нескольких миллионов элементов на один кристалл. Такие достижения позволяют производить хорошие компьютеры, но не делать достоверные прогнозы.

Об этом следует только сожалеть, поскольку циклическая парадигма предполагает в себе несколько реальных событий, которые опасно игнорировать, но которые могут служить мощным средством, если их принимать во внимание и использовать в практической деятельности. Во-первых, важным фактором является длительность цикла. Допустим, что две компании располагают одной и той же технологией и производят какое-то изделие, сменяя одно поколение на другое. У одной из компаний период от разработки изделия до его производства и поставки на рынок занимает три с половиной года. Другая компания тратит на это два года. Предположим далее, что изделия одной и другой компании поступили на рынок в 1990 г. Ясно, что техническое решение, заложенное в изделие с более коротким циклом, окажется более передовым и будет лидировать в конкурентной борьбе, несмотря на то что обе компании располагали одной и той же технологией. Малая длительность цикла дает и другое преимущество: она позволяет оперативнее реагировать на меняющиеся требования рынка.

Циклическая парадигма требует

соблюдения дисциплины. Она не приветствует внезапных озарений творческой мысли. Всякая новая идея должна быть хорошо отработана и появиться в нужное время, а не прежде чем истечет полный срок цикла. Следовательно, циклический процесс часто кажется резистивным к неожиданно появляющимся идеям «со стороны». Нередко это связывают с изолированностью и пренебрежением, которые являются проявлением синдрома недоверия ко всему, что «изобретено не у нас».

Если посмотреть на японских производителей, можно заметить, что они вполне осознают реальное положение вещей, которое диктуется циклической парадигмой. Они проектируют свою продукцию таким образом, чтобы ее можно было легко изготовить. Конструкторы и технологи в японских фирмах часто работают бок о бок. Японские производители достигли очень коротких циклов, и они очень осторожно выбирают время, когда следует «дать ход» новой технологии.

Однако наше понимание, искаженное лестничной парадигмой, формирует у нас неправильное представление о ситуации. Средства массовой информации, например, склонны превозносить программы развития передовых технологий, финансируемые министерством внешней торговли и промышленности Японии. Такие программы полезны на ранних стадиях развития новой технологии. Однако именно строгое следование стратегиям циклического развития, а не ступенчатого обеспечило Японии уверенное преимущество в таких отраслях, как производство автомобилей, полупроводников и бытовой электронной аппаратуры.

То, чего мы не знаем, может повредить нам различными способами. Прежде всего это может привести к неправильному формированию экономической политики. Показательным в этом отношении является пример с высокотемпературными сверхпроводниками. Пройдет еще не менее 10 лет, прежде чем эти новые материалы будут играть важную роль в экономике. С большой степенью вероятности можно ожидать, что практические приложения этого новшества, способные существенно повлиять на социальную сферу и на экономику, появятся еще позже. В течение этого периода знания неизбежно распространяются по всему миру, и в результате преимущество, получаемое за счет открытия нового явления, утрачивается. Однако когда это несомненно одно из крупнейших научных достижений было сделано, в Вашингтоне состоя-

лось заседание с присутствием президента, конгресс принял соответствующее законодательство и при правительстве были образованы специальные консультативные комитеты. Все эти меры имели своей целью обеспечить тесную связь между фундаментальным открытием и промышленностью, занимающей верховенствующее положение над наукой. К сожалению, такая связь между двумя указанными звеньями в сфере экономики отсутствует.

Телевидение с высокой четкостью изображения породило такую же реакцию у тех, кто ответствен за формирование экономической политики. Было бы гораздо разумнее отнестись к этому техническому новшеству как к одному из этапов в последовательном эволюционном развитии телевидения. Вопрос не в том, следует или не следует внедрять качественно новый вид техники телепередач, а в том, нужно или не нужно возвращаться к прежней практике выпуска телевизоров. Неправильный взгляд на эту ситуацию порожден нашей неспособностью проводить различие между принципами лестничного и циклического развития. Единственный путь, который может обеспечить переход к телевидению высокой четкости, заключается в том, чтобы создать мощную производственную базу, подкрепить ее сильной программой исследований и разработок в этой области и тем самым «запустить» цикл. Одна программа исследований и разработок этого не сделает. Рынок телевизионной аппаратуры не расположен к тому, чтобы на нем неожиданно появился со стороны некий носитель новой технологии. Существующий рынок таков, что признает последовательное развитие, он сам не нов.

Лестничная парадигма по иному деформирует наше отношение к новшеству. Возьмем такой вопрос, как инвестиции в сферу исследований и разработок. Мы замечаем энергичные действия, предпринимаемые в этой области в Японии, и считаем, что самым подходящим ответом на это является подражание поведению наших конкурентов. И вновь складывается ситуация по формуле: «Закладываем на вход исследования и разработки и получаем на выходе готовый продукт». В этом случае складывается совсем иная картина по сравнению с той, которая получается, когда вы совершенствуете свою продукцию циклически. При циклическом развитии доход, получаемый от продажи данного изделия, идет на покрытие текущих расходов и на финансирование исследований и разработок, связанных с (см. продолжение на с. 100).

ПРЕПАРАТ RU 486

ANTIPIROGESTIN STEROID RU 486 AND HUMAN FERTILITY CONTROL. Edited by Etienne-Emile Baulieu and Sheldon J. Segal. Plenum Press, 1985.

ANTIPIROGESTERONES IN OBSTETRICS, ECTOPIC PREGNANCIES AND GYNAECOLOGICAL MALIGNANCY. André Ulmann and Catherine Dubois in *Antihormones in Clinical Gynaecology*. Edited by D. Healy. Baillière Tindall, 1988.

MOLECULAR MECHANISM OF ANTISTEROID HORMONES AT THE RECEPTOR LEVEL. Etienne-Emile Baulieu in *Kidney International*, Vol. 34, Supplement 26, pages S2-S7; October, 1988.

VOLUNTARY INTERRUPTION OF PREGNANCY WITH MIFERISTONE (RU 486) AND A PROSTAGLANDIN ANALOGUE: A LARGE-SCALE FRENCH EXPERIENCE. Louise Silvestre, Catherine Dubois, Maguy Renault, Yvonne Rezvani, Etienne-Emile Baulieu and André Ulmann in *New England Journal of Medicine*, Vol. 322, No. 10, pages 645 — 648; March 8, 1990.

ПЛУТОН

OUT OF THE DARKNESS: THE PLANET PLUTO. Clyde Tombaugh and Patrick Moore. Stackpole Books, 1980.

PLANETS BEYOND: DISCOVERING THE OUTER SOLAR SYSTEM. Mark Littmann. John Wiley & Sons, Inc., 1988.

WHERE IS PLANET X? Mark Littmann in *Sky & Telescope*, Vol. 78, No. 6, pages 596 — 599; December, 1989.

THE NEW SOLAR SYSTEM. Edited by J. Kelly Beatty et al. Third Edition. Cambridge University Press, 1990.

ЭХОЛОКАТОР С НЕЙРОННЫМ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМ УСТРОЙСТВОМ У ЛЕТУЧИХ МЫШЕЙ

PERFORMANCE OF AIRBORNE ANIMAL SONAR SYSTEMS. H.-U. Schnitzler and O. W. Henson, Jr., in *Animal Sonar Systems*. Edited by Rene-Guy Busnel and James F. Fish. Plenum Press, 1980.

THE EXTENT TO WHICH BIOSONAR INFORMATION IS REPRESENTED IN THE BAT AUDITORY CORTEX. Nobuo Suga in *Dynamic Aspects of Neocortical Function*. Edited by Gerald M. Edelman et al. John Wiley & Sons, Inc., 1984.

INHIBITION AND LEVEL-TOLERANT FREQUENCY TUNING IN THE AUDITORY CORTEX OF THE MUSTACHED BAT. Nobuo Suga and Koichi Tsuzuki in *Journal of Neurophysiology*, Vol. 53 No. 4, pages 1109 — 1145; April, 1985.

AUDITORY FUNCTION: NEUROBIOLOGICAL BASES OF HEARING. Edited by Gerald M. Edelman, W. E. Gall and W. M. Cowan. John Wiley & Sons, Inc., 1988.

СИСТЕМА СРЕДИННО-ОКЕАНИЧЕСКИХ ХРЕБТОВ

THE GEOLOGY OF DEEP-SEA HOT SPRINGS. Rachel M. Haymon and Ken C. Macdonald in *American Scientist*, Vol. 73, No. 5, pages 441 — 449; September/October, 1985.

SEGMENTATION OF MID-OCEAN RIDGES. Hans Schouten, Kim D. Klitgord and John A. Whitehead in *Nature*, Vol. 317, No. 6034, pages 225 — 229; September 19, 1985.

PETROLOGICAL AND TECTONIC SEGMENTATION OF THE EAST PACIFIC RISE, 5°30' — 14°30' N. Charles H. Langmuir, John F. Bender and Rodey Batiza in *Nature*, Vol. 322, No. 6078, pages 422 — 429; July 31, 1986.

MULTI-CHANNEL SEISMIC IMAGING OF A CRUSTAL MAGMA CHAMBER ALONG THE EAST PACIFIC RISE. R. S. Detrick, P. Buhl, E. Vera, J. Mutter, J. Orcutt, J. Madsen and T. Brocher in *Nature*, Vol. 326, No. 6108, pages 35 — 41; March 5, 1987.

A NEW VIEW OF THE MID-OCEAN RIDGE FROM THE BEHAVIOUR OF RIDGE-AXIS DISCONTINUITIES. Ken C. Macdonald, P. J. Fox, L. J. Perram et al. in *Nature*, Vol. 335, No. 6187; pages 217 — 225; September 15, 1988.

РЫБЫ-КЛОУНЫ

MECHANICS OF THE FEEDING ACTION OF VARIOUS TELEOST FISHES. R. McN. Alexander in *Journal of Zoology*, Vol. 162, Part 2, pages 145 — 156; October, 1970.

HIGH-SPEED CINEMATOGRAPHIC EVIDENCE FOR ULTRAFAST FEEDING IN ANTENNARIID ANGLERFISHES. David B. Grobecker and Theodore W. Pietsch in *Science*, Vol. 205, No. 4411, pages 1161 — 1162; September 14, 1979.

THE "LIE-IN-WAIT" FEEDING MODE OF A CRYPTIC TELEOST. *SYNANCEIA VERUCOSA*. D. B. Grobecker in *Environmental Biology of Fishes*, Vol. 8, No. 3/4, pages 191 — 202; 1983.

FROGEISHES OF THE WORLD: SYSTEMATICS, ZOOGEOGRAPHY, AND BEHAVIORAL ECOLOGY. Theodore W. Pietsch and David B. Grobecker. Stanford University Press, 1987.

(см. начало на с. 98).

созданием следующего поколения изделия. Фиксированная доля дохода в размере 8—10% должна быть выделена на исследовательские и проектные цели. В мире, живущем по законам циклического развития, удачный продукт вызывает увеличение объемов проектно-исследовательских работ, а продукт, не получивший признания на рынке, ведет к снижению масштабов исследований и разработок. Не так легко убедить руководителей изыскать средства из других источников на то, чтобы финансировать исследования и разработки, связанные с созданием «проигрышного» продукта.

Щедрое финансирование исследований и разработок может привести к созданию удачного изделия. В свою очередь и выделение значительных средств на исследовательские цели может быть следствием успеха изделия на рынке. Если мы будем иметь в виду «лестницу», мы произвольно припишем успех конкурента усилению внимания к исследованиям и разработкам и в качестве ответной меры предпримем то же самое. При такой реакции мы упускаем из виду то обстоятельство, что в циклически развивающемся мире исследования и разработки не являются независимым фактором.

Нельзя сказать, что парадигмы лестницы и циклов несовместимы. Компании нуждаются в сочетании производства новой и уже давно производимой продукции. Нам нужно понять сущность циклической парадигмы так же хорошо, как и сущность лестничной парадигмы, с тем чтобы мы могли безошибочно предпочесть одну стратегию другой. До тех пор пока мы будем игнорировать эти реальности, возможность экономики США конкурировать с другими странами и наращивать темпы развития будет ограниченной.

СВЕРХТЕКУЧИЕ СОСТОЯНИЯ ^3He

VORTICES IN ROTATING SUPERFLUID ^3He . Pertti Hakonen and Olli V. Lounasmaa in *Physics Today*, Vol. 40, No. 2, pages 70 — 78; February, 1987.

THE BALLISTICS OF QUASIPARTICLES IN $^3\text{He-B}$ AT VERY LOW TEMPERATURES. A. M. Guénault and G. R. Pickett in *Physica Scripta*, Vol. T19, pages 453 — 457; April, 1987.

QUANTIZED VORTICES IN SUPERFLUID ^3He . Martii M. Salomaa and G. E. Volovik in *Reviews of Modern Physics*, Vol. 59, No 3, pages 533 — 613; July, 1987.

MICROKELVIN PHYSICS. G. R. Pickett in *Reports on Progress in Physics*, Vol. 51, No. 10, pages 1295 — 1340; October, 1988.

VORTICES IN ROTATING SUPERFLUID ^3He . Pertti Hakonen, Olli V. Lounasmaa and Juha Simola in *Physica B*, Vol. 160, No 1, pages 1 — 55; August, 1989.

Буньков Ю. М. Гургенишвили Г. Е., Крузиус М., Харадзе Г. А. ЯМР-СПЕКТРОСКОПИЯ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ СВЕРХТЕКУЧЕГО ^3He (советско-финляндские исследования по проекту POTA). — Успехи физических наук, 1984, т. 144, вып. 1, с. 141 — 168.

СБАЛАНСИРОВАННОЕ СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

ORGANIC FARMING IN THE CORN BELT. William Lockeretz, Georgia Shearer and Daniel H. Kohl in *Science*, Vol. 211, No. 4482, pages 540—547; February 6, 1981.

TOWARD A MORE SUSTAINABLE AGRICULTURE. Raymond P. Poincelot. AVI Publishing Co., 1986.

LONG-TERM EFFECTS OF ORGANIC AND CONVENTIONAL FARMING ON SOIL EROSION. John P. Reganold, Lloyd F. Elliott and Yvonne L. Unger in *Nature*, Vol. 330, No. 6146, pages 370 — 372; November 26, 1987.

ALTERNATIVE AGRICULTURE. National Research Council. National Academy Press, 1989.

SUSTAINABLE AGRICULTURAL SYSTEMS. Edited by Clive A. Edwards, Rattan Lal, Patrick Madden, Robert H. Miller and Gar House. Ankeny, Iowa, Soil and Water Conservation Society, 1990.

ОЛИВЕР ХЕВИСАЙД

HEAVISIDE'S OPERATIONAL CALCULUS AND THE ATTEMPTS TO RIGORISE IT. Jesper Lützen in *Archive for History of Exact Sciences*, Vol. 21, pages 161 — 200; 1979.

"PRACTICE VS. THEORY": THE BRITISH ELECTRICAL DEBATE, 1888 — 1891. Bruce J. Hunt in *Isis*, Vol. 74, No. 273, pages 341 — 355; September, 1983.

FROM MAXWELL TO MICROPHYSICS. Jed Z. Buchwald. University of Chicago Press, 1985.

OLIVER HEAVISIDE: SAGE IN SOLITUDE. Paul J. Nahin. IEEE Press, 1988.

НАУКА ВОКРУГ НАС

A COMPLETE MANUAL OF AMATEUR ASTRONOMY. P. Clay Sherrrod with Thomas L. Koed. Prentice Hall, 1981.

OBSERVATIONAL ASTRONOMY FOR AMATEURS. J. B. Sidgwick. Dover Publications, Inc., 1981.

THE SUN. Iain Nicolson. Rand McNally and Co., 1982.

WATCHING THE PREMIER STAR. Patrick S. McIntosh and Harold Leinbach in *Sky & Telescope*, Vol. 76, No. 5, pages 468 — 471; November, 1988.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 02.08.90.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/4.
Гарнитуры таймс, гелиос.
Офсетная печать.
Объем 6,25 бум. л.
Бумага офсетная №1.
Усл.-печ. л. 12,50.
Уч.-изд. л. 16,11.
Усл. кр.-отт. 51,75.
Изд. № 25/7728. Заказ 681.
Тираж 26385 экз. Цена 2 р.
Издательство «Мир»
Госкомпечати СССР
129820, ГСП, Москва, И-110,
1-й Рижский пер., 2.
Набрано в Межиздательском
фотонаборном центре
издательства «Мир»
Типография В/О «Внешторгиздат»
Госкомпечати СССР
127576, Москва, Илимская, 7

Г. Хорн ПАМЯТЬ, ИМПРИНТИНГ И МОЗГ

1988 г. Цена 4 руб.

Эту книгу можно получить
наложенным платежом, направив
заказ по адресу
121019 Москва, пр. Калинина, 26,
маг. № 200 «Московский дом книги»
или 191040 Ленинград,
ул. Пушкинская, 2, маг. № 5

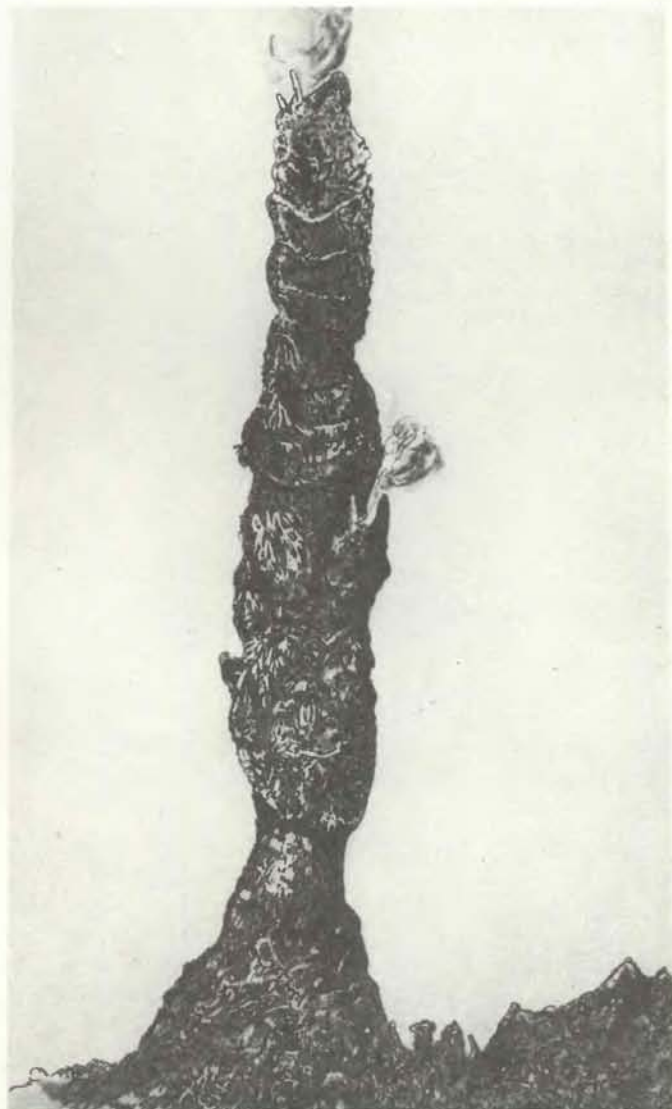


Вниманию читателей!

К. Конди

ТЕКТОНИКА ПЛИТ И ЭВОЛЮЦИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Перевод с английского



Книга известного американского геолога представляет собой систематизированную сводку новейших материалов по строению и эволюции нашей планеты. В ней рассматриваются темы: происхождение системы Земля—Луна, строение ядра, мантии и коры, тектоника плит, геодинамические обстановки, магматические ассоциации складчатых поясов, строение и происхождение ранней докембрийской земной коры. Рассматриваются разные модели образования неистощенных резервуаров — источников для близповерхностных магматических проявлений. Показывается роль глобальной мантийной конвекции. Для сравнения с Землей даются краткие сведения о геодинамической эволюции планет земной группы. Новизна материала и разносторонность его обсуждения значительно увеличивают ценность книги.

Для геологов широкого профиля, специалистов в области геотектоники, структурной геологии и геодинамики, петрологов, преподавателей и студентов геологических вузов.

1991 г. 44 л. Цена 8 р. 30 к.

Эту книгу вы сможете заказать в магазинах научно-технической литературы



В следующем номере:



ПИРОТЕХНИКА

БОЛЬШОЙ КЛИМАТИЧЕСКИЙ СПОР

ГОМЕОЗИСНЫЕ ГЕНЫ И ПЛАН СТРОЕНИЯ ТЕЛА
У ПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ

КОЛЛАЙДЕР-ЛЭП

В ЧЕМ ПРИЧИНА ДИАБЕТА

НОВАЯ КОСМИЧЕСКАЯ ГОНКА

РАК КАШТАНОВ

ТЕОРИЯ РАМСЕЯ

УВЛЕКАТЕЛЬНОЕ И НЕОБЫЧНОЕ
ПУТЕШЕСТВИЕ ПО ГОРОДУ ГОЛИГОНУ
